

Ana Moradell Fernández

Nutrición y ejercicio: efectos en la
composición corporal, condición física,
capacidad funcional y calidad de vida de
personas mayores

Nutrition and exercise: effects on body
composition, physical fitness, functional
capacity, and quality of life in older adults

Director/es

Vicente Rodríguez, Germán
Gómez Cabello, Alba María

<http://zaguan.unizar.es/collection/Tesis>

© Universidad de Zaragoza
Servicio de Publicaciones

ISSN 2254-7606



Tesis Doctoral

**NUTRICIÓN Y EJERCICIO: EFECTOS EN LA
COMPOSICIÓN CORPORAL, CONDICIÓN FÍSICA,
CAPACIDAD FUNCIONAL Y CALIDAD DE VIDA DE
PERSONAS MAYORES**
**NUTRITION AND EXERCISE: EFFECTS ON BODY
COMPOSITION, PHYSICAL FITNESS, FUNCTIONAL
CAPACITY, AND QUALITY OF LIFE IN OLDER
ADULTS**

Autor

Ana Moradell Fernández

Director/es

Vicente Rodríguez, Germán
Gómez Cabello, Alba María

UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA
Escuela de Doctorado

Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud y del Deporte

2023

Tesis Doctoral Internacional [*International Doctoral Thesis*]

Curso Académico 2022-2023



Universidad
Zaragoza

**NUTRICIÓN Y EJERCICIO: EFECTOS EN LA
COMPOSICIÓN CORPORAL, CONDICIÓN FÍSICA,
CAPACIDAD FUNCIONAL Y CALIDAD DE VIDA DE
PERSONAS MAYORES**

*NUTRITION AND EXERCISE: EFFECTS ON BODY
COMPOSITION, PHYSICAL FITNESS, FUNCTIONAL
CAPACITY, AND QUALITY OF LIFE IN OLDER ADULTS*

ANA MORADELL FERNÁNDEZ

Departamento de Fisiatría y Enfermería

Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte

Universidad de Zaragoza

**NUTRICIÓN Y EJERCICIO: EFECTOS EN
LA COMPOSICIÓN CORPORAL,
CONDICIÓN FÍSICA, CAPACIDAD
FUNCIONAL Y CALIDAD DE VIDA DE
PERSONAS MAYORES**

*Nutrition and exercise: Effects on body composition,
physical fitness, functional capacity and quality of
life in older adults*

ANA MORADELL FERNÁNDEZ

A mi abuela Isabel y a mi abuela Narci, por vuestro amor incondicional.

*A mis padres, por confiar en mí, por apoyar mis decisiones
y sobre todo por darme la libertad de elegir el camino siempre.*

*A mis directores, Germán y Alba
y a mis compañeros del grupo GENUD,
mi otra familia.*

«La meta es solo el principio»

Path to The Everest, Kilian Jornet.

Nutrición y ejercicio: efectos en la composición corporal, condición física, capacidad funcional y calidad de vida de personas mayores



DIRECTORES DE TESIS:

Dr. Germán Vicente Rodríguez

*Facultad de Ciencias de la Salud
y del Deporte*

Universidad de Zaragoza

Dra. Alba María Gómez Cabello

Centro Universitario de la Defensa

Centro adscrito a la Universidad de
Zaragoza

MIEMBROS DEL TRIBUNAL:

Presidente

Prof. Luis Moreno Aznar

Facultad de Medicina

Universidad de Zaragoza

Secretario

Dr. Hugo Olmedillas Fernández

Departamento de Biología

Universidad de Oviedo

Vocal

Dra. Maria de Fatima Baptista

*Faculdade de Motricidade
Humana*

University of Lisboa

Suplente 1º

Dr. Pablo Tomás Carús

*Escola de Saúde e
Desenvolvimento Humana*

Universidad de Évora

Suplente 2º

Dra. Amelia Guadalupe Grau

Facultad de Ciencias del Deporte

Universidad de Castilla la Mancha



**Universidad
Zaragoza**

Dr. GERMÁN VICENTE RODRÍGUEZ

Profesor Titular de Universidad

Departamento de Fisiatría y Enfermería
Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte
Universidad de Zaragoza

**GERMÁN VICENTE RODRÍGUEZ, PROFESOR TITULAR DE LA UNIVERSIDAD DE
ZARAGOZA, CERTIFICA:**

Que la Tesis Doctoral titulada “*Nutrición y ejercicio: efectos en la composición corporal, condición física, capacidad funcional y calidad de vida de personas mayores*” que presenta Dña. **ANA MORADELL FERNÁNDEZ** al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Zaragoza, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2017-2022, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

Fdo. Germán Vicente Rodríguez



**Universidad
Zaragoza**

Dra. ALBA MARÍA GÓMEZ CABELLO

Profesora Contratada Doctor

Centro Universitario de la Defensa

(Centro adscrito a la Universidad de Zaragoza)

**ALBA MARÍA GÓMEZ CABELLO, PROFESORA CONTRATADA DOCTOR DEL
CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA DE ZARAGOZA, CERTIFICA:**

Que la Tesis Doctoral titulada “*Nutrición y ejercicio: efectos en la composición corporal, condición física, capacidad funcional y calidad de vida de personas mayores*” que presenta Dña. **ANA MORADELL FERNÁNDEZ** al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Zaragoza, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2017-2022, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

Fdo. Alba María Gómez Cabello

Tabla de contenidos

<i>Tabla de contenidos</i>	- 15 -
<i>Proyectos y contratos de investigación</i>	- 17 -
<i>Estancias de investigación</i>	- 18 -
<i>Listado de publicaciones</i>	- 19 -
Listado de abreviaturas	- 23 -
Listado de tablas y figuras	- 25 -
<i>Resumen General [General abstract]</i>	- 29 -
<i>1. Introducción</i>	- 37 -
1.1. El envejecimiento: concepto y demografía	- 37 -
1.1.1. Concepto de envejecimiento	- 37 -
1.1.2. Demografía del envejecimiento.....	- 38 -
1.1.3. Esperanza de vida libre de enfermedad y discapacidad	- 41 -
1.2. Cambios asociados al proceso de envejecimiento	- 43 -
1.2.2. Cambios en la composición corporal	- 44 -
1.2.3. Cambios en la condición física.....	- 59 -
1.3. Envejecimiento Saludable	- 72 -
1.3.1. Capacidad funcional.....	- 73 -
1.3.2. Fragilidad	- 75 -
1.3.3. Calidad de vida.....	- 79 -
1.3.4. Hábitos de vida saludables	- 80 -
1.4. Estrategias enfocadas a la mejora de la salud de las personas mayores	- 87 -
1.4.1. Intervenciones basadas en el manejo nutricional	- 88 -
1.4.2. Intervenciones basadas en actividad física y ejercicio	- 89 -
<i>2. Hipótesis [Hypotheses]</i>	- 93 -
<i>3. Objetivos [Aims]</i>	- 95 -
<i>4. Metodología</i>	- 101 -
4.1. Consideraciones éticas y legales	- 101 -
4.2. Muestra y diseño de los estudios: Multicéntrico EXERNET-Elder, EXERNET-Elder longitudinal y EXERNET-Elder 3.0	- 102 -
4.3. Muestra y diseño del estudio de intervención EXERNET-Elder 3.0	- 105 -
4.4. Pruebas y valoraciones de los estudios	- 109 -
4.4.1 Valoración de la composición corporal.....	- 110 -
4.4.2. Valoración de la condición física	- 118 -

4.2.3. Valoración de la actividad física y del sedentarismo	- 125 -
4.2.4. Valoración de la capacidad funcional	- 127 -
4.2.5. Valoración del estado nutricional y alimentación	- 129 -
4.2.6. Valoración del estado cognitivo	- 130 -
4.2.7. Valoración de la calidad de vida	- 130 -
4.2.8. Análisis de sangre y vitamina D.....	- 131 -
4.2.9. Número de caídas en el último año, miedo a caer, fracturas en el último año y riesgo de fracturas.....	- 132 -
4.2.10. Valoración de otros parámetros sociodemográficos y de salud	- 132 -
4.2.11. Análisis estadísticos	- 133 -
5. Análisis y discusión [Results and discussion]	- 137 -
5.1. Artículo I.....	- 137 -
5.2. Artículo II	- 147 -
5.3. Artículo III.....	- 165 -
5.4. Artículo IV	- 183 -
5.5. Artículo V.....	- 201 -
5.6. Artículo VI.....	- 213 -
5.7. Artículo VII.....	- 229 -
6. Discusión Global.....	- 261 -
6.1. Limitaciones.....	- 265 -
6.2. Fortalezas	- 266 -
7. Conclusiones.....	- 267 -
8. Aportaciones principales de la tesis doctoral.....	- 271 -
9. Líneas futuras	- 273 -
Referencias bibliográficas	- 275 -
Apéndices	- 311 -
Características de las revistas [Journal Characteristics]	- 311 -
Contribución de la doctoranda en el proyecto EXERNET-Elder.....	- 313 -
Agradecimientos	- 315 -
Material suplementario incluido en los artículos.....	- 325 -
Anexos	- 335 -

Proyectos y contratos de investigación

La Tesis Doctoral que se presenta a continuación, así como los artículos que la conforman, se enmarcan dentro del proyecto EXERNET-Elder, financiado por las siguientes entidades:

- Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales-IMSERSO (104/07)
- Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad-IMSERSO (147/2011)
- Ministerio de Educación y Ciencia (Red EXERNET DEP2005-00046)
- Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES)
- Biomedical Research Networking Center on Pathophysiology of Obesity and Nutrition (CIBEROBN)
- Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza (UZCUD2016-BIO-01)
- Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (DEP2016-78309-R)
- FEDER funds from the European Union (CB16/10/00477)
- Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza (UZCUD2017-BIO-01)

Contratos de investigación

Ana Moradell Fernández fue contratada por la Universidad de Zaragoza gracias a las ayudas de contratación de investigadores predoctorales en formación del “Gobierno de Aragón”, correspondientes a la convocatoria 2017-2021.

Estancias de investigación

A lo largo del periodo de realización de la presente Tesis Doctoral la doctoranda Dña. Ana Moradell Fernández realizó una estancia de investigación. Las características de ésta se detallan a continuación:

- I. Estancia de investigación internacional en la Universidad de Évora, Departamento de Deporte y Salud (Évora, Portugal). Duración: 3 meses (10/05/2021 - 12/08/2022). Temática de la estancia: caracterización de los niveles de actividad física y capacidad funcional en personas mayores. Efectos de un programa de realidad aumentada.

Listado de publicaciones

La presente Tesis Doctoral es un compendio de 7 trabajos científicos publicados, a excepción del último que se encuentra en proceso de revisión. A continuación, se detallan las referencias de cada uno de los artículos que componen este documento, enumerados por orden de aparición en el mismo:

- I. **Moradell, Ana**; Gómez-Cabello, Alba; Gómez-Bruton, Alejandro; Muniz-Pardos Borja; Marín-Puyalto Jorge; Matute-Llorente, Ángel; González-Agüero, Alejandro; Ara, Ignacio; Casajús, José Antonio; Vicente-Rodríguez, Germán. Associations between Physical Fitness, Bone Mass, and Structure in Older People. *Biomed Research International*. 2020; 6930682. DOI: 10.1155/2020/6930682. (IF: 3.246; **Q2**)

- II. **Moradell, Ana**; Rodríguez-Gómez, Irene; Fernández-García, Ángel Iván; Navarrete-Villanueva, David; Marín-Puyalto, Jorge; Pérez-Gómez, Jorge; Villa-Vicente, José Gerardo; González-Gross, Marcela; Ara, Ignacio; Casajús, José Antonio; Gómez-Cabello, Alba; Vicente-Rodríguez, Germán. Associations between Daily Movement Distribution, Bone Structure, Falls, and Fractures in Older Adults: A Compositional Data Analysis Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021; 18(7):3757. DOI: 10.3390/ijerph18073757. (IF: 4.614; **Q1**)

- III. **Moradell, Ana**; Navarrete-Villanueva, David; Fernández-García, Ángel Iván; Marín-Puyalto, Jorge; Gómez-Bruton, Alejandro; Pedrero-Chamizo, Raquel; Pérez-Gómez, Jorge; Ara, Ignacio; Casajús, José Antonio; Gómez-Cabello, Alba; Vicente-Rodríguez, Germán. Role of Dietary Intake and Serum 25(OH)D

on the Effects of a Multicomponent Exercise Program on Bone Mass and Structure of Frail and Pre-Frail Older Adults. *Nutrients*. 2020; 12(10), 3016. DOI: 10.3390/nu12103016. (IF: 5.719; **Q1**)

IV. Moradell, Ana; Navarrete-Villanueva, David; Fernández-García, Ángel Iván; Sagarra-Romero, Lucía; Marín-Puyalto, Jorge; Pérez-Gómez, Jorge; Gesteiro, Eva; Ara, Ignacio; Casajús, Jose Antonio; Gómez-Cabello, Alba; Vicente-Rodríguez, Germán. Effects of a Multicomponent Exercise Program, a Detraining Period and Dietary Intake Prediction of Body Composition of Frail and Pre-Frail Older Adults from the EXERNET Elder 3.0 Study. *Sustainability*. 2020; 12(23):9894. DOI: 10.3390/su12239894. (IF: 3.251; **Q2**)

V. Moradell, Ana; Fernández-García, Ángel Iván; Navarrete-Villanueva, David; Pérez-Gómez, Jorge; Gesteiro, Eva; Ara, Ignacio; Casajús, Jose Antonio; Gómez-Cabello, Alba; Vicente-Rodríguez, Germán. Does nutritional status influence the effects of a Multicomponent exercise program on body composition and physical fitness in older adults with limited physical function? *European Journal of Sport Sciences*. 2022;1-10. DOI:10.1080/17461391.2022.2092426. (IF: 3.980; **Q2**)

VI. Moradell, Ana; Fernández-García, Ángel Iván; Navarrete-Villanueva, David; Sagarra-Romero, Lucía; Gesteiro, Eva; Pérez-Gómez, Jorge; Rodríguez-Gómez, Irene; Ara, Ignacio; Casajús, Jose Antonio; Vicente-Rodríguez, Germán; Gómez-Cabello, Alba. Functional Frailty, Dietary Intake, and Risk of Malnutrition. Are Nutrients Involved in Muscle Synthesis the Key for Frailty Prevention? *Nutrients*. 2021; 13(4):1231. DOI: 10.3390/nu13041231. (IF: 5.719; **Q1**)

VII. Moradell, Ana; Navarrete-Villanueva, David; Fernández-García, Ángel Iván; Gusi, Narcis; Perez-Gómez, Jorge; Gonzalez-Gross, Marcela; Ara, Ignacio; Casajús, Jose Antonio; Gómez-Cabello, Alba; Vicente-Rodríguez, Germán. Multicomponent training program, a useful tool to improve the health-related quality of life of older adults with decreased functional capacity. Sometido en «European Journal of Sport Sciences» (IF: 3.980; **Q2**). «Submitted».

Listado de abreviaturas

aDMO	<i>Densidad Mineral Ósea por área</i>
AF	<i>Actividad Física</i>
ACSM	<i>American College of Sport Medicine (Colegio Americano de Medicina del Deporte)</i>
ADM	<i>Adherencia a la dieta mediterránea</i>
ANCOVA	<i>Análisis de covarianza</i>
ANOVA	<i>Análisis de varianza</i>
AVD	<i>Actividades de la vida diaria</i>
CEICA	<i>Comité de Ética de Investigación Clínica de Aragón</i>
CVRS	<i>Calidad de vida relacionada con la salud</i>
DXA	<i>Dual X-Ray Absorciometry (Absorciometría fotónica dual de rayos X)</i>
DMO	<i>Densidad Mineral Ósea</i>
ECV	<i>Enfermedades cardiovasculares</i>
EFSA	<i>European Food Safety Authority (Autoridad Europea en Seguridad Alimentaria)</i>
EMC	<i>Entrenamiento Multicomponente</i>
IMC	<i>Índice de masa corporal</i>
INE	<i>Instituto Nacional de Estadística</i>
IDR	<i>Ingesta dietética recomendada</i>
ISAK	<i>The International Society for the Advancement of Kinanthropometry (Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría)</i>
OMS	<i>Organización Mundial de la Salud</i>
pQCT	<i>Peripheral Computed Tomography (Tomografía Axial Computerizada Periférica)</i>
TUG	<i>Time Up and Go test (prueba de levantarse y andar)</i>
VO ₂ máx	<i>Consumo máximo de oxígeno</i>
VO ₂ pico	<i>Consumo pico de oxígeno</i>
25(OH)D	<i>Vitamina D hidroxilada</i>

Listado de tablas y figuras

Tabla 1. Puntuación de la «Short Physical Performance Battery».

Figura 1. Ratio de personas mayores de 65 años en los distintos países del mundo.

Figura 2. Porcentaje de población mayor en España por provincia.

Figura 3. Esperanza de vida al nacer en España.

Figura 4. Evolución de la población mayor en España desde 1900 a 2068.

Figura 5. Evolución de la esperanza de vida a los 65 años y de los años vividos con y sin enfermedades (2006, 2012 y 2017).

Figura 6. Principales determinantes del envejecimiento y su relación con el fenotipo y enfermedades asociadas.

Figura 7. Cambios en la masa corporal asociados a la edad en mujeres y hombres.

Figura 8. Cambios relacionados con la edad en la masa grasa y la masa libre de grasa separados por sexo.

Figura 9. Evolución de la masa ósea durante el ciclo vital en hombres y mujeres.

Figura 10. Evolución de la estructura ósea durante el ciclo vital en hombres y mujeres.

Figura 11. Sección transversal de un hueso largo.

Figura 12. Deterioro en el grosor, conectividad y porosidad del hueso trabecular y cortical.

Figura 13. Mecanismos de relación entre la obesidad y la sarcopenia.

Figura 14. Proporción de personas mayores con problemas de equilibrio según el grupo de edad.

Figura 15. Evolución de la flexibilidad a lo largo de la vida.

Figura 16. Curvas de percentiles de cohortes cruzadas para fuerza de prensión manual.

Figura 17. Valores normativos en fuerza de piernas (The longevity check-up 7+ Project), en hombre y mujeres.

Figura 18. Valores de referencia específicos para sexo y edad en la prueba de velocidad de la marcha.

Figura 19. Cambios asociados a la edad en la velocidad de la marcha en diferentes situaciones.

Figura 20. Disminución de la capacidad cardiorespiratoria asociada a la edad.

Figura 21. Capacidad funcional y capacidad intrínseca.

Figura 22. Fragilidad como deterioro de la capacidad intrínseca.

Figura 23. Representación esquemática del fenotipo de fragilidad y los cambios asociados a la edad.

Figura 24. Relación entre fragilidad, sarcopenia y capacidad funcional.

Figura 25. Metabolismo de la vitamina D.

Figura 26. Relación entre niveles de comportamientos sedentarios y actividad física.

Figura 27. Relación entre la actividad física moderada-vigorosa y cualquier causa de muerte.

Figura 28. Cronograma del proyecto EXERNET-Elder.

Figura 29. Puntos anatómicos a tener en cuenta en la medición de la estatura.

Figura 30. Imagen obtenida de la evaluación de cuerpo entero en DXA.

Figura 31. Imagen obtenida de la evaluación de la tibia en pQCT.

Figura 32. Test de Flamingo.

Figura 33. Test de flexibilidad de extremidades superiores.

Figura 34. Test de flexibilidad de extremidades inferiores.

Figura 35. Test de fuerza de extremidades superiores.

Figura 36. Test de fuerza de extremidades inferiores.

Figura 37. Test de equilibrio dinámico (agilidad).

Figura 38. Test de velocidad.

Figura 39. Test de resistencia cardiorrespiratoria.

Figura 40. Dinamómetro.

Figura 41. Imagen del acelerómetro GENEActive.

Resumen general

Introducción

Los cambios asociados al envejecimiento pueden afectar a la condición física y la composición corporal e influyen negativamente en la capacidad funcional de la persona mayor. La actividad y el ejercicio físico, así como unos buenos hábitos de alimentación contribuyen a un envejecimiento saludable que ayudará a prevenir y revertir estos cambios negativos disminuyendo el riesgo de discapacidad y mejorando la calidad de vida en el adulto mayor.

Los principales objetivos de esta tesis doctoral son: 1) Evaluar las asociaciones entre la condición física, actividad física y diferentes variables de salud ósea en personas mayores (artículo 1 y 2); 2) Estudiar los efectos de un programa de ejercicio multicomponente y 4 meses de desentrenamiento sobre la composición corporal y el estado nutricional de personas mayores con capacidad funcional limitada (artículos 3, 4 y 5); 3) Analizar la relación existente entre la ingesta y el estado nutricional, la capacidad funcional, y los efectos del entrenamiento (artículos 5 y 6); y 4) Evaluar como la relación entre la condición física, la composición corporal, el estado nutricional y el entrenamiento se asocia con la calidad de vida relacionada con la salud (artículo 7).

Metodología

La presente tesis doctoral está compuesta por 7 artículos. La muestra pertenece al proyecto EXERNET-Elder. Este proyecto consta de dos estudios, uno con una cohorte multicéntrica española de 3136 personas mayores de 65 años y el segundo, de intervención, en una muestra complementaria de 126 con capacidad funcional limitada. La intervención constaba de un programa de ejercicio multicomponente. Se evaluó la

composición corporal mediante antropometría, impedancia bioeléctrica y tomografía axial computerizada periférica. La condición física se midió a través de una serie de pruebas validadas e incluidas en las baterías: «Senior Fitness Test» y «Eurofit». Se recogió información sobre los niveles de actividad física a partir de dispositivos de acelerometría. La ingesta alimentaria y otros datos relacionados con la salud se recogieron a partir de cuestionarios validados. Se usaron, entre ellos, un cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos semicuantitativo, el cuestionario de Adherencia a la Dieta Mediterránea de 14 puntos y el «Mini Nutritional Assessment».

Resultados

Una buena condición física, así como los patrones de actividad física más activos, con mayores niveles de actividad moderada a vigorosa, contribuyen a mejores valores de hueso cortical. Además, a través de un programa de ejercicio multicomponente se consigue disminuir el deterioro asociado al envejecimiento de los niveles de este hueso cortical en personas mayores con capacidad funcional limitada. La adiposidad parece disminuir con este tipo de entrenamiento, mientras que no se observan mejoras en la masa muscular. Sin embargo, independientemente de haber entrenado o no, periodos de 4 meses de desentrenamiento empeoran la masa muscular y la adiposidad. Por otra parte, encontramos una prevalencia alta de personas en riesgo de malnutrición (36,5%) y este estado parece condicionar el efecto del ejercicio; de hecho, el entrenamiento resulta más efectivo en personas mayores que tienen un buen estado nutricional. También la capacidad funcional está muy relacionada con el estado nutricional de las personas mayores y se ve afectada por diferentes nutrientes implicados en el metabolismo muscular como la vitamina D, los ácidos grasos n-3 o las

proteínas. Finalmente, se observa que el entrenamiento mejora la calidad de vida, pero vuelve a niveles basales cuando este se interrumpe.

Conclusión

Mayores niveles de condición física y actividad física están asociados a una mejor salud ósea. El entrenamiento multicomponente parece ser efectivo para la mejora de la adiposidad y la calidad de vida de las personas mayores con capacidad funcional limitada. Sin embargo, no parece ser la mejor estrategia cuando el objetivo es mejorar la salud ósea y la masa muscular, o al menos se debe avanzar en la dosis óptima para cada objetivo. Tanto la alimentación como el estado nutricional parecen ser claves en los efectos que tiene el entrenamiento sobre la composición corporal. Los deterioros observados tras el desentrenamiento en las variables estudiadas alertan de que este tipo de intervenciones no deberían interrumpirse en esta población.

General abstract

Introduction

Changes associated with ageing are detrimental for physical fitness and body composition and influence negatively functional capacity of older people. On the other side, physical activity, exercise, and adequate dietary habits contribute to a healthy ageing that allows to prevent and reverse these detrimental changes improving quality of life and reducing the risk of disabilities in older adults.

Main aims of the present doctoral thesis are: 1) To evaluate the associations between physical fitness and physical activity in different variables of bone health in older adults (article 1 and 2); 2) To study the effects of a 6-month multicomponent exercise training programme and 4-month detraining in body composition and nutritional status of older adults with limited physical function (article 3,4,5); 3) To analyse the relationship between dietary intake, nutritional status and functional capacity as well as their contribution to training effects (article 5 and 6); and 4) To evaluate how the relationship between physical fitness, body composition, nutritional status and the effects of this training programme are associated with health related quality of life (article 7).

Methodology

The present doctoral thesis is composed by 7 articles. The study sample belongs to the EXERNET-Elder project. It is formed by two studies: the first one studies a cohort from a multicentre Spanish sample above 65 years and the second, an intervention study, evaluates a complementary sample with limited functional capacity of 126 older adults. This intervention consists of a multicomponent training programme.

Body composition was evaluated by anthropometry, bioelectrical impedance, and peripheral computed tomography. Physical fitness and functional capacity were assessed by several test included in the “Senior Fitness Test” and “Eurofit” batteries. Physical activity was recorded by accelerometer devices. Additional information about dietary related variables and other health-related parameters were assessed by validated questionnaires. A a semiquantitative “Food Frequency Questionnaire”, the “14-items Mediterranean Diet Adherence” and the “Mini Nutritional Assessment” questionnaires, were use among others.

Results

Higher levels of physical fitness, as well as more active physical activity patterns, with more frequent moderate to vigorous intensity, contribute to better cortical bone values. Moreover, the multicomponent exercise training programme seems to stop detrimental changes associated with ageing in this cortical bone of older people with limited functional capacity. Meanwhile, adiposity seems to be reduced with this training program while muscle mass does not show significantly improves. However, regardless of being trained or not, it seems that 4 month detraining periods are associated with detrimental changes in adiposity and muscle mass. On the other side, it was found a high prevalence of risk of malnutrition in older adults (36.5%) and this nutritional status seems to determine exercise effect; in fact, the training seems to be more effective in those people with a good nutritional capacity. In addition, functional capacity and nutritional status are also strongly related and could be affected through different nutrients involved in muscle metabolism such as protein, vitamin D or n-3 fatty acids. Finally, it has been observed that the training improves health related quality of life, but these effects are reversed when it is interrupted.

Conclusion

Higher levels of physical fitness and physical activity are associated with better bone health. The multicomponent exercise programme seems to be effective on reducing adiposity and improving quality of life in older people with limited functional capacity. However, it is not the better strategy if the main objective is to increase muscle mass or bone health. It should be needed to study the optimal dose for each objective. The nutritional status and the dietary intake seem to have an important role in changes of body composition obtained with this intervention. The detrimental changes observed after the detraining period in the studied variables highlight the importance of design perdurable strategies similar to this exercise intervention.

1. Introducción

La presente tesis trata de analizar cómo la nutrición y el ejercicio físico interaccionan con los cambios que se dan durante el envejecimiento en la composición corporal, así como su efecto en la capacidad funcional y finalmente en la calidad de vida. Por ello, la introducción ha sido estructurada en los siguientes apartados: 1) envejecimiento y demografía, 2) cambios asociados al proceso de envejecimiento, 3) envejecimiento saludable y 4) estrategias enfocadas a mejorar la salud de las personas mayores.

1.1. El envejecimiento: concepto y demografía

Se entiende por envejecimiento al proceso de hacernos mayores y adquirir años. Esta definición describe el concepto de envejecimiento cronológico (1). Sin embargo, el envejecimiento es mucho más complejo que eso ya que engloba factores biológicos, sociales y ambientales que se describen a continuación.

1.1.1. Concepto de envejecimiento

El envejecimiento es un atributo inherente e inexorable que las personas adquirimos al nacer. Desde un punto de vista más biológico, se entiende por envejecimiento el resultado de la acumulación de daños moleculares y celulares a lo largo del tiempo, que lleva a un descenso gradual de las capacidades físicas y mentales, a un mayor riesgo de enfermedad y, en última instancia, a la muerte (2). De hecho, así es como lo define la Organización Mundial de la Salud (OMS). Sin embargo, existe otro concepto que se refiere al envejecimiento psicológico y que viene determinado por cómo se comporta y se siente la persona, por ejemplo, respecto a su futuro (1).

En este documento, al hablar de envejecimiento hablamos de las personas mayores. Aunque no existe un consenso para determinar cuándo a una persona se le considera «persona mayor», la edad que suele utilizarse es la de la jubilación (3). Esta edad varía entre países y es por ello por lo que la mayoría de las estadísticas e investigaciones establecen el límite en 65 años para hablar actualmente de población mayor (3).

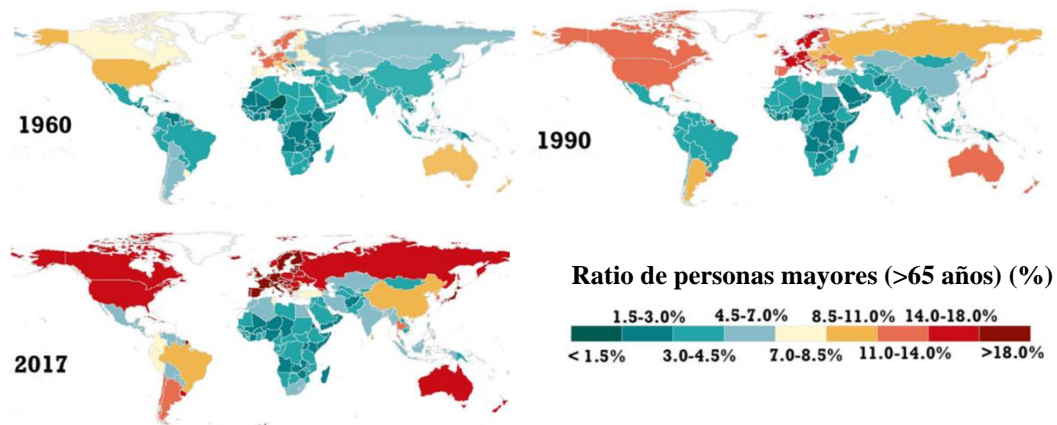
El proceso de envejecimiento no es uniforme en todas las personas mayores; es decir, no existe un patrón igual de envejecimiento. Las principales diferencias están relacionadas con los entornos físicos y sociales, así como con las oportunidades y los hábitos de salud que puede poseer una persona mayor (2).

1.1.2. Demografía del envejecimiento

El mundo está envejeciendo, mientras que cada vez el número de nacimientos es menor, la población es capaz de vivir más años. A nivel mundial, los últimos datos de 2020 estiman que un 9.3% de la población está constituida por personas mayores de 65 años y las perspectivas futuras apuntan a un aumento de esta cifra en los próximos años (3).

En Europa, la cifra de personas mayores ha crecido en las últimas décadas alcanzando un 20% y se espera que para el 2050 representen el 28% de la población (4,5). En la figura 1 se muestra la tendencia del aumento en los últimos años en el porcentaje de personas mayores en los diferentes países del mundo (6). Tal y como se aprecia en la imagen, los países de Europa y concretamente España, presentan una población más envejecida.

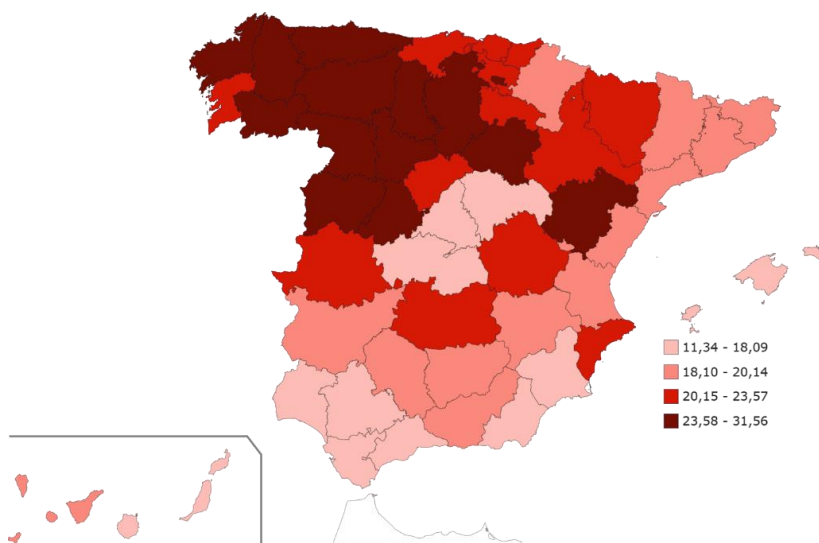
Figura 1. Ratio de personas mayores de 65 años en los distintos países del mundo.



Fuente: la figura pertenece al artículo «Spatiotemporal evolution of global population ageing from 1960 to 2017» publicado en 2019 en la revista «BMC Public Health» (6). Licencia: Creative Commons (CC-BY 4.0).

Los últimos datos actualizados en 2021 por Instituto Nacional de Estadística (INE), reportan que las personas mayores españolas representan un 19.8% de la población total en nuestro país, con importantes diferencias entre las comunidades e incluso las provincias de una misma comunidad autónoma, tal y como se observa en la figura 2.

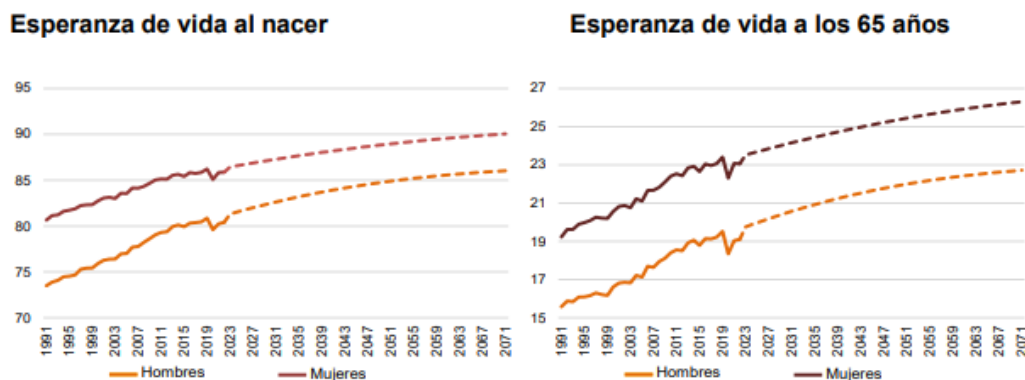
Figura 2. Porcentaje de población mayor en España por provincia.



Fuente: gráfico obtenido del INE, elaborado a partir de los datos de padrón continuo 2021. Licencia: Creative Commons (CC BY-SA).

Esta tendencia, que continúa creciendo, se debe a un aumento en la esperanza de vida (7) y es fruto de todos los avances médicos, científicos, técnicos y sociales actuales en los que se continúa trabajando para hacer frente al gran desafío del envejecimiento.

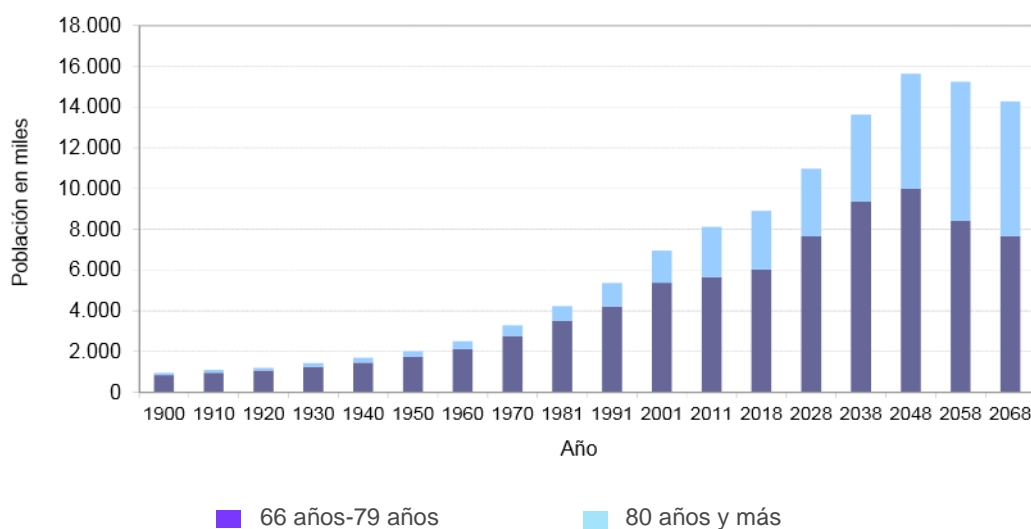
Figura 3. Esperanza de vida al nacer en España.



Fuente: el gráfico pertenece al informe «Proyecciones de Población 2022-2072» que utiliza las tablas de mortalidad del INE para los años 1991-2021 (7). Licencia: Creative Commons (CC BY-SA).

En España, la esperanza de vida se sitúa en 83,06 años en mujeres y 80,24 en hombres (INE 2021, datos provisionales) (8). Esta diferencia de género explica que las mujeres constituyan una mayor proporción de la población mayor. Además, cabe destacar que, como consecuencia de este crecimiento, no sólo se produce un aumento del número de personas mayores de 65 años sino también de las mayores de 80 años (figura 4).

Figura 4. Evolución de la población mayor en España desde 1900 a 2068.



Nota: de 1900 a 2019 los datos son reales; de 2019 a 2068 se trata de proyecciones del INE.

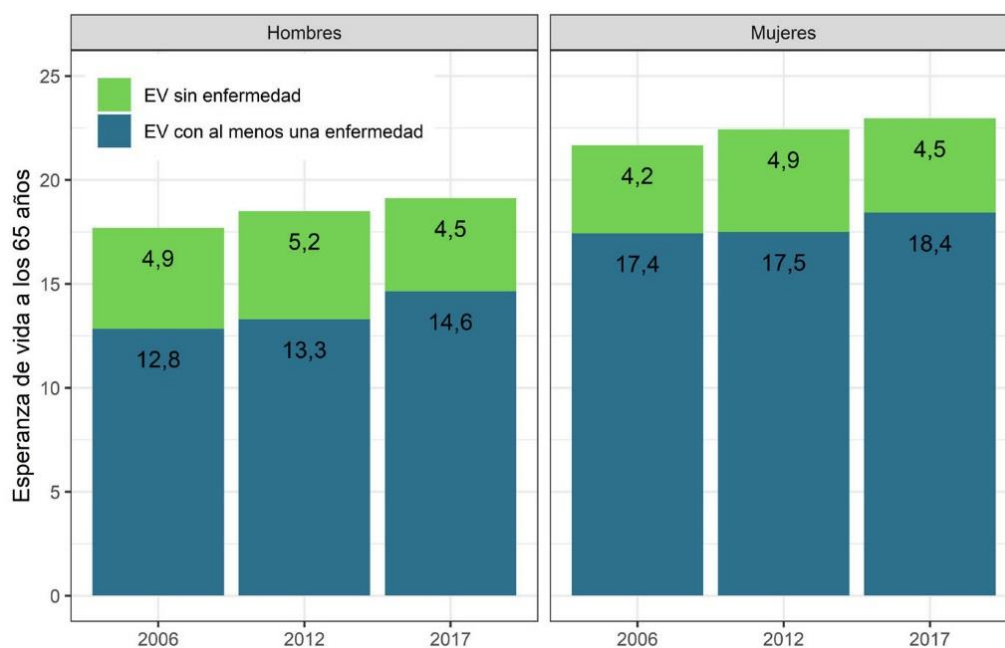
Fuente: el gráfico pertenece al informe «Envejecimiento en red nº 25, un perfil de las personas mayores de España (2020)» que utiliza datos del padrón continuo del INE y sus proyecciones de población. Licencia: Creative Commons (CC BY-SA).

Sin duda estos datos muestran los logros conseguidos en relación al envejecimiento, pero no debemos olvidar que, aunque se haya logrado que vivamos más, el gran triunfo de los avances del ser humano realmente será que vivamos mejor.

1.1.3. Esperanza de vida libre de enfermedad y discapacidad

Tal y como se ha indicado en el apartado anterior, los datos actuales muestran que la esperanza de vida está sufriendo un aumento, sin embargo, no tenemos evidencia de que la calidad de los años de vida añadidos también lo esté haciendo, lo que puede suponer un importante problema para el sistema económico y sanitario. Por un lado, observamos que la edad a la que aparecen las enfermedades, denominada esperanza de vida libre de enfermedad parece haberse mantenido durante la última década, lo que se denomina extensión de la morbilidad (figura 5) (9).

Figura 5. Evolución de la esperanza de vida a los 65 años y de los años vividos con y sin enfermedades (2006, 2012 y 2017).



Fuente: el gráfico pertenece al informe «La esperanza de vida libre de enfermedad no aumenta en España» del Centre d'Estudis Demogràfics de Catalunya (9). Utilizan los datos de las encuestas nacionales de salud combinados con los datos de mortalidad por edad del INE.

Actualmente las enfermedades más prevalentes son las enfermedades no transmisibles, que con la edad tienden a cronificarse. Las enfermedades cardiovasculares, la artrosis, los trastornos cognitivos, la diabetes mellitus, el cáncer, la enfermedad renal o la enfermedad pulmonar obstructiva crónica son las algunas de ellas (10). Además, a medida que envejecemos pueden converger y transcurrir más de una al mismo tiempo, conduciendo a la multimorbilidad y aumentando el riesgo de discapacidad y mortalidad. En España, dos tercios de la población mayor de 65 años poseen dos o más enfermedades (11).

Por otro lado, se habla de esperanza de vida libre de discapacidad o en buena salud. Esta se define como el promedio del número de años esperados que vive una persona disfrutando de buena salud (en ausencia de limitaciones funcionales o de

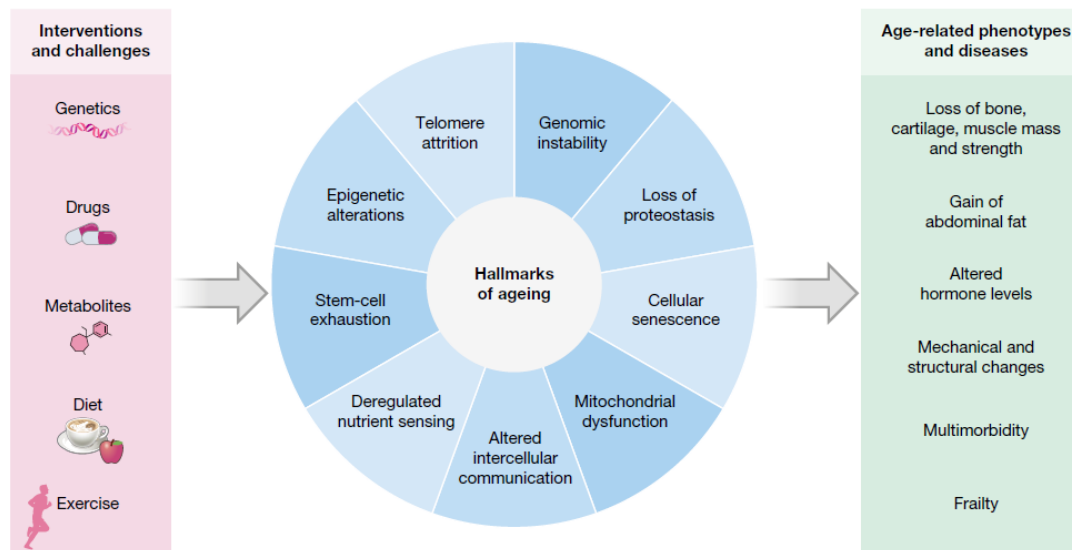
discapacidad). (12). Actualmente, tanto la comisión Europea como el INE ya incluyen este parámetro en sus estadísticas introduciendo así el término calidad de vida en las estadísticas nacionales e internacionales (12,13). Los datos recogidos en 2019 muestran cómo aunque la esperanza de vida fuera de 81,1 y 86,7 años en hombres y mujeres, la esperanza de vida con buena salud era 69,4 y 70,4 años, respectivamente (13). Estos datos, al igual que la esperanza de vida libre de enfermedad, muestran un estancamiento en la edad libre de discapacidad (14).

El hecho de que la esperanza de vida sea cada vez mayor pero que no se observe un aumento de los años vividos con salud requiere un importante gasto en recursos de cuidados y de tratamiento (15), por lo que tratar de identificar estrategias que permitan mejorar la salud en la senectud, es una cuestión de máximo interés y prioridad desde el punto de vista de la salud pública.

1.2. Cambios asociados al proceso de envejecimiento

Tal y como se ha mencionado anteriormente, el envejecimiento puede ser descrito como un proceso progresivo de deterioro molecular y fisiológico que acontece con el paso de los años (2). Existen multitud de cambios a nivel molecular que son determinantes en el proceso de envejecimiento y que conocemos como los «*Hallmarks of ageing*» o características del envejecimiento. Algunos de estos cambios son: la elongación de los telómeros (16), la disminución del número de mitocondrias o la disfunción de las mismas (16). Existe una relación entre los cambios moleculares y las diferentes enfermedades, que van a reflejarse fenotípicamente en la persona (17). Estos cambios moleculares serán una importante diana de intervención para combatir el envejecimiento (figura 6) (17).

Figura 6. Principales determinantes del envejecimiento y su relación con el fenotipo y enfermedades asociadas.



Fuente: figura obtenida del artículo «Facing up to the global challenges of ageing» publicado en 2018 en la revista «Nature». Licencia: 5360750331540 (Copyright Clearance Center licence number authorization).

En este documento no se va a profundizar en los cambios moleculares sino en aquellos que se ven reflejados directamente en el fenotipo de la persona, tales como el deterioro de la condición física y la composición corporal, que consecuentemente van a estar relacionados con la pérdida de la capacidad funcional (17).

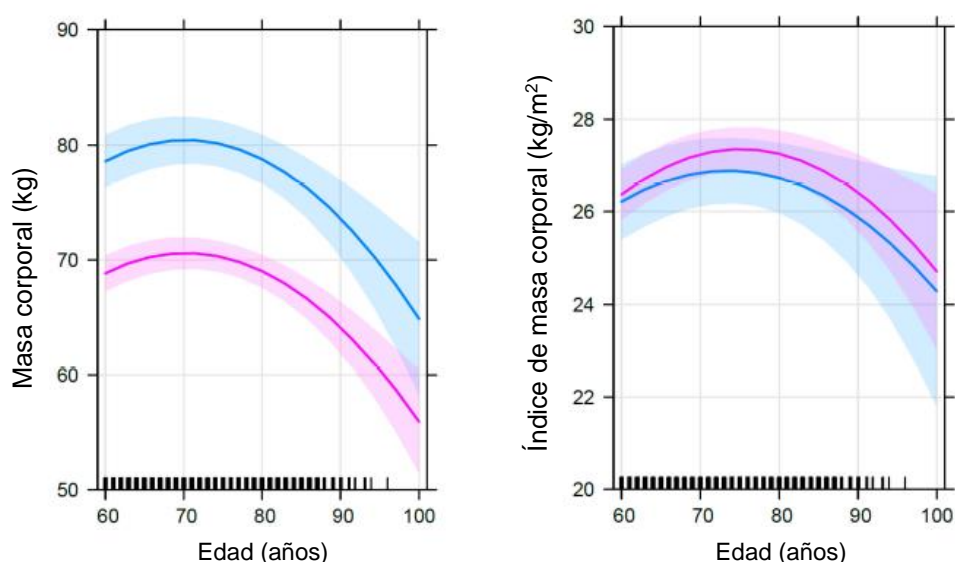
1.2.2. Cambios en la composición corporal

Durante el envejecimiento, se producen cambios de proporción y de distribución en los tejidos corporales que tienen una estrecha relación con patologías de alta prevalencia en las personas mayores. A continuación, se describen estos cambios y las respectivas enfermedades asociadas al proceso de envejecimiento.

1.2.2.1. Cambios globales a nivel de masa corporal

La masa corporal de la persona, es decir el peso, aumenta hasta alcanzar su pico aproximadamente entrada la vejez y se mantiene estable hasta alrededor de los 70 años de edad, cuando comienza a disminuir (18,19). Esto se debe, entre algunos motivos, a una disminución en la masa muscular y a un aumento en la masa grasa que afectará al peso total de la persona.

Figura 7. Cambios en la masa corporal asociados a la edad en mujeres y hombres.



Fuente: figura obtenida y traducida del artículo «Trajectories of Body Composition during Advanced Aging in Consideration of Diet and Physical Activity: A 20-Year Longitudinal Study» publicado en 2020 en la revista «Nutrients». (19) Nota: Las líneas gruesas representan las medias estimadas y las áreas coloreadas respectivas reflejan los intervalos de confianza del 95%. Se ilustra en color magenta las mujeres y en color azul los hombres. Los pequeños pilares negros en el eje x reflejan el número de registros en la edad respectiva de los sujetos. Licencia: Creative Commons (CC BY 3.0).

Por otro lado, el índice de masa corporal (IMC) es uno de los parámetros más utilizados en la evaluación de la composición corporal, principalmente por su sencillez. Se calcula a partir de la división del valor de la masa corporal (medida en kilos) partido por la altura de la persona (medida en metros) al cuadrado.

El índice de masa corporal ha sido objeto de interés de muchas investigaciones por su uso en el diagnóstico del sobrepeso y obesidad (20). Durante el proceso de envejecimiento se observa que el IMC sigue una tendencia similar al peso. Tras aumentar hasta los 70-75 años de edad, tiende después a disminuir (19). Sin embargo, esta disminución no siempre es un marcador positivo de salud cuando está relacionado con la edad. Se ha visto como aquellos mayores con un IMC cercano a 18,5 kg/m² tienen un mayor riesgo de sufrir enfermedades y mayor riesgo de mortalidad de la misma manera que aquellos mayores con un IMC por encima de 30-35 kg/m² (21,22). A esto se le denomina paradoja de la obesidad. Por tanto, no siempre estar más delgado va a ser sinónimo de salud en esta etapa de la vida.

En personas mayores la utilización de este parámetro ha sido muy cuestionada puesto que puede ocultar información sobre los cambios en la masa grasa y muscular, de los que hablaremos a continuación, los cuales son de gran relevancia por su relación con la salud y diversas enfermedades (23). Además, a este hecho se le añade que, con el envejecimiento, la persona mayor sufre una disminución en la altura, debido a un aplastamiento progresivo en las vértebras que supone una pérdida aproximada de 3 cm en hombres y 5 cm en mujeres entre los 30 y 70 años (24), afectando también al resultado real del IMC y dificultando mostrar cambios significativos cuando se analizan poblaciones longitudinalmente.

1.2.2.2. Cambios en la masa grasa y redistribución del tejido adiposo

Otros de los principales cambios que ocurren con el envejecimiento están asociados a los cambios totales y regionales de la masa grasa. Durante la edad adulta la masa grasa aumenta aproximadamente hasta una edad entre los 60 y 70 años, tanto en hombres como en mujeres (25,26). Sin embargo, la masa grasa de la mujer es más

elevada que la del hombre, ya que parte de un mayor porcentaje de grasa total adquirido durante la adolescencia (25). Una vez alcanzado este pico de masa grasa, se ha visto como entre los 70 y 80 años de edad comienza a disminuir lentamente (27,28).

El aumento de la masa grasa durante el envejecimiento no es uniforme en todo el cuerpo, sino que se produce una redistribución de la adiposidad. Entre los cambios más observables se encuentra el aumento de la grasa abdominal (19,25,29). La medición del perímetro de cintura, junto con el cálculo de la ratio perímetro cintura-cadera es uno de los parámetros más sencillos para evaluar la grasa abdominal y son importantes marcadores de riesgo cardiovascular (20,29). Los valores que indican una elevada masa grasa en la zona abdominal son ≥ 102 cm y ≥ 88 cm de perímetro de cintura en hombres y mujeres, respectivamente (29). Algunos datos extraídos de estudios poblacionales indican que sin haber un aumento de peso el perímetro de cintura aumenta entre 0,3 y 0,11 cm al año desde la edad adulta hasta la vejez (30). Además, en el estudio poblacional de Baltimore, observaron que conforme aumenta el IMC por consecuencia del aumento de peso, aumentan también los cambios en el índice cintura-cadera (31). De media, por cada aumento de peso de 4,5 kg se observaron aumentos de 4,5 cm en cintura y 2,5 cm en cadera en hombres y de 3,3 y 3,6 cm respectivamente en mujeres (31). Estos resultados revelan que, mientras que en hombres podemos observar que hay un mayor aumento en el perímetro de cintura respecto a la cadera, en mujeres aumentan ambas por igual.

La redistribución del tejido adiposo no solo implica un aumento en la región abdominal, sino que también se han descrito aumentos en la grasa visceral y en la grasa intramuscular (25). Esto se debe a una disfunción del tejido adiposo, y concretamente de los adipocitos. Las células adiposas, con el envejecimiento, se deterioran y dejan de ser

eficientes en su principal función, la regulación de los ácidos grasos circulantes en sangre. Lo que finalmente se traduce en problemas en la regulación de la insulina y dislipidemias (32).

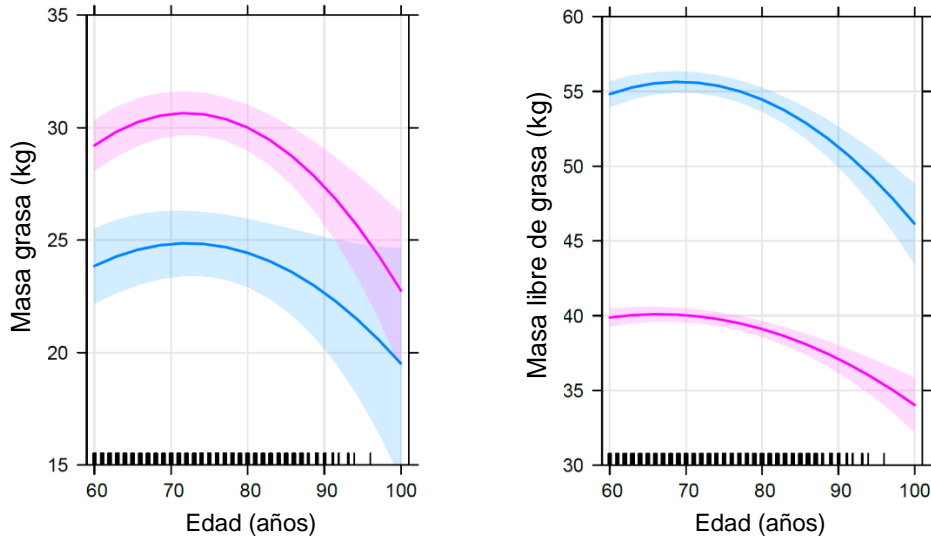
1.2.2.3. Cambios en la masa muscular

La masa muscular supone otro de los tejidos más importantes para el ser humano. Nos permite ejecutar movimientos, mantener el control postural y además, tiene otros importantes papeles fisiológicos como el de la regulación del metabolismo (33).

La masa muscular aumenta hasta aproximadamente los 30 años, siendo el crecimiento más acentuado en hombres que en mujeres (19). A partir de esta edad comienza a disminuir entre 6-8% por década acentuándose todavía más a los 60 años de edad. Se estima que estas disminuciones son aproximadamente de 1,5% por año hasta cerca de los 80 años (34,35). Los mismos cambios se observan en la masa libre de grasa (figura 8), que engloba todo lo que no es grasa, incluyendo no solo masa muscular sino también hueso, órganos, etc. La importancia de este parámetro en relación con los cambios en la masa muscular reside en la evaluación de la composición corporal mediante técnicas bicompartimentales y a su extendido uso, como ocurre con la impedancia bioeléctrica.

Además, con la edad no solo disminuye la cantidad de masa muscular, sino también el número de fibras que constituyen el tejido muscular, modificándose los porcentajes de los distintos tipos de fibras que componen el músculo. Se ha observado que las fibras tipo II, fibras más rápidas disminuyen, predominando las fibras tipo I, fibras más lentas pero con mejor capacidad aeróbica (36).

Figura 8. Cambios relacionados con la edad en la masa grasa y la masa libre de grasa separados por sexo.



Fuente: figura obtenida y traducida del artículo «Trajectories of Body Composition during Advanced Aging in Consideration of Diet and Physical Activity: A 20-Year Longitudinal Study» publicado en 2020 en la revista «Nutrients» (19). Nota: Las líneas gruesas representan las medias estimadas y las áreas coloreadas respectivas reflejan los intervalos de confianza del 95%. Se ilustra en color magenta las mujeres y en color azul los hombres. Los pequeños pilares negros en el eje x reflejan el número de registros en la edad respectiva de los sujetos. Licencia: Creative Commons (CC BY 3.0).

De nuevo, entre las razones de este deterioro se encuentran los cambios hormonales y el deterioro celular que viene asociado al envejecimiento, pero también existen otros factores importantes como la toma de medicación, la desnutrición, el desuso de los músculos, el sedentarismo o la inactividad (37).

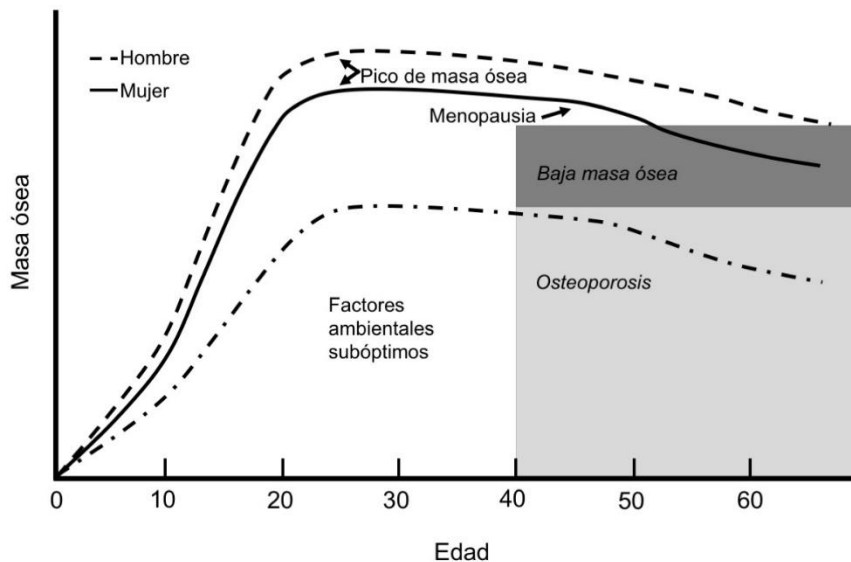
1.2.2.4. Cambios en la masa ósea

El hueso es el tejido más rígido del cuerpo humano debido a su composición de sales minerales, entre las que destaca principalmente la hidroxapatita cálcica $[Ca_5(PO_4)_3(OH)]$, compuesta por los minerales calcio y fósforo. Sus principales

funciones son: dar soporte y forma al cuerpo, servir de palanca mecánica en la producción de movimiento y proteger órganos vitales como corazón y pulmones (38). También tiene otras funciones fisiológicas como ser el principal reservorio de calcio (38).

El hueso comienza a formarse durante el desarrollo fetal y continua hasta aproximadamente la segunda década de vida (39). En términos de contenido mineral, durante la pubertad se puede observar que se alcanza el pico de crecimiento de masa ósea a los $12,5 \pm 0,9$ años en mujeres y a los $14,1 \pm 1,0$ en hombres (40) y que alcanzará en los siguientes 4 años aproximadamente el 95% del pico de masa ósea, tal y como se observa en la figura 9. Será aproximadamente a partir a los 30 años de edad cuando la masa ósea comience a disminuir lentamente y se acentúe, sobre todo en mujeres con la llegada de la menopausia, a causa de la ausencia de estrógenos (41).

Figura 9. Evolución de la masa ósea durante el ciclo vital en hombres y mujeres.

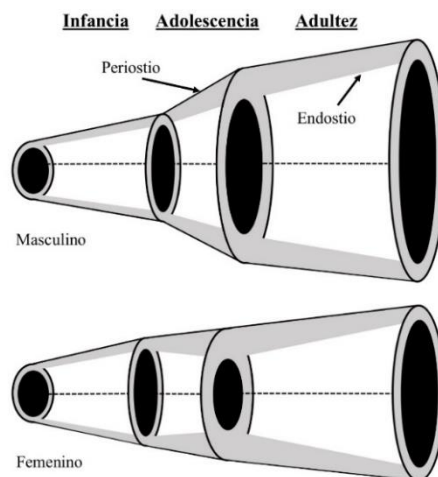


Fuente: imagen adaptada del artículo «The National Osteoporosis Foundation’s position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation recommendations» publicado en 2016 en la revista «Osteoporosis» International. Licencia: Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International.

El hueso es un tejido dinámico ya que está en constante cambio incluso en las etapas adultas. Los procesos a los que se somete se denominan modelado (control del crecimiento y morfología del hueso) y remodelado óseo (equilibrio entre reabsorción y formación). Las principales células implicadas en estos procesos son los osteoblastos y los osteoclastos (42).

Con la llegada de la pubertad, en las chicas, los estrógenos reducen el modelado óseo en el periostio y lo aumentan en el endostio limitando así el diámetro del hueso y ampliando el grosor cortical. En los chicos, los andrógenos incrementan la formación ósea en el periostio y, por consiguiente, el diámetro del hueso y su sección cortical. Finalmente, en la edad adulta se reduce ligeramente la formación ósea en el periostio y se mantiene la resorción del endostio (figura 10). Este proceso determina que los huesos de hombres y mujeres sean estructuralmente diferentes con ventajas morfológicas para los hombres (39,43).

Figura 10. Evolución de la estructura ósea durante el ciclo vital en hombres y mujeres.

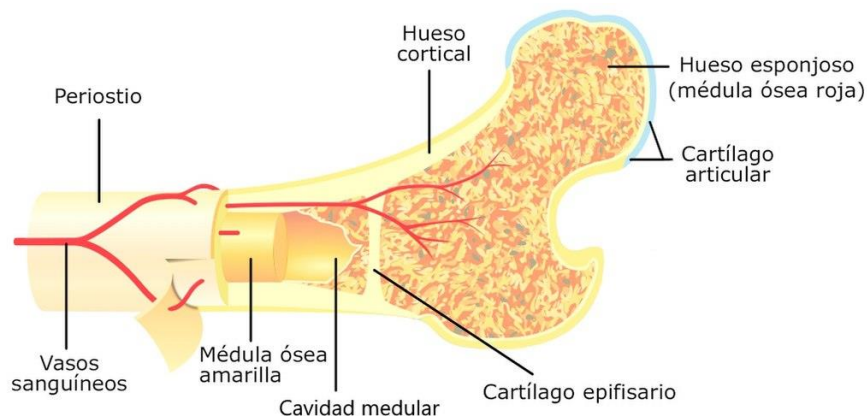


Fuente: imagen adaptada y reproducida con permiso, del artículo «Bone quality: the material and structural basis of bone strength» publicado en 2008 en la revista «Journal of Bone and Mineral Metabolism» (44). Copyright Massachusetts Medical Society.

Se pueden diferenciar dos importantes partes según la composición del hueso: hueso cortical y hueso trabecular. El hueso cortical es más compacto, rígido y resistente y se localiza en la periferia del hueso, predominando en la diáfisis (45). Por otro lado, el hueso trabecular dispuesto en forma de láminas formando poros semejantes a una esponja, es menos compacto, pero metabólicamente más activo y se localiza en el interior del hueso en contacto con la médula ósea, siendo más prevalente en las epífisis (45).

Otra importante diferencia es su resistencia a diferentes fuerzas mecánicas. Mientras que el hueso cortical tiene una alta resistencia al estrés y baja resistencia a la deformación, el hueso trabecular por ser más poroso tiene una baja resistencia al estrés y alta resistencia a la deformación (figura 11) (45).

Figura 11. Sección transversal de un hueso largo.

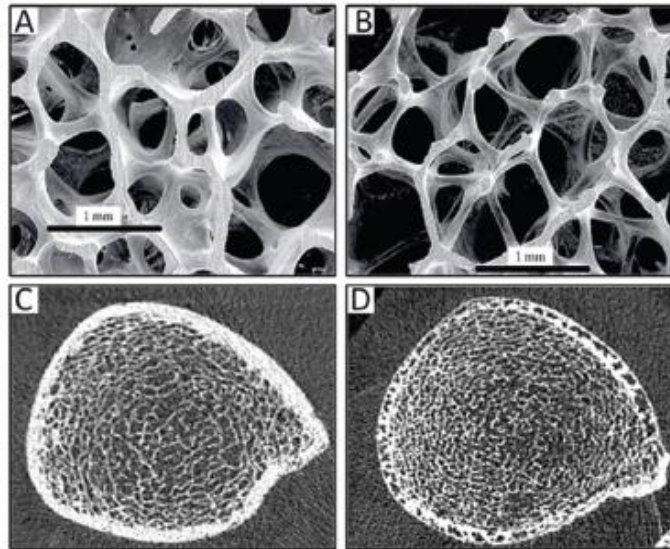


Fuente: obtenida y traducida de la imagen original disponible en «https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bone_cross-section.svg». Licencia: Creative Commons (CC BY 3.0).

Si bien es cierto que con el envejecimiento hay un deterioro similar en la parte trabecular y cortical, el hueso trabecular sufre un desgaste más temprano, debido a la entrada de la menopausia en la mujer (46). Esto, unido a una morfología menos robusta,

supone para las mujeres un mayor riesgo a sufrir enfermedades como la osteoporosis, de la que hablaremos a continuación.

Figura 12. Deterioro en el grosor, conectividad y porosidad del hueso trabecular y cortical.



Fuente: Imagen obtenida del artículo «Mechanical Basis of Bone Strength: Influence of bone material, bone structure and muscle action» publicado en el año 2017 en la revista *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*. Licencia: Creative Commons Public Domain Mark 1.0.

Los cambios en el hueso trabecular y cortical se deben a un balance negativo en la remodelación ósea causada principalmente por los cambios hormonales, pero también a factores del estilo de vida, como medicación y hábitos poco saludables como el tabaquismo, el sedentarismo y la inactividad física (47,48) . Estimular el metabolismo óseo desde edades tempranas para alcanzar un pico máximo, así como tratar de mantenerlo durante la edad adulta a partir de hábitos más saludables como la alimentación o el ejercicio, es de gran importancia para disminuir el riesgo de fracturas en la tercera edad (34).

1.2.2.5. Patologías asociadas a la composición corporal

Los cambios en la composición corporal que cursan en el proceso de envejecimiento son determinantes en la progresión de enfermedades como la obesidad, la sarcopenia y la osteoporosis. A continuación, se describen estas enfermedades.

Sobrepeso y obesidad

La OMS define el sobrepeso y la obesidad a partir de unos puntos de corte establecidos para el IMC, siendo $\geq 25 \text{ kg/m}^2$ sobrepeso y $\geq 30 \text{ kg/m}^2$ obesidad. Los últimos datos de la OMS recogen que, a nivel mundial, en 2016, el 39% (un 39% de los hombres y un 40% de las mujeres) de los adultos de 18 o más años tenían sobrepeso, y un 13% obesidad (un 11% en los hombres y un 15% en las mujeres). Esto es de gran importancia ya que una vez entrada en la edad adulta esta obesidad tiende a mantenerse. En España, el estudio EXERNET reportó que en personas mayores no institucionalizadas, la obesidad estaba presente en el 85,3% en hombres y 84% en mujeres (49), cifras mucho más elevadas que las anteriores.

Como hemos comentado, el uso del IMC en esta población podría estar sujeto a importantes limitaciones, por eso, y teniendo en cuenta que la obesidad se define como una cantidad anormalmente alta de tejido graso, otros autores como Gallagher y col. han tratado de definir los puntos de corte que corresponden al porcentaje de grasa corporal que determinan el sobrepeso y la obesidad. Los puntos de corte establecidos respecto al porcentaje de masa grasa fueron los siguientes: 25% y 38% en hombres y mujeres respectivamente para sobrepeso y 31% y 43% en hombres y mujeres, respectivamente para obesidad (50). Además, un estado nutricional por debajo del considerado como saludable estaría determinado por un porcentaje de grasa corporal menor del 13% en hombres y 24% en mujeres. Con estos datos, el estudio EXERNET reportó en España

un 58,7% de sobrepeso y un 26,6% de obesidad en hombres, así como un 43,1% de sobrepeso y un 40,9% en mujeres mayores de 65 años (49), estimados utilizando impedancia bioeléctrica.

La obesidad a partir de la edad adulta supone uno de los principales determinantes para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (ECV), situándose como una de las principales enfermedades no transmisibles para todas las edades en los países más desarrollados (20).

Sarcopenia

La disminución de fuerza y masa muscular pueden dar lugar a lo que se denomina sarcopenia, una de las enfermedades más problemáticas a partir de la edad adulta (51). Se considera sarcopenia al deterioro generalizado y progresivo de músculo esquelético que está asociado a un aumento en el riesgo de sufrir efectos adversos que incluyen caídas, fracturas o discapacidad física. Las últimas definiciones y pautas de diagnóstico son dadas por dos importantes grupos de trabajo como el «European Working Group of Sarcopenia» (52) y por la «International Clinical Practice Guidelines for Sarcopenia» (53), ambas en 2018. Esta actualización incluye no solo la evaluación de la masa muscular sino también la de fuerza, ya que parece ser un factor determinante en el desarrollo de la enfermedad. A través de este meta-análisis, se estima que la prevalencia de sarcopenia se encuentra entre un 10 y un 27% en la población mayor general (54). Como es esperable, en diferentes escenarios, las cifras más bajas parecen encontrarse en aquellos mayores no institucionalizados (9% en mujeres y 11% en hombres), seguidos por los mayores institucionalizados (24% en mujeres y 23% en hombres) y siendo las más altas en mayores hospitalizados (31% en mujeres y 51% en hombres). Sin embargo, los resultados reportados en los diferentes estudios varían

mucho dependiendo de los puntos de corte utilizados y las metodologías usadas en la evaluación de la masa muscular (55).

Los cambios en la masa muscular suelen ir asociados a una pérdida en la fuerza y a una capacidad menor de desempeñar actividades de la vida diaria (AVD), siendo un factor de riesgo determinante de dependencia (56).

Osteoporosis

Los cambios en la masa ósea hacen que el adulto mayor tenga una predisposición más elevada de padecer osteoporosis, lo que conlleva un mayor riesgo de fracturas. La osteoporosis fue definida en el año 1993 por la OMS como: *“enfermedad esquelética sistémica caracterizada por una baja masa ósea y un deterioro de la microarquitectura del tejido óseo, con el consecuente incremento de la fragilidad ósea y de la susceptibilidad a la fractura”*(53).

A nivel mundial, la prevalencia de osteoporosis en personas mayores se estima que está en un 21,7% según este reciente metaanálisis, siendo esta cifra mayor en mujeres (35,3%) que en los hombres (12,5%). En Europa, esta prevalencia es algo más elevada y constituye un 24,3% (57).

El diagnóstico de la osteoporosis se realiza a través de una absorciometría fotónica dual de rayos X (DXA) y se considera que existe esta patología cuando el valor de la densidad mineral ósea (DMO) está por debajo de -2,5 desviaciones estándar de la media de un adulto joven. Sin embargo, un valor de la DMO entre -1,0 y -2,5 ya determina una baja DMO, lo que se ha venido llamando osteopenia (58) y que recientemente el consenso sugiere denominar masa ósea disminuida (59).

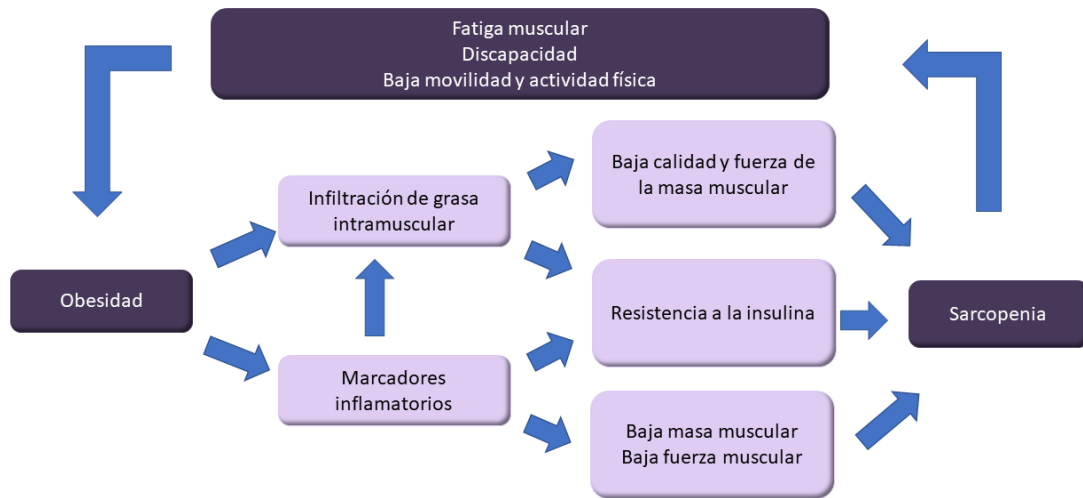
No existen valores de referencia o puntos de corte para el diagnóstico de la osteoporosis a partir de métodos que midan parámetros volumétricos o diferencien el hueso cortical del trabecular. Sin embargo, se ha visto como en personas osteoporóticas el hueso trabecular es más poroso y como ambas partes, trabecular y cortical, se vuelven menos densas (43).

Obesidad Sarcopénica, Osteosarcopenia y Obesidad osteosarcopénica

Como hemos mencionado anteriormente destacan tres importantes enfermedades asociadas a los cambios en la composición corporal: obesidad, sarcopenia y osteoporosis. Sin embargo, estas enfermedades no son excluyentes entre sí y en muchas ocasiones se dan de forma concomitante en el adulto mayor.

Cuando concurre un aumento de peso junto con un elevado porcentaje de grasa y una disminución de masa muscular, encontramos lo que se denomina obesidad sarcopénica (60). Padecer obesidad complica la enfermedad de la sarcopenia, debido a que aumenta la infiltración de grasa en los músculos y hace que estos pierdan aún más su funcionalidad. Aunque la etiología de la enfermedad es variable, parece que una disminución de la actividad física produce una disminución en el gasto energético generando una serie de cambios en el tejido adiposo que complican más el transcurso de la sarcopenia (figura 13) (61).

Figura 13. Mecanismos de relación entre la obesidad y la sarcopenia.



Fuente: figura adaptada del artículo «Sarcopenic obesity or obese sarcopenia: A cross talk between age-associated adipose tissue and skeletal muscle inflammation as a main mechanism of the pathogenesis» publicado en 2017 en «Aging and research reviews» (62). Licencia: 5413690074457 (Copyright Clearance Center licence number authorization).

Al igual que puede darse la obesidad y la sarcopenia, la osteoporosis puede producirse también al mismo tiempo dando lugar a osteosarcopenia u obesidad osteosarcopénica. En este sentido, existe evidencia para asegurar que la asociación de estas patologías conferirá un peor diagnóstico. Esta convergencia de patologías no es difícil que se dé a la vez. Kirk y col. estimaron la prevalencia de osteoporosis en no sarcopénicos en un 47,6%, en un 65,5% en aquellos con una probable sarcopenia y en el 78% en aquellos diagnosticados de sarcopenia (63).

Modular los cambios que se producen en la composición corporal durante el envejecimiento puede ayudar a reducir la progresión de estas enfermedades y mejorar la calidad de vida de las personas mayores tal y como se hablará más tarde. Entre los efectos adversos de estas enfermedades se encuentra un mayor riesgo de ECV, caídas y fracturas, pérdida de funcionalidad y mayor riesgo de dependencia y mortalidad.

1.2.3. Cambios en la condición física

En 1985, Caspersen y col. definen la condición física como la capacidad de llevar a término las AVD con vigor y diligencia, sin cansancio indebido y con energía suficiente para disfrutar de las actividades del tiempo libre y para afrontar las emergencias imprevistas que se presenten (64). Constituye una medida integrada de todas las funciones y estructuras que intervienen en la realización de actividad o ejercicio físico: la resistencia cardiorrespiratoria, la fuerza y resistencia muscular, la habilidad motriz y la composición corporal, de la cual ya hemos hablado. Por otro lado, la American College of Sport Medicine (ACSM) hace referencia a la condición física relacionada con la salud como aquellos componentes que se relacionan con una buena salud e incluye además de las anteriores, la flexibilidad (65). Conjuntamente, existen otros componentes como la agilidad, el equilibrio, la coordinación, la potencia o la velocidad que son importantes determinantes de la habilidad y destreza de la persona. De hecho, la ACSM, en 2018, aclara que estos últimos componentes pueden incluirse junto a los primeros, y que no deben ser excluidos ya que son necesarios para adquirir objetivos relacionados con la salud (65). Concretamente esta edición destaca la potencia y la flexibilidad en la población mayor (65).

El deterioro que se observa en los componentes de la condición física limitará la capacidad de la persona para realizar las AVD. A continuación, se describe lo que ocurre con el equilibrio, la flexibilidad, la fuerza muscular, la potencia, la flexibilidad, la velocidad de la marcha y la resistencia aeróbica durante el proceso de envejecimiento.

1.2.3.1. Equilibrio

El equilibrio es la capacidad de mantener el control del cuerpo en pie o en movimiento (64). El envejecimiento trae consigo cambios a nivel postural que van a dificultar el control del cuerpo. Algunos de ellos son la pérdida de verticalidad, la proyección anterior de la cabeza, la disminución de la funcionalidad de las articulaciones o el acortamiento del rango de movimiento (66). También observamos otros cambios a nivel musculoesquelético o neuronal, como la pérdida de fuerza, la coordinación o una mayor lentitud a la hora de efectuar los movimientos (66).

Dentro del equilibrio encontramos cuatro importantes dimensiones que lo componen: recepción e integración sensorial, equilibrio estático, equilibrio proactivo y equilibrio reactivo (65). La primera de ellas es la recepción e integración sensorial, que está ligada a cómo recibimos la información a través de la vista o el oído entre otros y cómo somos capaces de mandar una respuesta para reaccionar a los estímulos recibidos. En este sentido, es común encontrar en personas mayores problemas de visión, somatosensoriales o vestibulares.

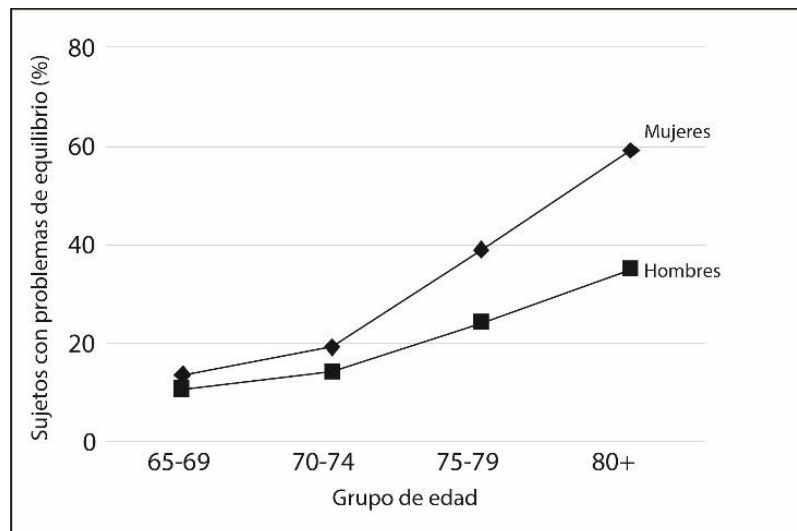
Por otro lado, al hablar de equilibrio estático nos referimos a cuando el centro de masa corporal (dónde se cree que se concentra todo el peso del cuerpo) es controlado sobre una base estable y no cambiante. Es decir, cuando conseguimos mantener una verticalidad al estar de pie o mantenemos la estabilidad al estar sentados.

En el caso de que la base sea cambiante el equilibrio implicado será el proactivo (o equilibrio dinámico), implicado en la realización de movimientos voluntarios previamente planeados. Es decir, es aquel implicado en las AVD como pueden ser: hacer la compra y transportar las bolsas, subir escaleras o andar por la calle. Por ello, un deterioro en el equilibrio dinámico supondrá un aumento del riesgo de caídas (67).

Finalmente, para evitar este tipo de efectos adversos se requiere de equilibrio reactivo, que es aquel definido como la capacidad de mantener control frente a una perturbación inesperada.

Existen múltiples herramientas y baterías para la evaluación del equilibrio usadas en el estudio de los cambios en este atributo. A través de plataformas sobre las que se evalúan los cambios sobre el centro de presión se ha visto como a partir de los 20 años de edad, disminuye la estabilidad y se continua empeorando hasta los 60, donde se agrava (68). Otros estudios como el ELSA (English Longitudinal Study of Ageing) mostraron resultados similares a través del uso de test más sencillos que no requieren de grandes equipamientos, como es el test de Romberg, incluido en la “Short Physical Performance Battery” (69). Como se muestra en la figura 14, a medida que aumenta la edad, el porcentaje de mayores con dificultades en este test aumenta.

Figura 14. Proporción de personas mayores con problemas de equilibrio según el grupo de edad.



Fuente: figura modificada del artículo «Epidemiology of balance and dizziness in a national population: findings from the English Longitudinal Study of Ageing» publicado en 2008 en la revista «Age and Ageing» (69). Licencia: 5383011108548 (Copyright Clearance Center licence number).

Otros estudios como el estudio longitudinal EXERNET, observaron también una disminución del equilibrio estático sobre un pie (Test de Flamingo) después de 8 años en personas mayores activas (70). Este proyecto fue el primero en publicar valores de referencia para diferentes grupos de edades desde los 65 años en adelante en población española, a partir de datos de la primera cohorte, observándose en todos los percentiles de cada grupo de edad, peores valores conforme aumentan los años (71). De la misma manera se observa un deterioro similar con los datos recogidos para la prueba de Time-Up and Go (TUG) que evalúa agilidad o equilibrio dinámico (70). Algunos estudios destacan que a partir de los 65 años de edad, la agilidad medida a partir del test TUG desciende más pronunciadamente (72). Por otra parte, destaca en esa prueba la implicación del estado cognitivo sobre los resultados, aspecto que también sufre un deterioro con la edad (73).

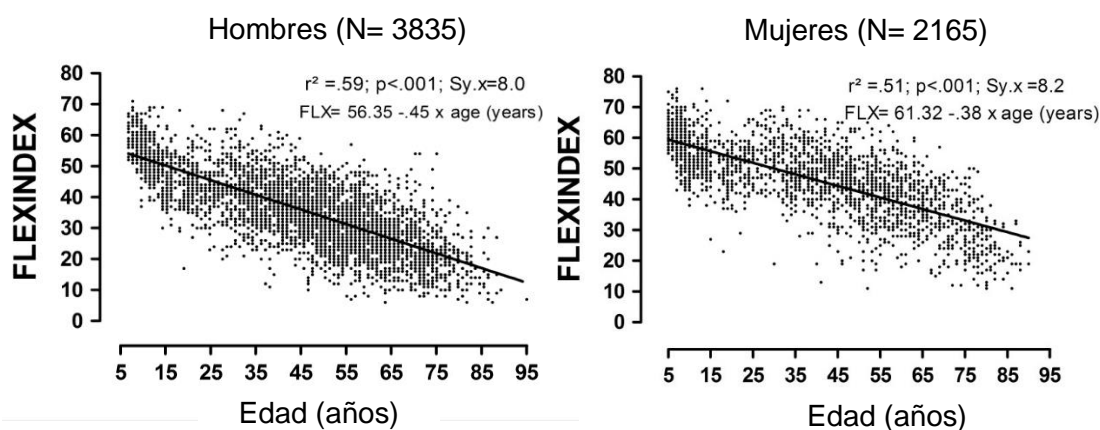
1.2.3.2. Flexibilidad

La flexibilidad es otro componente de la condición física que está relacionado con la salud. Este componente se refiere a la capacidad o alcance que tiene una articulación para realizar un movimiento, es decir, está estrechamente relacionado con el rango de movimiento (64). Además, está específicamente vinculada a cada articulación, y depende de la elasticidad de la musculatura, ligamentos y tendones.

Durante el envejecimiento, la flexibilidad sufre una disminución progresiva, pero estos cambios parecen no ser lineales (74,75). Desde edades tempranas, los valores de flexibilidad comienzan a ser mayores en mujeres que en hombres y se mantienen así en las siguientes etapas de la vida. A partir de los 60 años la diferencia entre hombres y mujeres aumenta, siendo la flexibilidad de la mujer entre un 20 y un 40% mayor que la del hombre (74). Con la edad, se ha observado que hay una disminución en el rango de

movimiento del cuello y del tronco, al hacer movimientos de rotación axial y flexión lateral, con disminuciones desde un 14 a un 35% aproximadamente (76). Lo mismo ocurre al analizar las extremidades inferiores, donde otros estudios muestran resultados muy similares (77). Sin embargo, estas disminuciones parecen ser más marcadas en hombres que en mujeres, tal y como se muestra en la figura 15.

Figura 15. Evolución de la flexibilidad a lo largo de la vida.



Fuente: figura obtenida del artículo «Age-related mobility loss is joint-specific: an analysis from 6,000 Flexitest results.» publicado en 2013 en la revista «AGE» (78). Licencia: Creative Commons Public Domain.

A nivel nacional, el estudio EXERNET analizó la flexibilidad de extremidades inferiores y superiores. Los resultados mostraron que, a mayor edad, menor flexibilidad en ambos sexos, observándose un deterioro de entre el 3 y 9% entre grupos de edades (71).

La implicación de la flexibilidad en los movimientos y en la ejecución de cualquier AVD hace que esté muy relacionada con la salud de las personas mayores siendo un factor limitante en la capacidad funcional (78). Por ejemplo, puede ser útil a la hora de vestirse, agacharse a atarse los cordones o estirarse para coger un objeto que este en altura. Sin embargo, existe cierta controversia acerca de la flexibilidad. Se ha

sugerido recientemente que la flexibilidad debería ser excluida de entre los grandes componentes de la condición física, al menos la estática (79). Entre las razones más destacables se encuentra su reducida capacidad de predicción de caídas o de mortalidad (80) y su escasa correlación con los otros componentes de la condición física. Sin embargo, Nuzzo comenta que, en mayores, a pesar de que menores valores de flexibilidad pueden predecir la dependencia, hay otros componentes de la condición física que presentan mayores asociaciones como la fuerza, la potencia o la agilidad (79).

1.2.3.3. Fuerza muscular

Hablamos de fuerza muscular como la capacidad de vencer u oponerse a una resistencia externa mediante tensión muscular, tal y como describen otros autores (64,81). El término de resistencia muscular hace referencia a la capacidad de ejecutar muchas repeticiones de un ejercicio (82). Por otro lado, la potencia es la habilidad de producir una fuerza en el menor tiempo posible (a máxima velocidad). La fuerza máxima, es la capacidad de realizar fuerza contra una resistencia que solo podemos vencer en una ocasión y engloba el concepto de 1-RM (repetición máxima).

No existe una única prueba para la evaluación de este componente de la condición física. La fuerza generada depende de factores estructurales como el tamaño, número, tipo de fibras y músculos que intervienen, así como de factores nerviosos, entre los que se incluyen el reclutamiento de unidades motoras, la frecuencia de los impulsos y la coordinación inter e intramuscular, entre otros. Teniendo en cuenta esto, los métodos de evaluación se diferencian entre: fuerza estática o isométrica y fuerza dinámica (82). Brevemente, se definen como:

- Fuerza estática o isométrica: aquella que no requiere movimiento de las extremidades. Esta nos proporciona información acerca de la contracción

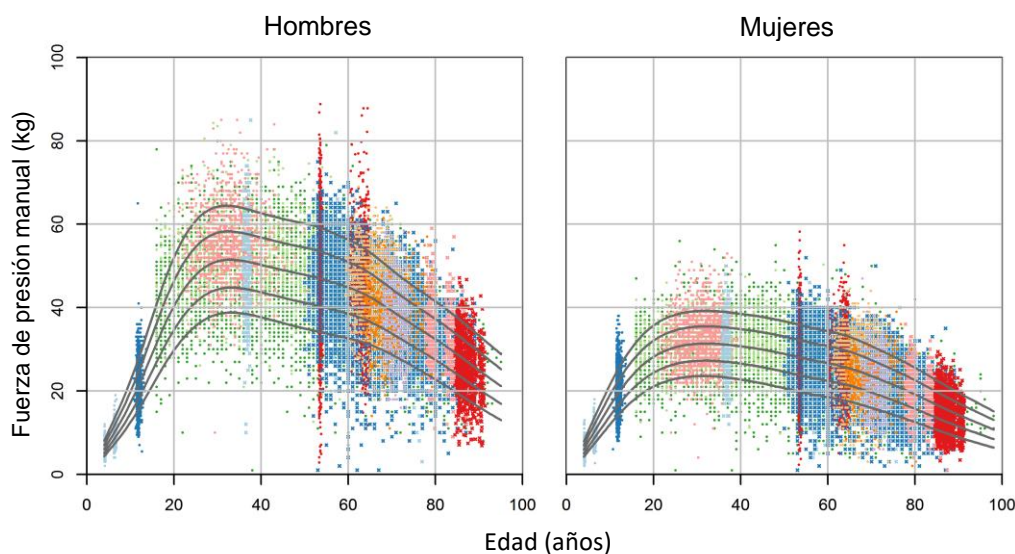
máxima voluntaria de la persona y se realiza a partir de test como la dinamometría manual.

- Fuerza dinámica: referida para aquella que se ejecuta frente a una carga externa y en la que se produce contracción y extensión muscular. Dentro de este tipo de evaluaciones la más popular es la evaluación de la fuerza máxima, pero se incluye también la fuerza potencia.

El deterioro que se observa durante el envejecimiento en la fuerza se estima que es de 2 a 5 veces mayor que el que ocurre en la masa muscular y parece tener una mayor influencia sobre la capacidad funcional que la masa muscular de la persona (26).

A partir de una muestra de casi más de 50.000 personas con edades comprendidas entre los 4 y 90 años, este estudio realizado en población de Reino Unido reportó un deterioro en ambos sexos de la fuerza máxima de presión manual medida con dinamometría manual (figura 16) (83).

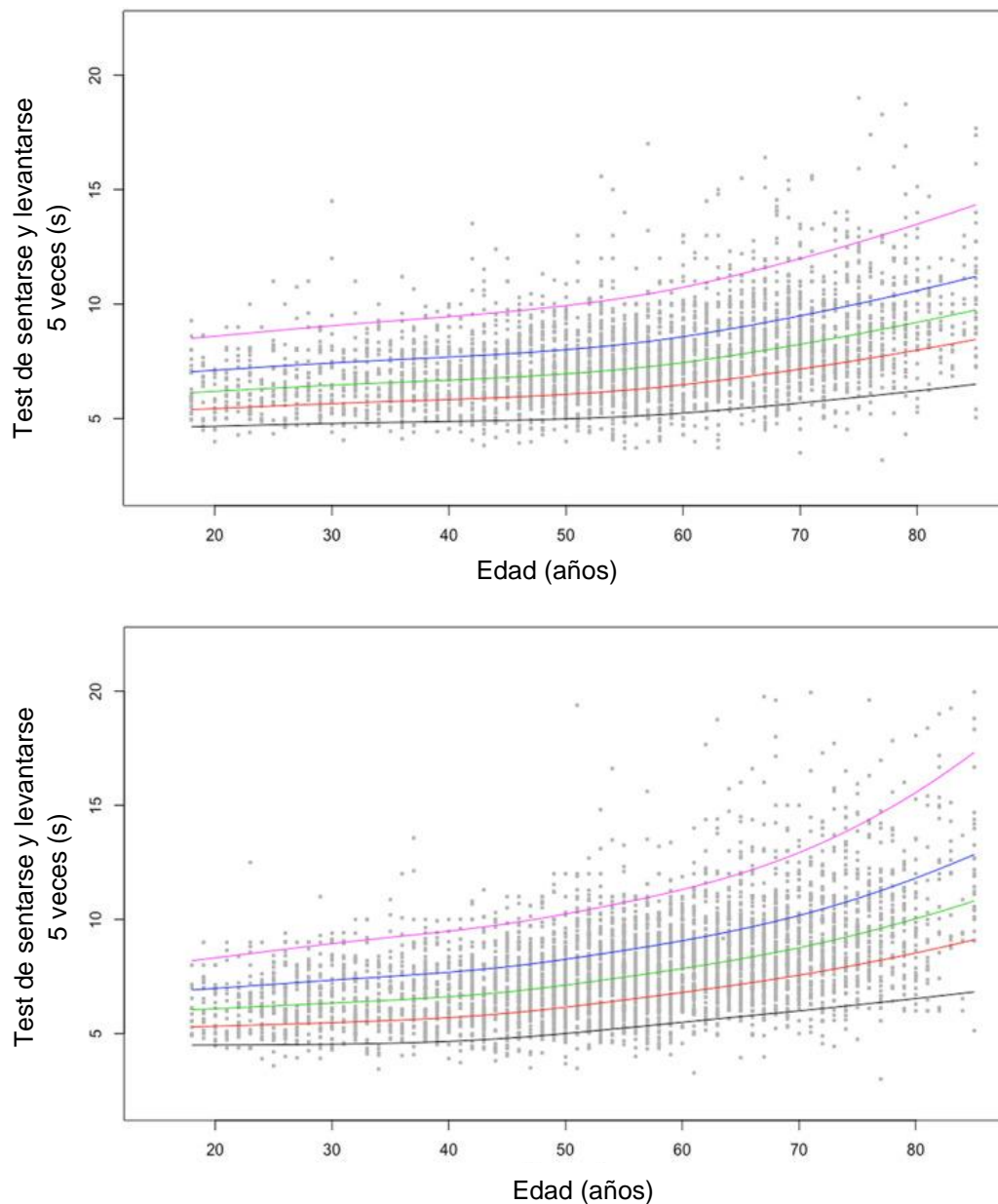
Figura 16. Curvas de percentiles de cohortes cruzadas para fuerza de presión manual.



Fuente: figura obtenida del artículo «Grip Strength across the Life Course: Normative Data from Twelve British Studies.» publicado en 2014 en la revista «Plos One» (83). Licencia: Creative Commons (CC-BY 4.0).

Respecto a la evaluación de la fuerza dinámica con el test de sentarse y levantarse en 5 veces, este estudio realizado en Italia a partir de 11448 participantes de entre 18 y 98 años reportó una trayectoria similar comparada con la evolución de la dinamometría manual. Tal y como se observa en la figura 17, la fuerza aumenta hasta los 25 años de edad, se mantiene más o menos estable hasta los 45 años y a partir de ahí sufre un deterioro más marcado (84). Otro estudio realizado en población danesa encontró similares resultados mostrando una disminución en la fuerza de extensión de rodilla a partir de los 50 años. Por otro lado, la potencia parece que comienza a disminuir antes y lo hace más marcadamente que la fuerza y masa muscular, alrededor de los 40 años de edad (85). Además, parece ser mejor predictor de mortalidad y discapacidad (86). Por ello se le ha dado mayor importancia en los últimos años. Al calcular la potencia relativa, que tiene en cuenta la masa corporal, se observan diferencias entre sexos. Los hombres sufren un deterioro más temprano en la potencia debido a un aumento de IMC a los 65 años, 10 años antes que las mujeres (85).

Figura 17. Valores normativos en fuerza de piernas (The longevity check-up 7+ Project), en hombre y mujeres.



Fuente: figuras obtenidas del artículo «Normative values of muscle strength across ages in a ‘real world’ population: results from the longevity check-up 7+ project» publicado en 2020 en la revista «Journal of Cachexia, Sarcopenic and muscle» (84). Licencia: Creative Commons (CC BY). NOTA: Percentiles de referencia para hombres (arriba) y mujeres (abajo) de edades entre 18 y más de 80 años para el test de sentarse y levantarse 5 veces. Los percentiles 5, 25, 50, 75, 95 están representados en negro, rojo, verde, azul y morado, respectivamente.

Por otro lado, el estudio multicéntrico EXERNET reportó disminuciones similares en la fuerza resistencia, tanto de extremidades inferiores como de

extremidades superiores, medida a través de la realización del máximo número de repeticiones en 30 segundos de los test de sentarse y levantarse y de curl de bíceps, respectivamente. Concretamente, disminuyeron entre un 4,5-5,5% cada 5 años, siendo mayor en mujeres (71). Otros autores, sin embargo, describen que los cambios en extremidades inferiores podrían ser mayores que en extremidades superiores (87).

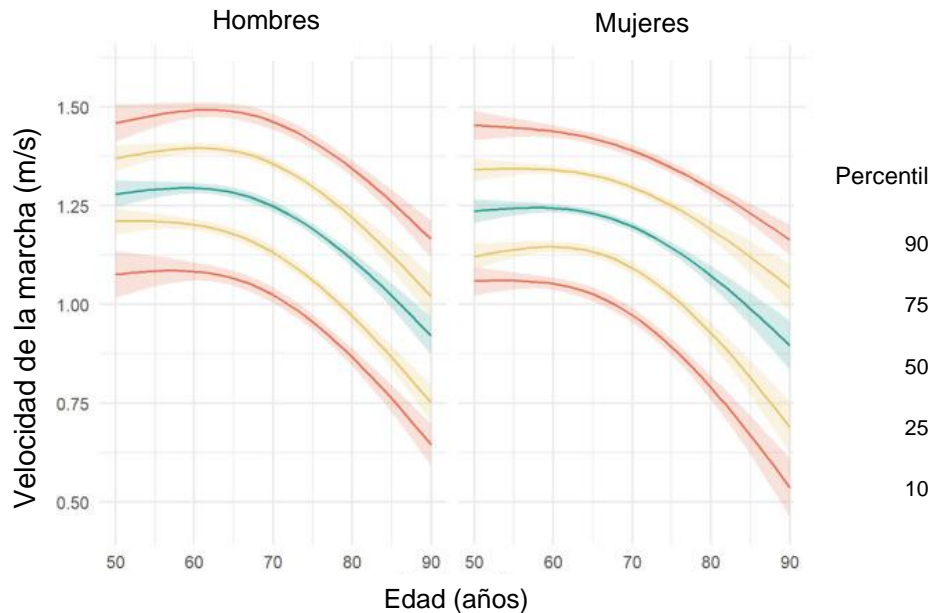
1.2.3.4. Velocidad de la marcha

La velocidad de la marcha está estrechamente relacionada con el equilibrio dinámico. Como hemos mencionado con anterioridad, durante el envejecimiento se dan cambios posturales y neuronales que van a influir negativamente en este componente de la condición física. Algunos de estos cambios son la pérdida de verticalidad del tronco y la proyección anterior de la cabeza con la consecuente variación del centro de gravedad y la disminución de la elasticidad, movilidad articular y del rango de movimiento (66). Todo esto hace que durante la marcha disminuya la longitud del paso, así como la cadencia y que aumente el tiempo de apoyo ocasionando una disminución en la velocidad y una mayor dificultad para adaptarse a los obstáculos del entorno (66). Por otro lado, el deterioro cognitivo también va a ser un determinante del patrón de la marcha siendo un importante mediador entre la velocidad y el riesgo de caídas (88).

Existen diferentes pruebas para la evaluación de la velocidad de la marcha. Una de las más utilizadas por su sencillez es la de caminar a una velocidad habitual. En este estudio longitudinal con población holandesa (The Rotterdam study), evaluaron tras 7 años a más de 4500 holandeses la velocidad de la marcha, a su ritmo habitual. Los resultados mostraron que a medida que envejecemos tanto hombres como mujeres sufren un deterioro en la velocidad de la marcha (figura 18) (89). Este deterioro es más pronunciado a partir de los 70 años. Las principales diferencias dentro de los grupos de

edad se atribuyeron a la talla, la cual a partir de los 80 años de edad parece dejar de tener un efecto positivo en la velocidad (89).

Figura 18. Valores de referencia específicos para sexo y edad en la prueba de velocidad de la marcha.

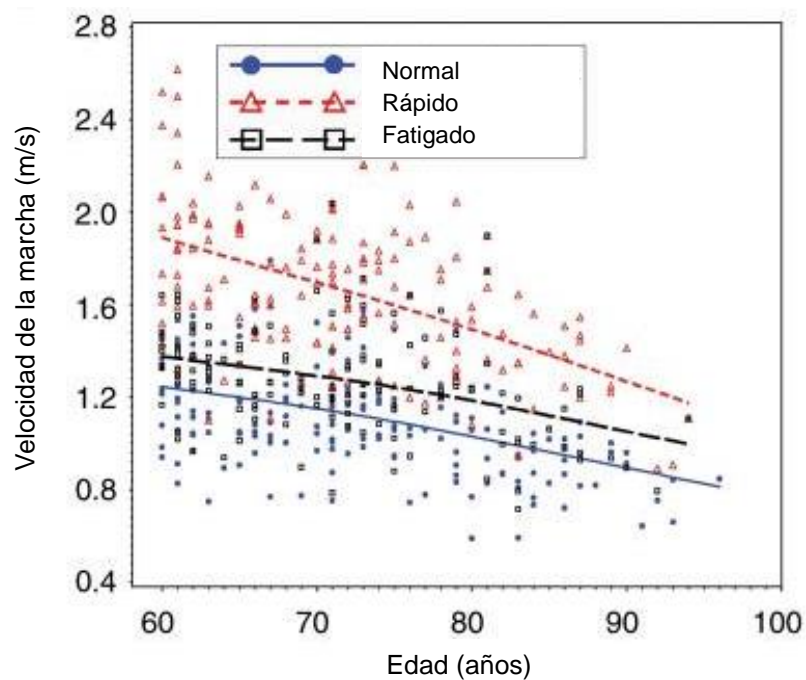


Fuente: figura obtenida y traducida del artículo Gait speed reference values in community-dwelling older adults «Cross-sectional analysis from the Rotterdam Study publicado en 2022 en la revista *Experimental Gerontology* (89). Licencia: Creative Commons (CC-BY 4.0).

Nota: Los paneles reflejan los valores de referencia para la velocidad de la marcha para una muestra de altura media 1,76m en hombres y 1,63 en mujeres. Las áreas sombreadas representan el 95% de intervalo de confianza.

En el caso del estudio EXERNET, se utilizó la prueba de caminar 30 metros a máxima velocidad. Los resultados reportados muestran que también la velocidad máxima media de los grupos de edad disminuye desde los 65 años en adelante (71). En los resultados del estudio longitudinal “Baltimore longitudinal study” se puede apreciar como la velocidad máxima parece deteriorarse más marcadamente que la velocidad de la marcha a paso habitual, figura 19 (90).

Figura 19. Cambios asociados a la edad en la velocidad de la marcha en diferentes situaciones.



Fuente: figura obtenida y traducida del artículo «Age-associated differences in the gait pattern changes of older adults during fast-speed and fatigue conditions: results from the Baltimore longitudinal study of ageing» publicado en 2010 en la revista «Age and Ageing». Licencia: Creative Commons (CC BY-SA).

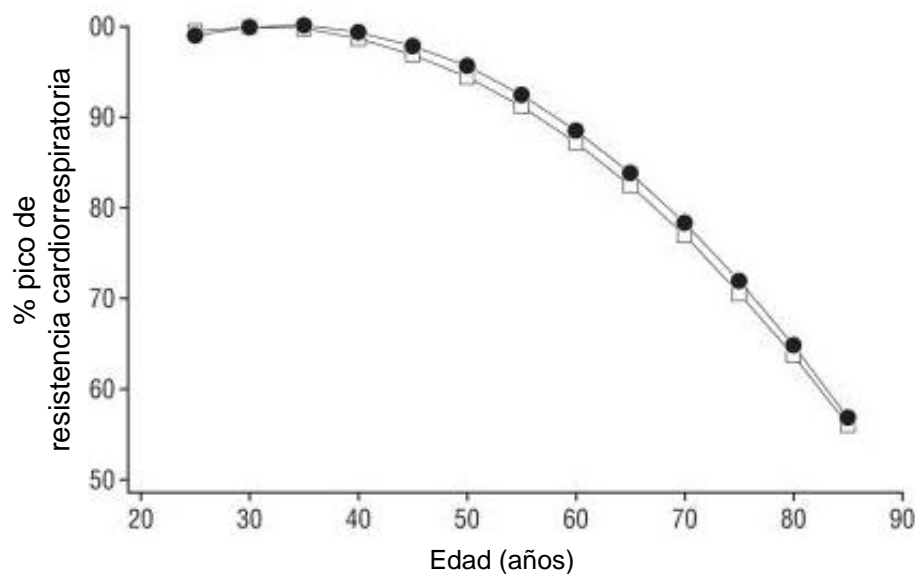
La velocidad de la marcha es un importante marcador que predice efectos adversos en personas mayores como caídas, ingresos hospitalarios o dependencia (91).

1.2.3.5. Resistencia aeróbica

La resistencia aeróbica, capacidad aeróbica o cardiorrespiratoria se refiere a la capacidad de los sistemas circulatorio y respiratorio para suministrar oxígeno durante períodos de actividad física (AF) continuada (64). Uno de los parámetros más utilizados para la evaluación de la capacidad aeróbica es el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), que representa la cantidad de oxígeno que el corazón, los pulmones y la sangre son capaces de absorber, transportar y utilizar por los músculos durante el

ejercicio (92). Junto al VO_2 máx, el VO_2 pico (referente al máximo obtenido en una prueba) constituye uno de los parámetros más fiables debido a su obtención a partir de la medición de intercambio de gases. Ambos pueden expresarse en términos de ml/kg/min o en l/min cuando se tiene en cuenta el peso de la persona. Los estudios encontrados en la literatura científica también muestran como la resistencia aeróbica disminuye con la edad, aunque no de manera lineal. Diferentes estudios longitudinales han observado disminuciones del VO_2 max de un 5-10% por década a partir de los 30 años de edad (93–95). Sin embargo, alcanzados los 70 años esta disminución parece ser mucho más marcada, siendo un 20% menor por década (94,96). Este descenso parece ser menos acusado en mujeres, sin embargo, al presentar niveles inferiores, los valores registrados en la vejez de las mujeres no presentan grandes diferencias comparados con los de los hombres (96,97).

Figura 20. Disminución de la capacidad cardiorespiratoria asociada a la edad.



Fuente: figura obtenida del artículo «Role of Lifestyle and Aging on the Longitudinal Change in Cardiorespiratory Fitness.» publicado en 2009 en la revista «Archives of Internal Medicine» (97).
Notas: puntos negros (hombres), cuadrados blancos (mujeres). Licencia: 501751048 (Copyright Clearance Center licence number authorization).

Existen también para la evaluación de la capacidad aeróbica pruebas más sencillas como es la de caminar 6 minutos, específica para personas mayores, que se utilizó en el estudio EXERNET. En este caso, los grupos de edad más mayores consiguieron recorrer menos metros durante los 6 minutos que dura el test, lo que quiere decir que presentaron una menor capacidad aeróbica que los más jóvenes (71).

Estos cambios descritos, se deben, en general, a una mayor dificultad en el transporte de oxígeno a los músculos causada por una disfunción cardíaca y a una peor utilización por parte del músculo (98).

La resistencia aeróbica ha sido uno de los componentes, tradicionalmente, más relacionado con la salud puesto que ha sido muy estudiado como factor de protección frente a ECV, cáncer y como marcador de mortalidad (96).

1.3. Envejecimiento Saludable

Los cambios demográficos actuales nos conducen a una sociedad envejecida que tiene y tendrá un importante impacto económico y social. Existen diferentes fenotipos entre las personas mayores con una misma edad cronológica que están determinados por su salud. Si las personas viven esos años adicionales de vida en buen estado de salud, su capacidad para hacer lo que valoran se verá mucho menos limitada (99).

En este sentido, hablamos de envejecimiento saludable. El envejecimiento saludable consiste en desarrollar y mantener a edades avanzadas la capacidad funcional que hace posible el bienestar (2). Conseguir que las personas mayores tengan un envejecimiento saludable a través de estilos de vida como la actividad física y la alimentación, va a contribuir a asegurar la calidad de vida en este grupo poblacional,

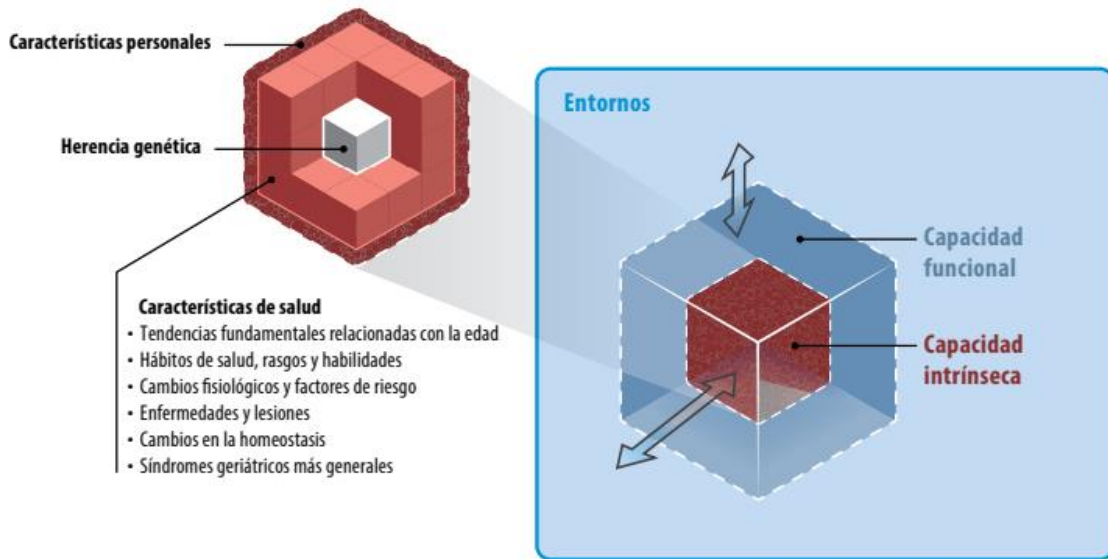
evitando enfermedades y situaciones complejas como el síndrome de la fragilidad, caracterizada, entre otros, por un deterioro de la capacidad funcional. De esta forma, se abandona una visión simplista que entiende a la salud como sinónimo de ausencia de enfermedad y se le confiere una mayor importancia a la funcionalidad.

1.3.1. Capacidad funcional

La OMS define como capacidad funcional los atributos relacionados con la salud que permiten a una persona ser y hacer lo que es importante para ella (99). La capacidad funcional está compuesta por la capacidad intrínseca, es decir, los atributos intrínsecos de la persona (sus cualidades físicas y mentales) y por el entorno que le rodea, es decir, los factores que forman el contexto de su vida y permiten a la persona hacer frente a su día a día, pero también enfrentarse a las adversidades (99).

Tal y como se observa en la figura 21, la capacidad intrínseca se constituye desde que nacemos, con la herencia genética y poco a poco se va desarrollando a partir de diferentes características de salud con los propios cambios asociados al crecimiento, al desarrollo y posteriormente al envejecimiento, las enfermedades y lesiones y los hábitos de salud de los que hablaremos posteriormente. Otros importantes atributos que influyen en la capacidad funcional y las oportunidades de la persona son las características personales, el nivel socioeconómico y la educación.

Figura 21. Capacidad funcional y capacidad intrínseca.



Fuente: figura obtenida del «Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud» (6) Licencia: 387914 (WHO permission authorization).

Las personas con una capacidad funcional limitada son más vulnerables, tienen un mayor riesgo de padecer enfermedades, sufrir efectos adversos relacionados con la salud y, consecuentemente, padecer mayor riesgo de ser dependientes (100,101). Entre otros, la pérdida de funcionalidad se asocia a un mayor miedo a caer y a un aumento del riesgo de caídas, puesto que la persona mayor tiene mayor dificultad para reaccionar ante eventos inesperados (102). A su vez, una caída puede implicar lesiones, limitaciones de la actividad física y pérdida de la independencia por una disminución en la funcionalidad (102).

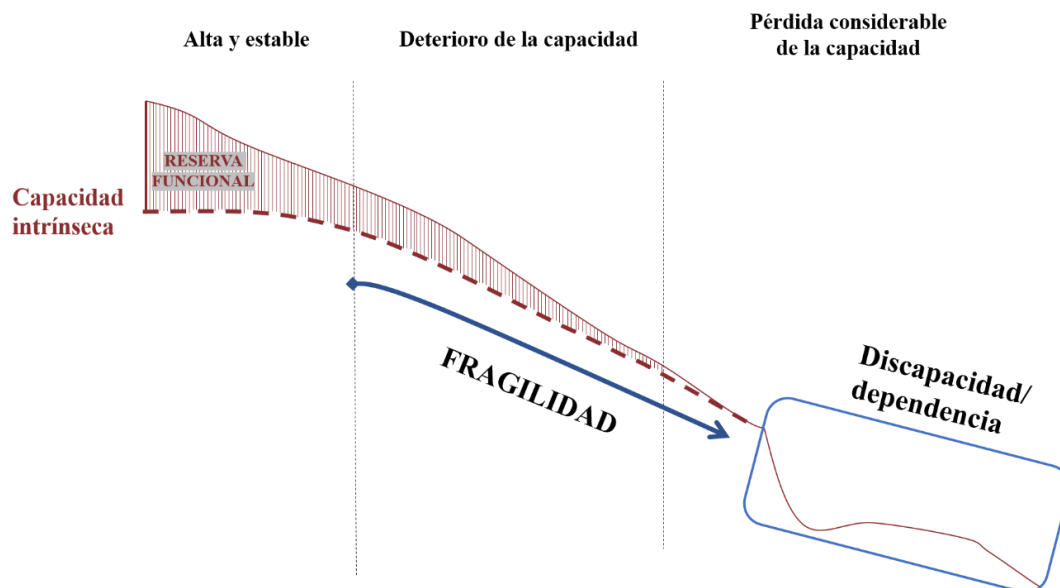
Por tanto, prevenir y revertir los estados de capacidad funcional limitada es un importante objetivo para la sociedad. En este sentido, aunque existe mucha evidencia sobre los factores determinantes en el desarrollo de patologías, efectos adversos y dependencia en población mayor general, hay poca literatura científica que haya centrado su investigación en saber qué ocurre en la población mayor con capacidad

funcional limitada y es importante investigar este ámbito para conocer si influyen en esta situación los mismos factores que en personas robustas.

1.3.2. Fragilidad

El término capacidad funcional está estrechamente ligado a la fragilidad. La OMS define la fragilidad como un deterioro progresivo relacionado con la edad de los sistemas fisiológicos que provoca una disminución de las reservas de capacidad intrínseca, lo que confiere extrema vulnerabilidad a factores de estrés y aumenta el riesgo de sufrir situaciones adversas (figura 22) (99). La fragilidad es por tanto el estado que precede a la discapacidad. Existe además un estado transitorio entre la fragilidad y la ausencia de la misma denominado pre-fragilidad, que constituye un punto importante en el abordaje de esta fisiopatología.

Figura 22. Fragilidad como deterioro de la capacidad intrínseca.



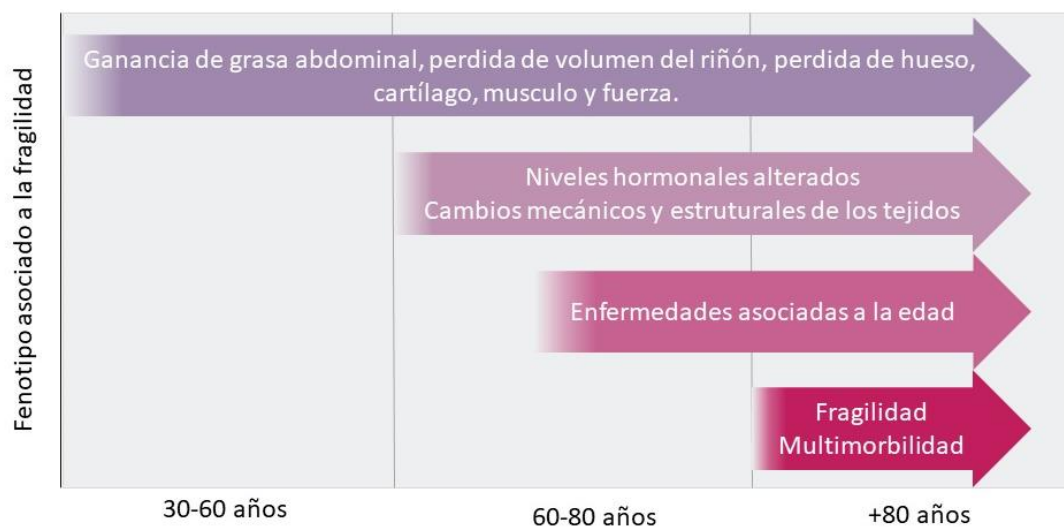
Fuente: imagen obtenida y cedida de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y morbilidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete Villanueva.

La fragilidad constituye uno de los problemas de salud más importantes a los que nos vamos a tener que enfrentar en los próximos años, por lo que su detección es importante para actuar en la prevención e incluso para revertirla. Existen múltiples herramientas de detección y diagnóstico de la fragilidad, pero hay falta de consenso por parte de la comunidad científica respecto a cuál debe ser utilizada de manera universal. Algunas de las herramientas más utilizadas son las propuestas por Rockwood (103) o el Fenotipo de Fried (104). El primero se basa en la fragilidad entendida como una acumulación de déficits, entre los que incluye más de 70 ítems como: la pérdida de audición, el mal humor, temblores, demencia y otras enfermedades (103). Por otro lado Fried y col. consideran parámetros más concretos como la lentitud, la debilidad, una baja AF, la pérdida de peso y la fatiga auto percibida; es decir, es una definición que está más vinculada a la función (104).

La falta de unos criterios estandarizados es una de las razones por las que existen diferencias al describir la prevalencia de fragilidad. Estudios realizados en personas mayores en Europa, reportan que la población frágil representa entre el 27-63% de las personas institucionalizadas, frente a un 10-15% en las no institucionalizadas (105). Por otro lado, un reciente meta-análisis reportó que la prevalencia medida con los criterios del fenotipo de Fried es del 12%, mientras que a través de la evaluación de acumulación de déficits de Rockwood y col. esta cifra es de un 24% (106). De la misma manera, los pre-frágiles parece que representan porcentajes similares de un 46 y 49%, respectivamente (106). En España se encuentran datos del 8,4% en fragilidad y del 41,8% en pre-fragilidad (107), aunque estas cifras deberían ser actualizadas puesto que corresponden a datos recogidos entre 2006 y 2009.

La fragilidad está estrechamente relacionada con la función y la condición física pero también con enfermedades como la sarcopenia (108), la obesidad (109) y la osteoporosis (110), ya que se desarrolla en parte como consecuencia de los cambios producidos en la composición corporal (figura 23).

Figura 23. Representación esquemática del fenotipo de fragilidad y los cambios asociados a la edad.



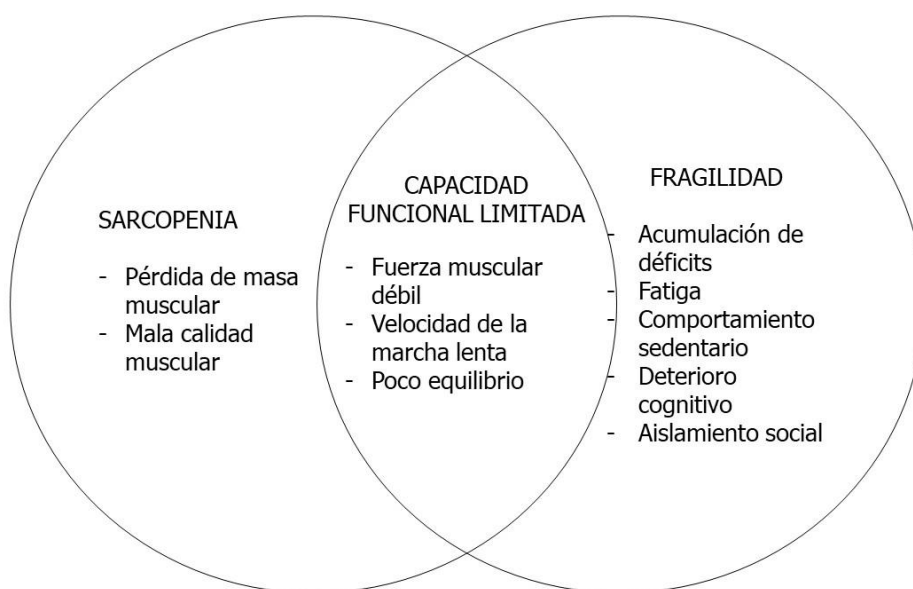
Fuente: figura traducida de «Facing up to the global challenges of ageing» publicado en 2018 en la revista «Nature» (17) Licencia: 5363521422395 (Copyright Clearance Center licence number authorization).

La fragilidad es evitable, por ello, prevenir su transcurso y evitar los eventos adversos que se desarrollan en consecuencia de esta como la aparición de enfermedades, caídas o sus consecuentes fracturas es muy importante para mantener una vida saludable en la persona mayor. El número de investigaciones en este ámbito ha aumentado exponencialmente y continúa haciéndolo en busca de una intervención que sea realmente eficaz tanto para prevenir este proceso como para revertirlo, asegurando un envejecimiento saludable. Entre estas intervenciones, destacan aquellas centradas en la

modificación de estilos de vida, una buena alimentación y la práctica de ejercicio físico en esta población (111), que serán detalladas más adelante.

Durante los últimos años, cabe destacar que desde la práctica clínica se ha prestado especial atención a la fragilidad y a la sarcopenia debido a su alta prevalencia en la población mayor, a su relación con padecer eventos adversos y a que son enfermedades potencialmente reversibles. La complejidad a la hora de definir las y diagnosticarlas en el ámbito clínico dificulta su intervención (112,113). Existe un importante punto en el que ambas enfermedades convergen, la capacidad funcional (figura 24). Este hecho, convierte a la capacidad funcional en un objetivo prioritario sobre el que actuar con el fin de prevenir el transcurso de estas enfermedades en la población mayor, así como para evitar una posible discapacidad derivada de ellas (114). Por ello, actuar sobre la capacidad funcional debe ser uno de los objetivos principales de actuación en el ámbito clínico para atajar estas enfermedades (114).

Figura 24. Relación entre fragilidad, sarcopenia y capacidad funcional.



Fuente: imagen adaptada del artículo «Sarcopenia and Physical Frailty: Two Sides of the Same Coin», publicado en la revista *Frontiers in Aging Neuroscience*. Licencia: Creative Commons (CC-BY).

1.3.3. Calidad de vida

Como se ha mencionado existen diferentes fenotipos entre las personas mayores de una misma edad cronológica. Este hecho fundamentalmente se debe a la salud de la persona. Una persona que goce de salud añadirá vida a sus años pudiendo vivir estos con una mayor calidad de vida y permitiendo a la persona hacerle partícipe de la sociedad. Al contrario, una persona con mala salud será más propensa a ser dependiente o aislarse teniendo consecuencias negativas para ella misma y la comunidad (115).

La OMS define calidad de vida como la percepción del individuo de su posición en la vida, su contexto de la cultura y sistema de valores en los que vive y en relación con sus objetivos, expectativas, estándares y preocupaciones. Por tanto, es un término estrechamente ligado con la salud y el bienestar (116).

La calidad de vida relacionada con la salud (CVRS) constituye una importante variable de medida subjetiva del impacto que la enfermedad y su tratamiento producen en la vida de la persona. Además, es una herramienta ampliamente utilizada para la evaluación del coste-efectividad de una intervención (117).

El término calidad de vida está estrechamente relacionado con el envejecimiento saludable. Unos hábitos de vida saludables repercuten positivamente en la capacidad intrínseca de la persona y en su funcionalidad. Por tanto, aquellas personas cuyos hábitos de vida sean más saludables tendrán mayor calidad de vida. Sin embargo, es importante que organizaciones e instituciones de a conocer los beneficios de este tipo de hábitos, los fomente y los promueva. Crear entornos saludables y diseñar estrategias específicas para mejorar la salud de la persona garantizará una mayor calidad de vida en esta población y un menor coste para las entidades sanitarias.

1.3.4. Hábitos de vida saludables

Los hábitos de vida saludables son aquellas conductas que tenemos asumidas como propias en nuestra vida cotidiana y que influyen positivamente en nuestro bienestar físico, mental y social. Son, por tanto, factores modificables. Como se ha mencionado anteriormente, la capacidad intrínseca depende en parte de los hábitos de vida de la persona. Mantener un estilo de vida saludable disminuirá también la carga de morbilidad puesto que la mayor parte de las enfermedades que transcurren durante la vejez son enfermedades no transmisibles como ECV, diabetes y algunos tipos de cáncer (99). Prevenir desde edades tempranas favorecerá en edades tardías hacer cualquier actividad deseada con autonomía. Entre estos hábitos de vida tenemos la nutrición y el ejercicio físico como pilares fundamentales, aunque también pueden influir otros, como, por ejemplo, el tabaquismo.

1.3.4.1. Nutrición y alimentación en personas mayores

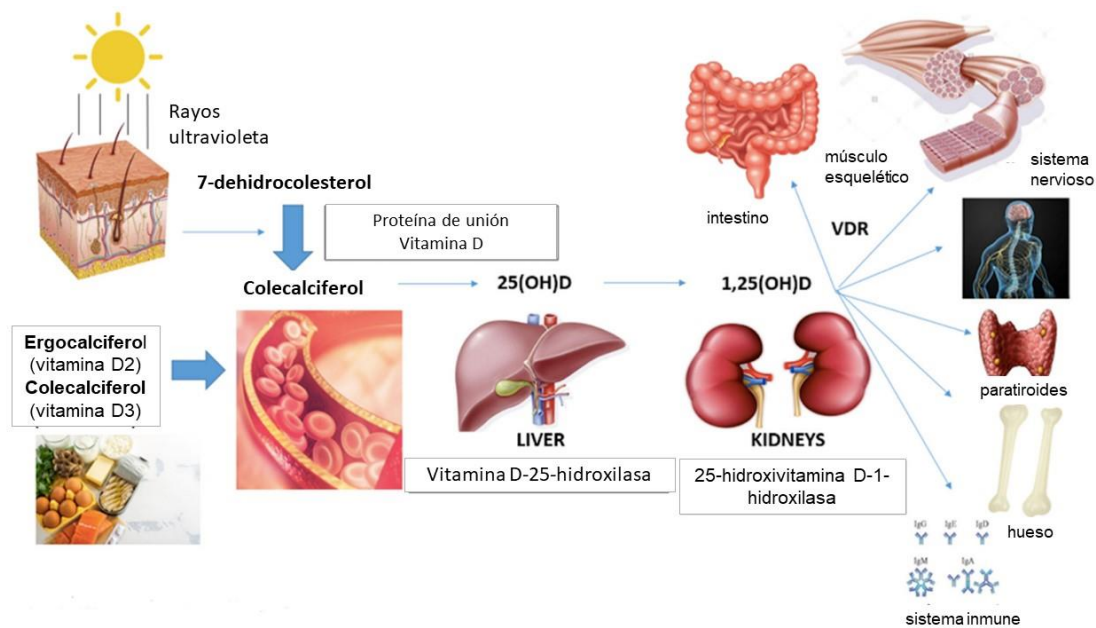
El envejecimiento también trae cambios fisiológicos que pueden relacionarse con la nutrición. La pérdida del gusto o el olfato y los problemas de masticación y deglución, entre otros, hacen que las personas mayores puedan tener el apetito disminuido (118). Además, podemos encontrar disminución de la asimilación de nutrientes como la vitamina B12 o el hierro, así como artrosis que limitan la función repercutiendo a la hora de hacer la compra o de alimentarse (119–121). Estos hechos hacen que aumente el riesgo de desnutrición en la población mayor. Los datos son ciertamente sorprendentes para nuestra sociedad, se estima que en Europa las personas mayores con malnutrición alcanzan el 28% en hospitales, 17,5% en residencias y el 8,5% en la comunidad (personas mayores no institucionalizadas).

En personas mayores, por lo general, el metabolismo se ve disminuido y los requerimientos energéticos son menores. Sin embargo, los requerimientos nutricionales se mantienen constantes, por tanto, no se consigue llegar a las recomendaciones si la ingesta se ve disminuida (118). Aquellas personas en riesgo de desnutrición presentan ingestas de energía deficitarias que influyen directamente en la fuerza y masa muscular, así como en la masa ósea contribuyendo al desarrollo de enfermedades como la sarcopenia, la fragilidad y la osteoporosis (51,122,123). En Europa, algunos nutrientes en los que se ha observado una deficiencia son los siguientes: el calcio, la vitamina D, el folato, la riboflavina (B2) o la cobalamina (B12) (124).

Existen una serie de recomendaciones específicas de nutrientes por su papel en el deterioro fisiológico y en el desarrollo de enfermedades. Por ejemplo, la proteína juega un papel importante en el mantenimiento de la masa muscular pero también en el sistema inmune. Por ello, en personas mayores se recomienda un consumo mayor al de la población general (0,8g/kg de peso de proteína diaria) que puede alcanzar desde 1g/kg de peso hasta 1,2-1,5g/kg peso (125).

Entre los micronutrientes importantes para la población mayor se encuentran el calcio y la vitamina D, debido a su relación con el metabolismo óseo. La vitamina D, además, parece tener otros papeles fundamentales en varios sistemas como se puede observar en la figura 25 (126). Además, en su metabolismo interviene la exposición solar, por lo que no solo dependerá de la nutrición.

Figura 25. Metabolismo de la vitamina D.



Fuente: figura obtenida y traducida del artículo «Vitamin D Deficiency and Sarcopenia in Older Persons» publicado en 2019 en la revista «Nutrients» (126). Licencia: Creative Commons (CC-BY 4.0). NOTA: VDR, receptor vitamina D.

Otros micronutrientes a destacar son las vitaminas del grupo B, como la B12, el ácido fólico (B9) o la piridoxina (B6), que participan en el metabolismo de la homocisteína y están relacionados con la salud cardiovascular (127–129). También a nivel circulatorio mantener los niveles de hierro adecuados será importante a la hora de prevenir anemias que puedan aumentar la fatiga propia de esta población, así como otros problemas más graves (130). Si existe una deficiencia de hierro, el transporte de sangre y oxígeno a los diferentes órganos y a los músculos será insuficiente.

Por último, otros nutrientes que se han visto asociados a procesos de inflamación y oxidación son los ácidos grasos poliinsaturados como el ω -3 (131–133) y las vitaminas hidrosolubles A, E y C, que son unos importantes antioxidantes (128,134,135). Sin ellos, muchos procesos metabólicos y principalmente aquellos

relacionados con la masa muscular parecen alterarse. Además, su déficit está relacionado con el desarrollo de fragilidad y la sarcopenia (127,135,136).

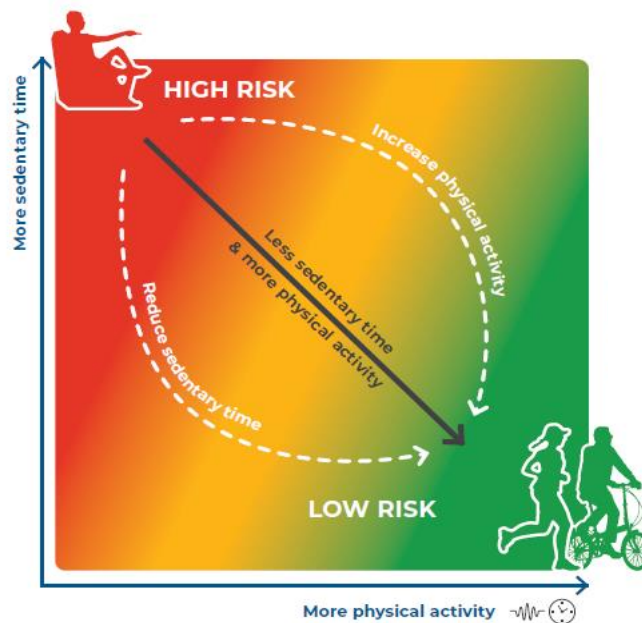
No solo estos nutrientes se han visto asociados a estas patologías, pero debido a la complejidad de estudiar por separado los nutrientes, el estudio de patrones alimentarios está muy extendido. Entre los más importantes está el patrón de adherencia a la dieta mediterránea (ADM). Este patrón se caracteriza por un alto consumo de verduras y hortalizas, legumbres, frutas, frutos secos y cereales y, especialmente, aceite de oliva; junto con un consumo moderado de pescados, huevos y productos lácteos, preferentemente yogur o queso, y un menor consumo de carnes y grasas animales (137). De esta manera, las dietas que encajan en este perfil contienen un gran aporte de antioxidantes y antiinflamatorios acompañado de una elevada cantidad de fibra y una baja carga glucémica, asociados a menor riesgo de padecer enfermedades no transmisibles y otras patologías como la fragilidad o la desnutrición (138,139).

1.3.4.2. Actividad física en personas mayores

Se entiende por AF cualquier movimiento corporal del músculo esquelético que produce un gasto energético superior al de reposo. Según las últimas recomendaciones de la OMS, las personas mayores, incluidas aquellas con afecciones crónicas, deben acumular a lo largo de la semana un mínimo de entre 150 y 300 minutos de AF aeróbica de intensidad moderada, o bien un mínimo de entre 75 y 150 minutos de AF aeróbica de intensidad vigorosa, o bien una combinación equivalente de actividades de intensidad moderada y vigorosa, con el fin de obtener beneficios notables para la salud. Además, se deberían incluir dos días de fortalecimiento muscular y dos o tres de ejercicio multicomponente con ejercicios de equilibrio funcional y fuerza moderada con el fin de aumentar la funcionalidad y disminuir el riesgo de caídas (140).

Por otro lado, estas guías no dejan de lado recomendaciones de sedentarismo. Se recomienda limitar el tiempo sedentario y sustituirlo por actividad de cualquier intensidad. El tiempo sedentario corresponde a aquellos comportamientos que contribuyen a un gasto energético menor de <1,5 METS mientras se está sentado o reclinado (141). En este sentido, la última actualización de la OMS hace hincapié en que “cada minuto cuenta”, destacando que cuanta más AF se realice mejor (figura 26) (140). Es importante diferenciar el concepto de sedentarismo y el de inactividad. Este último se refiere al incumplimiento de las anteriores recomendaciones de AF, por lo que son dos conceptos independientes y que debemos tener en cuenta de manera separada.

Figura 26. Relación entre niveles de comportamiento sedentarios y actividad física.



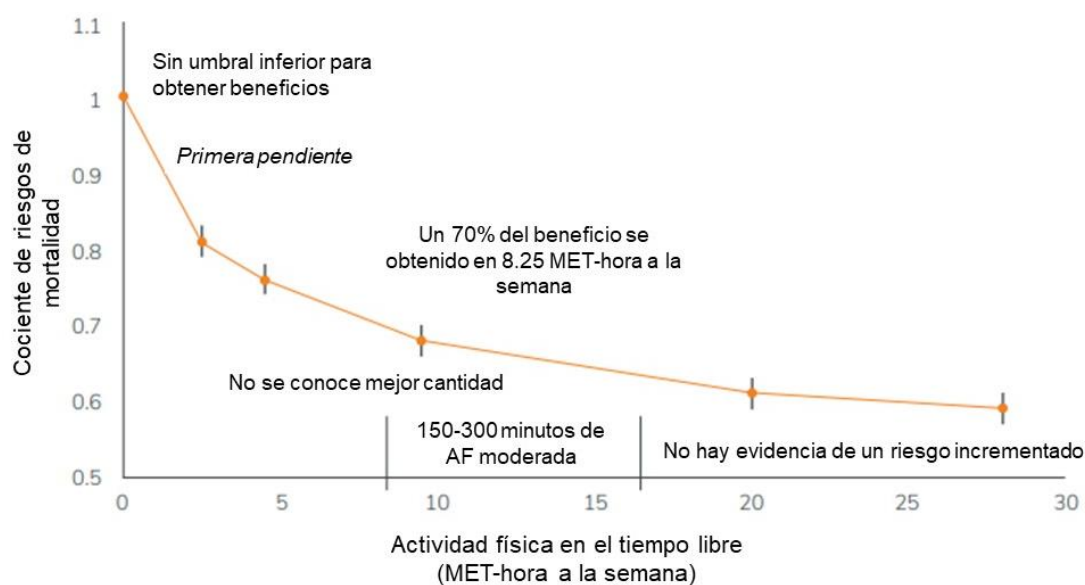
Fuente: figura obtenida de «Who guidelines on physical activity and sedentary behaviour (2020) ». Licencia: Creative commons (CC-BY-NC-SA 3.0 IGO).

Cada año podrían evitarse entre cuatro y cinco millones de muertes si todas las personas se mantuvieran más activas y cumplieran con las recomendaciones. De hecho, las personas con un nivel insuficiente de AF tienen un riesgo de muerte entre un 20% y

un 30% mayor en comparación con las personas que alcanzan un nivel suficiente de AF (142).

Cumplir con las recomendaciones de AF tiene múltiples beneficios para la salud. Entre ellos, la OMS destaca a nivel general la mejora del estado muscular y cardiorrespiratorio (98), una mejora de la salud ósea (143) y funcional (144), una reducción del riesgo de hipertensión, cardiopatías coronarias, accidentes cerebrovasculares (145), diabetes (146), varios tipos de cáncer (entre ellos el cáncer de mama y el de colon) (147) y depresión (148). En adultos y personas mayores, además de estos beneficios tenemos una disminución de la mortalidad por cualquier causa (figura 27), prevención de las caídas, una mejora de la salud cognitiva y del sueño, así como una disminución de la adiposidad (149).

Figura 27. Relación entre la actividad física moderada-vigorosa y cualquier causa de muerte.



Fuente: figura obtenida de «American Physical Activity guidelines», 2ª edición (2018) (150). Adaptada del artículo de Moore SC. Pastel AV. Matthews CE. «Leisure Time Physical Activity of Moderate to Vigorous Intensity and Mortality: A Large Pooled Cohort Analysis» publicado en 2012 en la revista «Plos Medicine» (142). Licencia: Creative Commons CC0 public domain dedication.

El último informe de la OMS estima que la población adulta que no cumple con las recomendaciones es del 20%, aunque en algunos de los países más desarrollados puede llegar hasta el 70% (151). Concretamente, el estudio ANIBES, en 2016, observó que un 85.5% de esta población no cumplía con las recomendaciones vigentes de AF vigorosa (>75min/semana), un 42.2% las de AF moderada (<150min/semana) y un 39.3% ninguna de estas dos (152). Datos semejantes se reportan en las últimas Encuestas Nacionales de Salud 2020, en las que, el 70% de los mayores de 65 no practican AF ningún día a la semana (153). Además, los datos correspondientes a sedentarismo indican que a medida que aumenta la edad, los niveles de sedentarismo son mayores. Por grupo, aproximadamente, el 35% de las personas mayores de entre 65 y 74 años, el 50% de entre 75 y 84 años, y el 70% de los mayores de 85 años son sedentarios (153). Para todos los grupos, este porcentaje se muestra mayor en mujeres que en hombres. Por todo esto, integrar la AF en las políticas de salud pública con el fin de promoverla y facilitar su integración en la sociedad actual es de vital importancia para prevenir múltiples enfermedades en todas las etapas de la vida, pero en especial en la población mayor.

Otro término relacionado, pero que no debe confundirse con la AF es el ejercicio físico. Entendemos como ejercicio físico la actividad planificada, estructurada, repetitiva que se realiza con el propósito de mejorar o mantener la condición física o la salud. Aunque hablaremos más detenidamente en el apartado de estrategias para mejorar la salud, encontraremos beneficios similares a los de la actividad física normalmente enfocados a un objetivo concreto como la prevención de caídas, mejora de la fuerza o del desempeño en las AVD. Tanto la AF como el ejercicio físico incrementan la capacidad funcional y la calidad de vida de las personas, reducen el riesgo de padecer

enfermedades crónicas no transmisibles y la posibilidad de sufrir una muerte prematura (154).

1.4. Estrategias enfocadas a la mejora de la salud de las personas mayores

Desde 2015, la OMS ha renovado los esfuerzos en mantener y mejorar la salud de las personas mayores en todos los ámbitos de actuación. Actualmente se encuentra trabajando en la década del envejecimiento saludable, con el objetivo de aunar la acción de profesionales, instituciones y otros medios para la mejora de las vidas de las personas mayores, sus familias y las comunidades en las que viven.

La prescripción de medicamentos para el tratamiento de enfermedades crónicas es muy común en el ámbito clínico. Sin embargo, esto solo permite a la persona convivir con la enfermedad cronificando la patología y ocultando algunos de los procesos fisiológicos de deterioro. Además, el aumento de la edad suele estar asociado a un número mayor de enfermedades (pluripatología o multimorbilidad) que afectan de forma sinérgica (2,155). En estos casos la polimedicación (consumo de más de 5 medicamentos) puede desarrollar efectos adversos debido a las interacciones sinérgicas que llevan a altas tasas de mortalidad (156). Se estima que en Europa la polimedicación tiene una prevalencia de alrededor del 30% (157). Por ello, llevar a cabo intervenciones alternativas como aquellas enfocadas a los estilos de vida puede ser una solución a este problema. Por ejemplo, el grupo de investigación “Diabetes Prevention Program Research Group” encontró tras 15 años de seguimiento que intervenciones no farmacológicas enfocadas al ejercicio, a la nutrición o a ambas, pueden ser igual de efectivas que la medicación incluso a largo plazo en el tratamiento de la diabetes (158). Por otro lado, en una interesante revisión publicada por los Servicios de Prevención de

los EEUU en relación con la pérdida de peso en personas con obesidad (158), encontraron resultados similares.

Entre las intervenciones más habituales se encuentran las destinadas a un aumento de la AF, implementación de ejercicio físico y aquellas enfocadas al cambio en hábitos nutricionales o la suplementación, pero cada vez se encuentran más intervenciones que combinan ambos tipos y que parecen tener mayores beneficios que por separado (159). Por tanto, no importa cuál sea el enfoque de la intervención, si se trata de prevenir o de aplicarla con fines terapéuticos, el objetivo final de estas intervenciones está destinado a disminuir la morbilidad y aumentar la salud.

1.4.1. Intervenciones basadas en el manejo nutricional

Algunas de las intervenciones que se encuentran en la literatura científica están enfocadas al manejo nutricional de las personas mayores. Se encuentran intervenciones de diferente índole. Las más sencillas, tratan de proporcionar recomendaciones personalizadas que tienen como objetivo alcanzar las ingestas recomendadas y así mejorar el estado nutricional de la persona mayor (160,161). Por otro lado, intervenciones nutricionales enfocadas al aumento de la ADM muestran cómo se puede reducir la tensión arterial y el endurecimiento arterial en mayores (162), así como disminuir la resistencia a la insulina, niveles de glucosa en ayunas, colesterol, triglicéridos, favorecer la pérdida de peso y la disminución del perímetro de cintura (163) influyendo positivamente en los factores de riesgo de las ECV.

Por otra parte, los estudios basados en la suplementación con proteínas y otros nutrientes están aumentando cada vez más. Por lo general, este tipo de intervenciones están destinadas a la prevención de la pérdida de masa muscular o a su aumento debido

a la importante relación que tienen con la sarcopenia y la fragilidad (164,165), aunque existen aquellas destinadas a la mejora del sistema inmune (166) o el deterioro cognitivo (167). Algunas de las intervenciones que parecen resultar eficaces en este sentido se llevan a cabo suplementando con proteína whey (168), leucina (169), vitamina D (170), omega-3, creatina (171) o mezclas de estos (172), ya sea en variables antropométricas, de rendimiento o función. Sin embargo, no todas las intervenciones nutricionales tienen efectos por si solas, al menos a nivel funcional (173). Por ello, en muchos casos se utilizan para maximizar el efecto del ejercicio físico (159,174,175). Además, falta evidencia acerca de cómo la nutrición y el estado nutricional pueden modular los efectos del ejercicio en la población mayor.

1.4.2. Intervenciones basadas en actividad física y ejercicio

La AF y el ejercicio tienen múltiples beneficios sobre la salud de las personas. A nivel molecular, estos pueden atenuar los principales determinantes del envejecimiento que mencionábamos con anterioridad (176). Además, encontramos beneficios a nivel cerebral, en la función cardiovascular, pulmonar y muscular, en la composición corporal y en el metabolismo (176). De esta manera, el ejercicio permite prevenir muchas enfermedades como la artritis, el cáncer, obstrucciones pulmonares, fallo renal, infarto cardiaco, la diabetes, enfermedad coronaria y demencia, entre otras. Estos beneficios los encontramos recogidos en las últimas recomendaciones internacionales de ejercicio físico para personas mayores, una guía consensuada por expertos y publicada en 2021 (154).

Las evidencias actuales sugieren que algunos tipos de ejercicio son más beneficiosos que otros dependiendo del objetivo que busquemos y de los síndromes geriátricos que se nos presenten. Por ejemplo, para la fragilidad y la sarcopenia se

recomiendan ejercicios de fuerza, potencia, equilibrio, velocidad de la marcha y entrenamiento multicomponente (EMC). Para problemas de movilidad y de caídas, a todos estos se les une el Thai Chi, mientras que para el deterioro cognitivo será útil entrenar también a través de tareas duales (154).

Para que las estrategias de ejercicio físico sean realmente eficaces en esta población, es importante que la persona mayor se adhiera a los programas de intervención o entrenamiento. Garantizar su participación a lo largo del tiempo e incluso conseguir que realice ejercicio de manera independiente será un gran logro. En este sentido, existen diversos estudios con diferentes tipos de intervenciones: aquellas que solo se enfocan al aumento de los niveles de AF a través del aumento de las horas de caminar, otras basadas en entrenamientos más específicos de fuerza (177,178), resistencia aeróbica (179), deportes acuáticos (180–182), yoga (183) y hasta aquellas actividades más novedosas basadas en ejercicio a través de videojuegos (184,185).

No hay que olvidarse que la población mayor suele tener un consumo elevado de medicación que permite a la persona convivir con su enfermedad. Sin embargo, este elevado consumo de medicamentos puede ser perjudicial, tal y como se ha comentado con anterioridad (186). El ejercicio puede prevenir aquellas enfermedades que se están tratando o actuar como coadyuvante de la medicación. Uno de los objetivos principales a alcanzar es que en la práctica clínica se use como tratamiento y recurso principal, pues ya se ha descrito como tratamiento para múltiples patologías (187).

Además, la respuesta individual de las intervenciones no farmacológicas puede ser muy diferente dependiendo de las personas (188). En relación con el ejercicio, existe mucha heterogeneidad entre las intervenciones descritas en la literatura científica y en muchos casos, no están bien detalladas por lo que son irreproducibles. Es importante

que la intervención de ejercicio físico se adapte al tipo de población para aumentar su efectividad y adherencia, así como que se prescriba una dosis adecuada de ejercicio basada en frecuencia, volumen e intensidad, para garantizar los máximos beneficios y disminuir el riesgo de lesión.

En esta tesis doctoral nos centraremos en el EMC, ya que es el tipo de ejercicio con mayor evidencia que avala su utilidad para prevenir y revertir la fragilidad a través de un aumento de la funcionalidad (111,189–191); sin embargo, sus efectos van a depender en gran medida del estado nutricional de la persona y de si tienen una ingesta de nutrientes adecuada a las recomendaciones, por lo que estos aspectos también se tratarán en el presente documento.

Por otro lado, uno de los principales problemas que se encuentran en la investigación es que, aunque las intervenciones realizadas contribuyan a la mejora de la salud de los sujetos, es muy difícil garantizar su continuidad y, por lo tanto, muchos de los efectos adquiridos con las intervenciones de ejercicio se pierden cuando cesa la práctica. Lo mismo ocurre en la realidad, y es que muchas de las actividades organizadas para personas mayores son temporales y suelen pararse en los periodos vacaciones. Además, como en 2020, pueden darse eventos como el COVID-19 que hagan que tengamos que parar nuestras actividades diarias. Por ello, es importante el estudio del desentrenamiento.

Se ha observado que el desentrenamiento puede conllevar la pérdida parcial o completa de las adaptaciones anatómicas, fisiológicas, o de rendimiento inducidas por el ejercicio físico y que son consecuencia de parar parcial o totalmente el programa de entrenamiento (192). Estas pueden darse en periodos incluso inferiores a 4 semanas. En personas mayores, determinar cuál es el periodo y estímulo necesarios para

proporcionarles, así como el tiempo que tardan en desaparecer los cambios obtenidos, es de vital importancia para poder conseguir una progresión que garantice su calidad de vida. Sin embargo, la dificultad reside en la variabilidad del tiempo de declive de los diferentes componentes de la condición física. Por ejemplo, la agilidad, la resistencia aeróbica, y la fuerza, parecen ser los componentes que más disminuyen (193,194). El tiempo para evaluar el desentrenamiento en la literatura normalmente es a corto plazo (entre 12 y 16 semanas) mientras que no existen muchos estudios a largo plazo (24 semanas). Sin embargo, los cambios más prominentes parece que se dan en las primeras 12 semanas tanto en composición corporal, como en la función (195) y en la calidad de vida (196).

2. Hipótesis

La actividad física y la condición física van a ser factores influyentes en la composición corporal de las personas mayores, concretamente a nivel de masa ósea, masa grasa y masa muscular. Se espera que la realización de un programa de ejercicio multicomponente mejore la composición corporal en personas mayores con capacidad funcional limitada y que al detenerse, los beneficios obtenidos se reviertan.

Además, se espera que la nutrición juegue un papel importante limitando los efectos del ejercicio físico, principalmente en estos cambios de composición corporal, y que el riesgo de desnutrición sea un importante determinante que predisponga a tener una capacidad funcional limitada.

Por último, se prevé que las variables de condición física, composición corporal y nutrición moderen un posible aumento en la calidad de vida relacionada con la salud al participar en el programa de ejercicio multicomponente.

Hypotheses

Physical activity and physical fitness will influence body composition in older adults. Concretely, bone mass, fat mass and muscle mass. Improvements in body composition may be expected in older adults with limited physical function when a multicomponent training programme is performed and a reversion of these changes when it stopped during a detraining period.

Moreover, nutrition may have an important role reducing the effects of exercise, mainly in body composition changes. The nutritional status may also be an important determinant leading to a limited functional capacity.

Finally, physical fitness, body composition and nutrition are expected to moderate a possible increase in health-related quality of life by participating in a multicomponent training program.

3. Objetivos

El objetivo principal de esta tesis es analizar los efectos del ejercicio físico y la nutrición sobre la composición corporal de personas mayores con capacidad funcional limitada, así como evaluar la influencia sobre otros factores relacionados como la condición física y la calidad de vida.

Los objetivos específicos que se han abordado en cada uno de los estudios correspondientes a los artículos enmarcados en la siguiente tesis doctoral son:

Artículo I.

1. Analizar la influencia de los diferentes componentes de la condición física sobre diferentes parámetros del hueso medido a través de pQCT y DXA en una muestra española de personas mayores no institucionalizadas.

Artículo II.

1. Identificar los perfiles de patrones de movimiento asociados con la masa y estructura ósea en personas mayores.
2. Investigar la relación entre los patrones de movimiento y fracturas y caídas previas, miedo a caer y riesgo de sufrir futuras caídas.

Artículo III.

1. Describir los efectos de un entrenamiento multicomponente de 6 meses de duración sobre la masa y estructura del hueso en personas mayores frágiles y pre-frágiles.
2. Estudiar la contribución de los nutrientes más relacionados con el metabolismo óseo y la 25(OH)D en suero en los cambios que se esperan adquirir durante el periodo de entrenamiento.

Artículo IV.

1. Analizar los efectos de un programa multicomponente de 6 meses de duración y de 4 meses de desentrenamiento en la composición corporal de personas mayores frágiles y pre-frágiles.
2. Examinar si la ingesta nutricional está relacionada con los cambios observados tras los periodos de entrenamiento y desentrenamiento.

Artículo V.

1. Comparar la composición corporal y la condición física de personas mayores con capacidad funcional limitada con y sin riesgo de desnutrición.
2. Estudiar si un programa de ejercicio multicomponente puede mejorar el estado nutricional.
3. Estudiar si el programa de ejercicio multicomponente tiene el mismo efecto sobre la composición corporal y condición física en aquellos mayores con riesgo y sin riesgo de desnutrición.

Artículo VI.

1. Investigar las diferencias en la ingesta nutricional entre los diferentes estadios de capacidad funcional (robusto, pre-fragil y frágil) evaluados con la Short Physical Performance Battery.
2. Describir la proporción de frágiles, pre-fragiles y robustos que cumplen con las recomendaciones dietéticas de personas mayores de la agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA).
3. Estudiar la relación entre el riesgo de desnutrición y el desarrollo de fragilidad funcional.

4. Determinar los posibles nutrientes claves asociados con un posible desarrollo de fragilidad cuando hay riesgo de desnutrición.

Artículo VII.

1. Analizar la relación entre la composición corporal, la condición física, el estado nutricional y la calidad de vida de personas mayores con capacidad funcional limitada.
2. Estudiar los efectos de 6 meses de entrenamiento multicomponente y 4 meses de desentrenamiento en la calidad de vida relacionada con la salud y sus dimensiones.
3. Investigar si los cambios en la composición corporal y la condición física o el estado nutricional están asociados a las mejoras en la calidad de vida relacionadas con la salud adquiridas con el entrenamiento.

Aims

The main objective of this thesis is to analyse exercise and nutrition effect on body composition of older adults with limited physical function, as well as to evaluate the influence of other related factors such as physical fitness and quality of life.

The specific aims of the different studies included in this Thesis are:

Manuscript I.

1. To analyse the association between different physical fitness tests and bone variables measured by pQCT and DXA, in a sample of non-institutionalized Spanish older adults.

Manuscript II.

1. To identify how the movement behaviours profile is associated with bone mass and structure in older adults.
2. To investigate the relationship between movement behaviours and previous falls and fractures, the fear of falling, and the risk of suffering falls.

Manuscript III.

1. To describe the effects of a 6-month multicomponent training on bone mass and structure of frail and pre-frail older adults.
2. To study the contribution of the main bone-related nutrients and serum 25(OH)D to the changes expected during the training period.

Manuscript IV.

1. To analyse the effects of a 6-month multicomponent training and 4 months of detraining on the body composition of frail and pre-frail older adults.

2. To examine if nutritional intake is related to the changes observed after the training and detraining periods.

Manuscript V.

1. To compare body composition and physical fitness between older adults with limited physical function at risk and without risk of being malnourished.
2. To study if our MCT exercise programme could improve nutritional status.
3. To study if the MCT exercise programme has the same effects on body composition and physical fitness in those at risk and without risk of malnutrition.

Manuscript VI.

1. To investigate the differences in dietary intake between the different stages measured by the Short Physical Performance Battery (robust, frail, and pre-frail) measured with the Short Physical Performance Battery.
2. To describe the proportion of frail, pre-frail, and robust who meet the European Food Safety Authority (EFSA) dietary references values in older adults.
3. To study the relationship between the risk of malnourishment and the development of functional frailty (measured by the Short Physical Performance Battery).
4. To assess possible key nutrients associated to possible development of frailty when there is a risk of malnutrition.

Manuscript VII.

1. To analyse the relationship between body composition, physical fitness and nutritional status with health-related quality of life in older adults with limited physical function.

2. To study the effect of a 6-month multicomponent exercise and 4 months of detraining in health-related quality of life and its dimensions in older adults with decreased functional capacity.
3. To investigate if changes in body composition and physical fitness are associated with the improvements in health-related quality of life obtained during the multicomponent exercise program.

4. Metodología

En esta sección se detalla la metodología general utilizada en el proyecto EXERNET-Elder que consta de diferentes partes: «Estudio multicéntrico EXERNET-Elder», «EXERNET-Elder longitudinal» y su continuación, «EXERNET-Elder 3.0». La metodología específica de cada artículo puede encontrarse en los correspondientes manuscritos.

4.1. Consideraciones éticas y legales

Los estudios multicéntrico EXERNET-Elder, EXERNET-Elder longitudinal y EXERNET-Elder 3.0 se llevaron a cabo de acuerdo a las Normas Deontológicas reconocidas por la Declaración de Helsinki de 1975 (revisada en la 59 Asamblea General, Seoul, Korea, octubre 2008 y en la 64 Asamblea General, Fortaleza, Brasil, octubre 2013), las Normas de Buena Práctica Clínica y cumpliendo la legislación y la normativa legal española que regula la investigación clínica en humanos (Real Decreto 223/2004 sobre regulación de ensayos clínicos).

El estudio multicéntrico EXERNET-Elder fue aprobado, recibiendo dictamen favorable, por el Comité de Ética de Investigación Clínica de Aragón (CEICA) (18/2008). Posteriormente se aprobó el proyecto EXERNET-Elder 3.0 por el Comité de Ética del Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50) referente a las evaluaciones longitudinales e incluyendo el diseño de una intervención en personas frágiles. En noviembre de 2018 este mismo comité aprobó la adenda relativa a la metodología final de la intervención EXERNET-Elder 3.0 de entrenamiento multicomponente. Todos los documentos referentes al Comité de Ética pueden encontrarse en el ANEXO I.

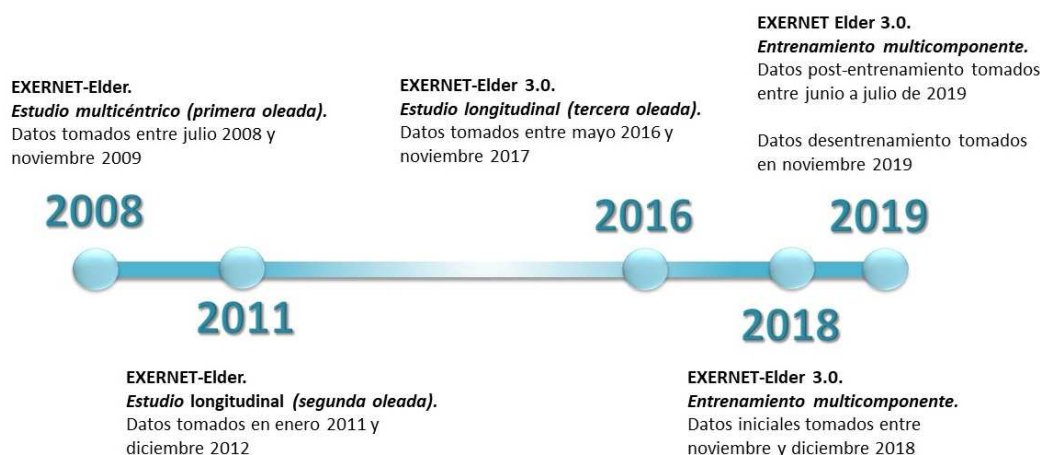
Los detalles específicos de la intervención incluida en EXERNET-Elder 3.0 fueron registrados en el repositorio público ClinicalTrials.gov con el número de referencia: NCT03831841. Toda la metodología y la descripción del programa de entrenamiento está publicada y es accesible en el artículo: «How to Improve the Functional Capacity of Frail and Pre-Frail Elderly People? Health, Nutritional Status and Exercise Intervention. The EXERNET-Elder 3.0 Project» de Fernández-García et al. (197).

Todos los participantes tuvieron que firmar un consentimiento informado como requisito indispensable para participar tanto en 2008, como en 2010, 2016 y 2018, uno relativo a los estudios «Multicéntrico EXERNET-Elder» y «EXERNET-Elder longitudinal» y, otro específico de «EXERNET-Elder 3.0» (ANEXO II). Todos los participantes recibieron información tanto oral como escrita sobre el proyecto (ANEXO III).

4.2. Muestra y diseño de los estudios: Multicéntrico EXERNET-Elder, EXERNET-Elder longitudinal y EXERNET-Elder 3.0

El proyecto «EXERNET-Elder» consta de diferentes fases, es un estudio multicéntrico y longitudinal llevado a cabo entre los años 2008-2017 y un estudio de intervención llevado a cabo en 2018-2019. La cronología de todo el estudio puede verse en la figura 28. Inicialmente este proyecto nace con el estudio «Multicéntrico EXERNET-Elder», que pretende valorar la composición corporal y condición física en una muestra representativa de personas mayores no institucionalizadas de España.

Figura 28. Cronograma del proyecto EXERNET-Elder.



Fuente: elaboración propia.

Los cálculos previos necesarios para el diseño del tamaño muestral y su distribución relativos al estudio transversal (estudio Multicéntrico EXERNET-Elder) se realizaron con la ayuda y contratación de un servicio externo de análisis estadísticos. Basándose en estudios previos con población mayor española y tras la realización de dichos análisis, la preselección de participantes del estudio Multicéntrico EXERNET-Elder se realizó mediante un muestreo probabilístico por conglomerados y polietápico, teniendo en cuenta, en primer lugar, las ubicaciones (seis regiones diferentes de España: Aragón, Castilla la Mancha, Castilla y León, Madrid, Extremadura y Canarias) que aseguraban la diversidad geográfica y cultural de la muestra, tres ciudades diferentes de cada una de estas regiones (la capital de la región y otras dos ciudades, una de 10 000 a 40 000 habitantes y otra de 40 000 a 100 000 habitantes), y por último, mediante la asignación aleatoria de centros cívicos y deportivos. De esta manera el número total de sujetos fue distribuido de manera uniforme por regiones y ciudades. La selección de poblaciones por comunidades autónomas propuesta por los integrantes de cada nodo fue:

-Aragón: Utebo, Huesca, Zaragoza.

-Madrid: Galapagar, Rivas Vaciamadrid, Madrid.

-Castilla- León: Astorga-Benavente, Ponferrada, León.

-Extremadura: Don Benito-Villanueva, Mérida, Cáceres.

-Castilla-La Mancha: Tomelloso, Talavera de la Reina, Toledo.

El número establecido de participantes fue de 3000 con el fin de garantizar una muestra representativa de todo el país. Finalmente, en el proyecto participaron un total de 3136 personas. El criterio de inclusión fue ser mayor de 65 años, y de exclusión, sufrir cáncer y/o demencia y ser incapaces de cuidar de sí mismos o estar institucionalizados.

Para la captación de los participantes se realizaron diversas acciones que incluyeron: invitación directa, publicación de anuncios en prensa local, reclutamiento de voluntarios que se encontraban realizando cursos, estudios o formación en diversos centros (por ejemplo, alumnado de la Universidad de la Experiencia o personas inscritas en actividades impartidas en los centros cívicos, deportivas o no) entre otras. Todos ellos recibieron una carta de invitación, acompañada de información pormenorizada del estudio a realizar, así como de los posibles riesgos y beneficios de este junto con las instrucciones previas al desarrollo de las pruebas.

En la segunda y tercera oleada se les llamó por teléfono para conocer su disposición a volver a participar. La tercera oleada del estudio (EXERNET-Elder 3.0), contó con 952 personas mayores de 73 años, pertenecientes a 5 nodos del proyecto

(Aragón, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Madrid y Extremadura) y que participaron en la primera parte del estudio.

En cuanto a los criterios de inclusión, en esta evaluación podían participar todas aquellas personas mayores que formaron parte del estudio transversal y que desearon participar de nuevo.

4.3. Muestra y diseño del estudio de intervención EXERNET-Elder 3.0.

Tras realizar el estudio longitudinal EXERNET-Elder 3.0, se seleccionó una muestra complementaria de personas mayores en la Comunidad Autónoma de Aragón con capacidad funcional limitada que pudieran tener fragilidad o estar en riesgo de sufrirla (pre-fragilidad) para participar en la intervención de EXERNET-Elder 3.0. El objetivo fue llevar a cabo un programa de ejercicio físico multicomponente y evaluar su eficacia con respecto a la mejora de los parámetros de funcionalidad, condición física, composición corporal y calidad de vida.

Para el cálculo a priori del tamaño muestral necesario para la intervención se empleó el software estadístico G*Power (versión 3.1.9.2, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf). El cálculo muestral se realizó basándose en: el tipo de diseño del estudio, la medición de dos grupos independientes en tres ocasiones distintas, y asumiendo valores de 0,05 para el error de tipo I y 0,20 para el error de tipo II (potencia del 80%). En total, se obtuvo que 28 sujetos por grupo eran necesarios para detectar variaciones con un tamaño del efecto medio ($f=0.25$). Asumiendo una tasa de abandono del 20%, se calculó que era necesario reclutar a un total de 70 participantes para esta intervención.

Para este estudio el reclutamiento de participantes se realizó inicialmente a partir de 4 centros de salud y 3 residencias de la ciudad de Zaragoza. Profesionales de la enfermería y medicina de los centros fueron quienes se encargaron de hacer una selección inicial de personas con potencial para participar. Tras una autorización de estas personas seleccionadas, se les ponía en contacto con los investigadores. Los posibles participantes eran contactados y citados para proporcionarles la hoja de información del proyecto junto con el consentimiento informado. En esta cita también se realizaba la «Short Physical Performance Battery» (SPPB), que se detalla más adelante y se tomaban los datos personales de contacto (ANEXO IV) conforme a los requerimientos de protección de datos.

En cuanto a los criterios de inclusión de este estudio, los participantes debían ser mayores de 65 años, no tener cáncer o demencia diagnosticada y puntuar por encima de 3 y por debajo de 10 en la SPPB (198).

Finalmente, un total de 110 participantes fueron incluidos, a los que se dividió por conveniencia en dos grupos: control (CON) e intervención (INT). Cincuenta y ocho participantes fueron incluidos en el grupo INT, que realizó un EMC supervisado durante 6 meses (24 semanas). Mientras tanto, el grupo CON (52 participantes) debía continuar con su rutina diaria y asistir a diferentes charlas sobre salud que se organizaron con el fin de garantizar su continuidad en el proyecto. Los temas tratados en las charlas fueron: la fragilidad, nutrición en las personas mayores y beneficios del ejercicio físico.

4.3.1 Diseño del programa multicomponente

Toda la metodología está descrita y detallada en el artículo científico publicado por Fernández-García y col. (197). El programa de ejercicio multicomponente fue diseñado por un graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. El

entrenamiento tenía una duración de 6 meses en los que los participantes debían asistir tres veces por semana a sesiones de una hora de duración. Los cincuenta y ocho participantes fueron distribuidos en seis grupos de entrenamiento, dos grupos en cada uno de los tres centros disponibles. Dependiendo del espacio, el número de participantes por grupo fue de entre 8 y 16 personas teniendo una ratio máxima de 12 por instructor. Es decir, aquellos con más de 12 participantes tenían 2 instructores. En todos los centros había al menos un instructor previamente entrenado para la estandarización de las sesiones y la supervisión de los participantes. Durante todo el programa de entrenamiento se recogieron los datos de asistencia siendo estos del 75-95% de las sesiones. Por otra parte, la adherencia al programa fue muy positiva puesto que la mayoría de los participantes tanto del grupo intervención como del grupo control manifestaron su voluntad para continuar. No hubo ninguna baja por lesión.

El programa fue diseñado en base a la literatura existente (178,199–201). Los días de entrenamiento fueron lunes, miércoles y viernes. El primer y último día de entrenamiento de la semana eran destinados a ejercicios de fuerza mientras que, el del medio, era enfocado a la mejora de la resistencia. Todas las sesiones seguían la misma estructura: 10 minutos de calentamiento enfocados a trabajar el rango de movimiento, equilibrio y el sistema cardiorrespiratorio, 30-40 minutos de ejercicios principales, dependiendo del día de la semana, y 10-15 minutos de vuelta a la calma en los que se incluía la flexibilidad y alguna tarea cognitiva.

Durante las sesiones de fuerza se realizaban distintos ejercicios enfocados a diferentes grupos musculares de forma individual o combinados (tríceps, pecho, espalda alta y baja, cuádriceps, glúteo, gemelo, etc.). La progresión se basó en la individualización, periodización y aumento de la carga de trabajo a partir de diferentes

variables. Los ejercicios fueron adaptados a los diferentes niveles y se proponían diferentes variantes para conseguir que fueran eficaces a la vez que desafiantes. El total de sesiones se dividió en 4 bloques conforme a la progresión: de familiarización (4 primeras semanas), de acumulación (10 semanas), de activación (7 semanas) y de trabajo funcional (3 semanas). La progresión se realizó aumentando las demandas a partir de intensidad (como la sobrecarga), velocidad de ejecución (baja en fase concéntrica y excéntrica a alta en fase concéntrica y moderada en excéntrica), nivel de coordinación (miembros inferiores y superiores por separado o simultáneamente) y tiempo de descanso (60-90 segundos), o por variables de volumen como número de ejercicios (de 6 a 8), series (de 1 a 3) y repeticiones (de 8 a 15).

De la misma manera, los ejercicios de equilibrio estático que se incluyeron en la sesión de fuerza evolucionaron con la modificación del número de apoyos (si los había), número de repeticiones (2-3), tiempo de ejecución (15 a 30 segundos), modificaciones del centro de gravedad (levantando una o ambas manos), disminución del apoyo, o eliminando el sentido de la visión (cerrando los ojos).

Las sesiones de resistencia incluyeron ejercicios de caminar, bicicleta estática para brazos y piernas, ejercicios de coordinación y de equilibrio dinámico. La progresión se realizó con el objetivo de aumentar la capacidad aeróbica, mejorar la coordinación y el rendimiento físico y potenciar la motricidad y el equilibrio dinámico. En total pueden diferenciarse tres fases: familiarización (4 semanas), acumulación (10 semanas) y activación (10 semanas). La progresión llevada a cabo se consiguió modificando el tiempo de ejercicio (de 30 a 90 segundos), número de ejercicios (de 6 a 8), series (de 1 a 2) y tiempo de descanso (de 1,5 minutos a 30 segundos). Además, se

modificaron otras variables relacionadas con la intensidad, la carga, la velocidad y la dificultad.

El equipamiento utilizado para las sesiones fueron bandas elásticas de resistencia, pesas libres (mancuernas, tobilleras con peso y balones medicinales), material de psicomotricidad y agilidad, fitballs y pelotas.

En el ANEXO V se puede ver una de las hojas que se diseñaron para dirigir y organizar los entrenamientos, relativa a la semana 8 de entrenamiento.

En los últimos 10 minutos de vuelta a la calma, se realizaron ejercicios orales de estimulación cognitiva para ejercitar memoria, lenguaje, funciones ejecutivas, razonamiento, cálculo y orientación témporo-espacial.

4.4. Pruebas y valoraciones de los estudios

A continuación, se detallan las pruebas y valoraciones realizadas en ambos estudios. Todos los investigadores tenían experiencia y fueron previamente entrenados con el fin de asegurar que todas las pruebas se realizaran de la misma manera. Para facilitar la organización y que los participantes no se cansaran en exceso, se dividieron las pruebas en dos días y se mantuvo el mismo orden de realización para evitar posibles interferencias entre unas pruebas y otras, así como entre evaluaciones. Todas las variables recogidas mediante cuestionario fueron incluidas en un único documento que puede leerse en el ANEXO VI para el estudio longitudinal y en el ANEXO VII para la intervención. Se crearon además hojas de registro para las mediciones de composición corporal y condición física, así como unas preguntas de control para el día de los análisis de sangre (ANEXO VIII).

Tras finalizar las evaluaciones, se entregaron unos informes para que los participantes conocieran su estado de salud junto con unas recomendaciones (ANEXO IX). Se incluyeron los resultados de las pruebas de condición física, composición corporal, ADM, estado cognitivo y análisis de sangre.

4.4.1 Valoración de la composición corporal

Las medidas relativas a la valoración de la composición corporal se realizaron por personal cualificado siguiendo los protocolos incluidos en el ANEXO X. Las medidas realizadas se detallan a continuación.

4.4.1.1 Medidas antropométricas: altura y perímetros

La valoración antropométrica, salvo para la determinación del peso, se realizó siguiendo las recomendaciones de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría (ISAK) (202). Todas las medidas se realizaban dos veces y se calculaba la media. En el caso de que estas dos medidas iniciales difirieran más de 0,25 cm para la altura o un 1cm para perímetros, se realizaba una tercera y se calculaba la mediana de las tres.

Estatura

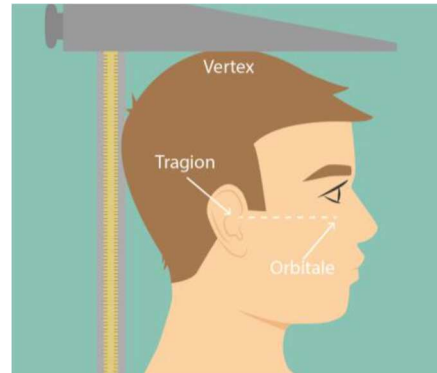
La estatura (también llamada talla o altura) es la distancia perpendicular entre los planos transversales del punto vértex en el plano de Frankfurt y el inferior de los pies.

Para la medición de la altura el sujeto debe colocarse en posición recta con los pies juntos tocando con el talón, glúteos y la parte superior de la espalda la pared. La cabeza debe colocarse en el *plano de Frankfort* (figura 29). Para ello el punto *Orbitale*

está en el mismo plano horizontal que el punto *Tragion*. Cuando están alineados, el *Vertex* es el punto más alto del cráneo.

Figura 29. Puntos anatómicos a tener en cuenta en la medición de la estatura.

- *Orbitale*: margen inferior óseo de la cuenca del ojo.
- *Tragion*: muesca superior del trago de la oreja.
- *Vertex*: punto más superior del cráneo cuando la cabeza está ubicada en el plano de Frankfort.



Fuente: definiciones obtenidas del manual «Protocolo internacional para la valoración antropométrica» de la Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría. Imagen de elaboración propia.

Mientras que el sujeto realiza una respiración, durante la inspiración, el anotador coloca la escuadra firmemente sobre el *Vertex*, comprimiendo el cabello tanto como sea posible. La medida se toma antes de que el sujeto espire.

Para su evaluación se utilizó un estadiómetro portátil de una altura máxima de 2,10 m y un margen de error de 0,001 m (SECA 225, SECA, Hamburg, Germany).

Perímetro de cintura

El perímetro de cintura o perímetro de abdomen es el punto más estrecho entre el borde costal lateral (10ª costilla) y la parte superior de la cresta iliaca, perpendicular al eje longitudinal. Si no existe un punto más estrecho, la medida se toma en el punto medio entre el borde lateral costal inferior (10ª costilla) y la cresta ilíaca.

El sujeto debe posicionarse de pie, en una postura relajada. Durante una respiración normal, la medición se toma al final de una espiración.

Perímetro de cadera

El perímetro de cadera o perímetro de glúteo se toma en la parte de mayor perímetro, perpendicular al eje del tronco.

El sujeto debe colocarse de pie en una posición relajada con los brazos cruzados sobre el tórax. Los pies deben estar juntos y el glúteo relajado.

Perímetro braquial

La medición del perímetro braquial corresponde al perímetro del brazo a nivel del punto medio entre el borde superior de la parte más lateral del acromion y el punto del borde proximal y lateral de la cabeza del radio, perpendicular al eje de longitud del brazo.

El sujeto debe colocarse en posición relajada, de pie, con los brazos colgando. Se realizará una leve abducción del brazo para permitir el paso de la cinta y poder realizar la medición. Para este perímetro se escogió el brazo dominante.

Perímetro de pantorrilla

Es la circunferencia máxima que se puede obtener, en el plano horizontal en la pantorrilla. El sujeto se posiciona de pie, relajado con ambos brazos a los lados del cuerpo. Los pies deben estar separados y el peso distribuido por igual.

Todos los perímetros fueron medidos con una cinta antropométrica flexible y no-elástica (Rosscraft Innovations Inc., Vancouver, BC, Canadá).4.4.1.2 Masa corporal, masa grasa y masa libre de grasa

Para la evaluación del peso corporal se utilizó un analizador de composición corporal con una capacidad máxima de 200 kg y un margen de error de 100 g. Concretamente el dispositivo tetrapolar “TANITA BC-418 MA, Tanita Corp., Tokyo, Japón”.

Este aparato además de servir de báscula permite estimar la composición corporal total utilizando una corriente de frecuencia (50/60 kHz, 550 μ A). El sujeto debe colocarse encima de la plataforma y sujetar los dos agarres que posee con las manos. El dispositivo posee 8 electrodos que se colocan de manera que la corriente eléctrica recorre el cuerpo del sujeto desde los electrodos en las puntas de los dedos de ambos pies hasta las yemas de los dedos de ambas manos. El aparato mide el voltaje que llega a cada una de las extremidades que variará dependiendo de la composición corporal del sujeto. De esta manera, proporciona unos datos estimados sobre la masa grasa, masa libre de grasa y porcentaje de masa grasa a partir de ecuaciones propias y validadas de la compañía TANITA (Tanita Corp., Tokyo, Japón).

Para realizar la evaluación los participantes debían retirar sus zapatos y calcetines, así como quitarse cualquier ropa pesada que llevaran puesta antes de comenzar. Antes de realizar la prueba se les pedía miccionar con el fin de que se realizara con la vejiga vacía. Los días previos a la prueba eran advertidos tanto oral, como por escrito, de que debían asistir sin ingerir alcohol ni realizar ejercicio vigoroso 12 horas antes de la medición y sin ingerir alimentos ni bebidas 3 horas antes de la prueba.

4.4.1.3 Masa ósea

Para la valoración de la masa ósea se realizaron dos pruebas, DXA y tomografía axial computerizada periférica (pQCT). La primera de ellas solo se realizó durante el

estudio longitudinal, mientras que el pQCT se realizó en todo el proyecto. Para el estudio longitudinal, ambas pruebas se llevaron a cabo exclusivamente en los participantes del nodo de Zaragoza. Durante la intervención se evaluó únicamente antes y después del programa de entrenamiento debido a que se precisan al menos seis meses para poder apreciar los cambios que ocurren a nivel óseo.

DMO evaluada con DXA

El DXA (QDR 4500-Explorer, Hologic Corp., Software versión 12.4, Bedford, Massachusetts, Estados Unidos) fue usado para la evaluación de la DMO y otros parámetros de la composición corporal en diferentes partes del cuerpo. Este dispositivo permite determinar distintos parámetros de la composición corporal a través del paso de una pequeña cantidad de radiación ionizante ($<0,004\text{mSv}$). La información que reporta es bidimensional por lo que los datos corresponden a medidas de área (figura 30).

Figura 30. Imagen obtenida de la evaluación del cuerpo entero en DXA



Fuente: imagen obtenida del informe que proporciona el DXA de un participante del estudio EXERNET-Elder.

Concretamente, se evaluó la aDMO en la espina lumbar (desde L1 a L4) y en la región proximal del fémur proporcionando datos de la cadera, el cuello femoral, el triángulo de Ward y el trocánter. Además, se realizó una evaluación de cuerpo entero y se recogieron los datos relativos a la masa muscular total y por regiones.

Este dispositivo se calibraba diariamente o siempre que el programa lo requiriera con un fantoma de espina lumbar. Se realizaron dos tipos de calibraciones adicionales: la primera con un fantoma de pasos y la segunda mediante una prueba de uniformidad radiográfica de la camilla. Todas las calibraciones y valoraciones fueron realizadas por el mismo técnico siguiendo las recomendaciones del fabricante.

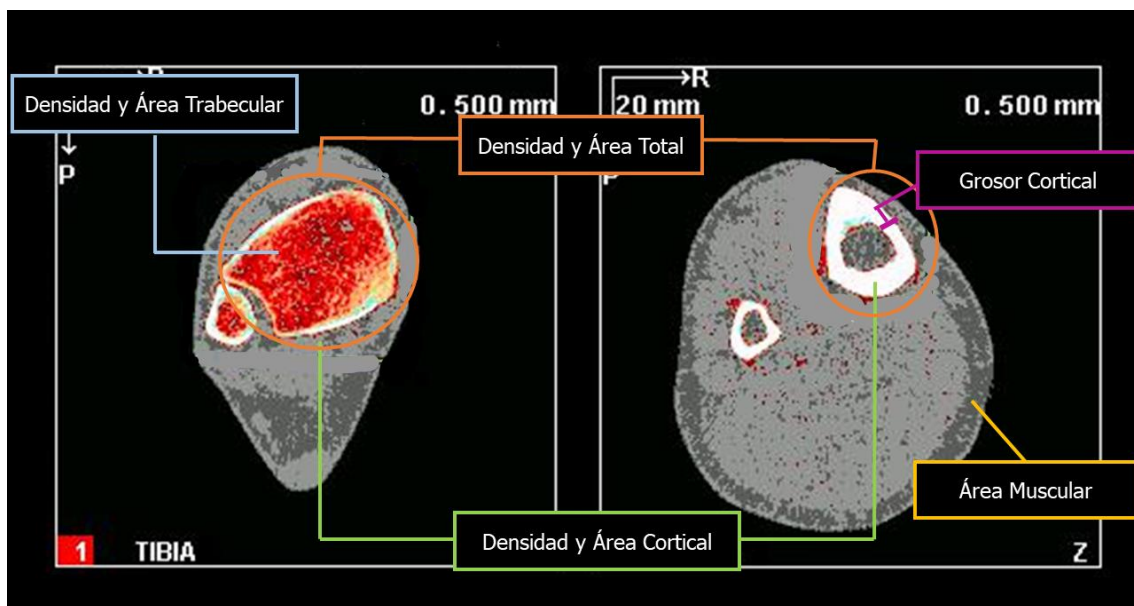
Los participantes debían tumbarse en la camilla del dispositivo decúbito supino, habiendo retirado previamente cualquier objeto metálico. Todo el procedimiento fue llevado a cabo por el mismo investigador el cual estaba entrenado y familiarizado con el

manejo tanto del dispositivo como del software. Además, el mismo investigador se encargó del análisis de las imágenes.

Masa ósea y parámetros volumétricos evaluados con pQCT

Con el fin de evaluar parámetros óseos tridimensionales se utilizó el pQCT. Este dispositivo además de reportar parámetros volumétricos es capaz de distinguir entre hueso cortical y trabecular, así como llevar a cabo unas estimaciones sobre la capacidad de torsión y deformación del hueso que proporciona información sobre el riesgo de fractura (figura 31). Su funcionamiento es a partir de la emisión de rayos X y un movimiento de traslación y rotación que permite obtener una imagen transaxial. La radiación ionizante que produce es superior a la del DXA, de unos 0,01mSv.

Figura 31. Imagen obtenida de la evaluación de la tibia en pQCT.



Fuente: imagen extraída y modificada de la evaluación de la tibia al 4% y 38% de un participante del estudio EXERNET-Elder 3.0.

En concreto, se utilizó el dispositivo Stratec XCT-2000 L pQCT scanner (Stratec Medizintechnik, Pforzheim, Alemania) que permitió evaluar el radio y la tibia de los

participantes. Para garantizar la estabilidad de la máquina, el dispositivo pQCT se calibró diariamente con el fantoma de control de calidad, que incluye material equivalente a tejido blando. El coeficiente de variación entre medidas debe ser inferior al 1%.

Las medidas seleccionadas fueron al 4%, 38% y 66% de la longitud de la tibia. Esto corresponde a la parte distal y diáfisis del hueso, al 4% y 38% respectivamente. El 66% de la longitud de la tibia corresponde a la parte con mayor perímetro de pantorrilla, donde se determinará la masa muscular. Todas las evaluaciones se realizaron en la extremidad no dominante. Para determinar la medición de la longitud de la tibia se tomó a distancia entre el extremo distal del maléolo medial y la hendidura de la articulación de la rodilla. Se realizó un primer topograma (*scout view*) para localizar manualmente una línea de referencia en el extremo distal de la tibia donde se ubicó la línea de referencia que se toma para calcular las distancias mencionadas. Los datos recogidos fueron: contenido mineral óseo total (Tt.BMC), área mineral ósea total (Tt.Ar), densidad mineral ósea total (Tt.DMO) (todas ellas al 4% y 38% de la tibia), densidad mineral ósea trabecular (Tb.BMD), densidad mineral ósea cortical (Ct.BMD), grosor del hueso cortical (Ct.Th), al 38%, y área de sección transversal del músculo (MCSA) al 66% de la tibia. Además, se recogió información de otros parámetros sobre la fuerza del hueso: resistencia a la torsión o índice de deformación por tensión polar (SSI_p) y flexión o resistencia de fractura con respecto al eje x (Fracture Load), ambas al 38%.

Para la evaluación del radio se realizó al 4 y 66% de la longitud del radio. En este caso, la máquina realizaba dos evaluaciones al 66% para reportar los datos sobre hueso cortical y masa muscular. Para determinar la longitud del radio se midió la longitud entre el olecranon y la apófisis estiloides. La línea de referencia se colocó en el

extremo distal del radio. Las variables que se reportan para el radio son las mismas que las mencionadas para la tibia. Los datos relativos al radio no han sido evaluados en los artículos de esta tesis doctoral.

Para la realización de la prueba se pidió a los participantes que se retiraran las prendas que pudieran interferir en la evaluación, como el pantalón, medias o calcetines altos si llevaban. Se les situó en una silla ajustable en altura y con ruedas para facilitar su colocación y se les ayudó a introducir la extremidad no dominante en el dispositivo.

4.4.2. Valoración de la condición física

En este apartado se detallan las pruebas de la batería utilizada en el proyecto EXERNET-Elder. Las pruebas realizadas corresponden o están adaptadas de los test de condición física que se encuentran dentro de las baterías «Senior Fitness Test» (203) y «Eurofit» (204). Existen, salvo para el handgrip, valores de referencia para la población mayor española, obtenidos a partir de la primera oleada del estudio multicéntrico EXERNET-Elder (71).

Antes de comenzar, el evaluador ejemplificaba los test para asegurar que el participante los había comprendido correctamente. El procedimiento de las pruebas se recoge con más detalle en el protocolo de evaluación (ANEXO XI).

Equilibrio: “Test de Flamingo”

La prueba consiste en mantenerse de pie sobre un solo pie mientras que el otro se mantiene apoyado sobre el tobillo del pie sobre el que sustenta. Las manos deben colocarse en la cadera. Se anota el tiempo transcurrido desde que el participante eleva el pie hasta que se mueve de la posición o apoya el pie en el suelo (figura 32). Se realizan

dos intentos con cada pie. El resultado máximo son 60 segundos. Si el participante alcanza este tiempo no es necesario realizar más intentos. Se reporta el mayor tiempo transcurrido.

Figura 32. Test de Flamingo.



Imagen obtenida y cedida de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y moratlidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete-Villanueva.

Test de flexibilidad de extremidades superiores: “Back Scratch Test”

En bipedestación, se trata de llevar una mano por detrás de la cabeza con el codo apuntando hacia arriba, pasando por el mismo hombro, hacia la espalda y la de abajo llevándola por detrás de la espalda de abajo a arriba intentando tocar la otra (figura 33). Se mide la distancia en centímetros (positivos o negativos) entre la punta de los dedos de cada mano. El test se lleva a cabo dos veces, una con cada brazo.

Test de flexibilidad de extremidades inferiores: “Chair Sit-and-Reach Test”

Sentado sobre la esquina de una silla se extiende la pierna a evaluar mientras que la otra se deja apoyada con la rodilla flexionada a 90°. Con una mano sobre la otra y sin

separarlas se trata de llegar a alcanzar la máxima distancia hacia la punta del pie, pudiéndola sobrepasar (figura 34). Se miden los centímetros que distan de la punta de las manos a la punta del pie considerando este el 0, en positivo o negativo según si se sobrepasa o no, respectivamente. Se realiza un intento con cada pierna.

Figura 33. Test de flexibilidad de extremidades superiores.

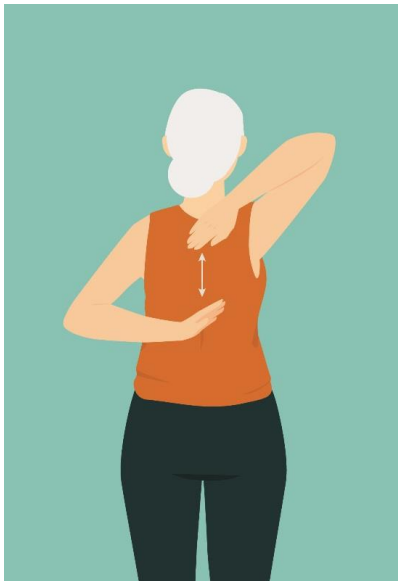


Figura 34. Test de flexibilidad de extremidades inferiores.



Imágenes obtenidas y cedidas de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y moratidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete Villanueva.

Test de fuerza de extremidades superiores: “Arm curl test”

Esta prueba se realiza con una mancuerna de 2,5 kg para mujeres y 4 kg para hombres. Sentado en una silla con la mano de la extremidad a evaluar agarrando la pesa y la otra mano apoyada sobre la pierna, partimos de una posición inicial con el brazo extendido hacia abajo. Se debe flexionar el brazo sin separar el codo del cuerpo y llevando la mano con la pesa al hombro (figura 34). Se realiza el mayor número de repeticiones completas en 30 segundos y se contabiliza como una repetición desde que el brazo sube hasta que vuelve a bajar. Se realiza una única vez con cada mano.

Figura 35. Test de fuerza de extremidades superiores.

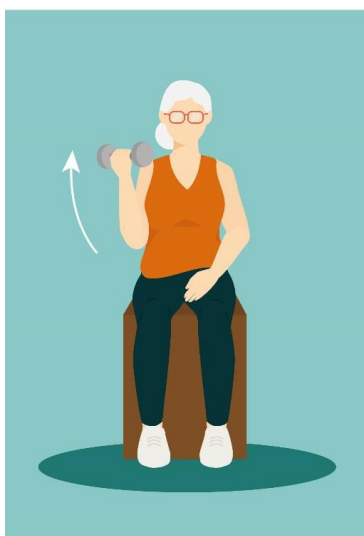


Imagen obtenida y cedida de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y morbilidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete Villanueva.

Test de fuerza de extremidades inferiores: “Chair stand test”

Sentado con los brazos cruzados y apoyando las manos sobre los hombros, el participante debe levantarse y sentarse el mayor número de veces posible en 30 segundos. La prueba se realiza una sola vez y se contabiliza el número de veces que realiza el movimiento completo en este tiempo.

Figura 36. Test de fuerza de extremidades inferiores.

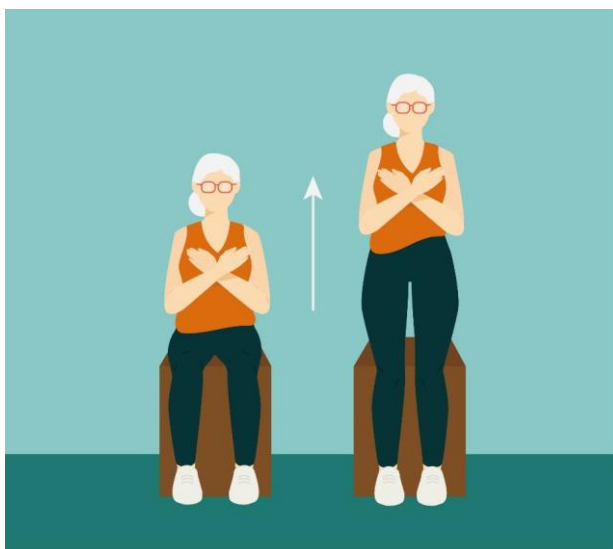


Imagen obtenida y cedida de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y moratlidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete Villanueva.

Test de equilibrio dinámico (agilidad): “8 foot up and go test”

Partiendo de una posición sentada con las manos apoyadas sobre las piernas, el participante debe levantarse a la señal del evaluador, caminar lo más rápido posible para girar alrededor de un cono situado a 2,45 metros y volver a sentarse. La prueba se realiza dos veces, dejando un minuto al menos de descanso, y el participante debe intentar realizarlo lo más rápido posible sin correr.

Figura 37. Test de equilibrio dinámico (agilidad).

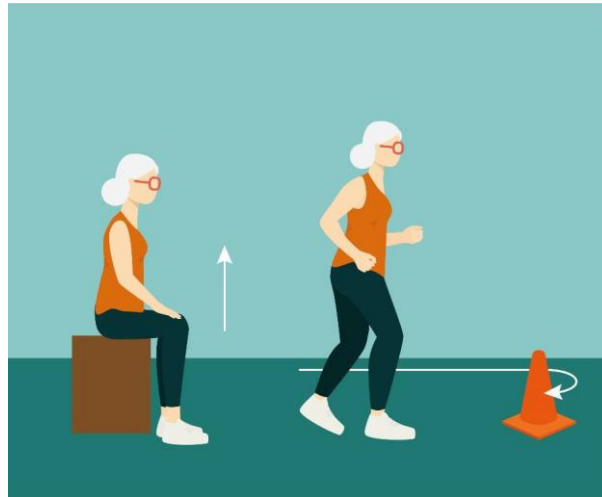


Imagen obtenida y cedida de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y moratlidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete Villanueva.

Test de velocidad de 30 metros: “Brisk walking test”

Se mide el tiempo que tarda cada participante en recorrer 30 metros caminando a máxima velocidad. Se permite caminar rápido pero no correr. La prueba se realiza dos veces dejando un descanso de al menos un minuto entre ellas y se registra el mejor de los resultados (figura 38).

Figura 38. Test de velocidad.

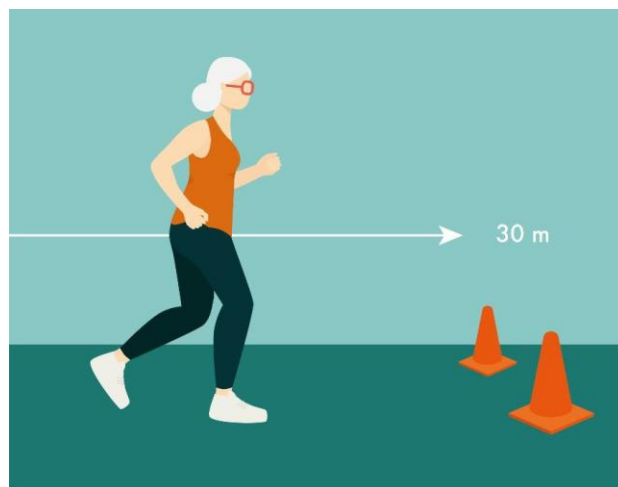


Imagen obtenida y cedida de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y moratlidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete Villanueva.

Test de resistencia cardiorrespiratoria: “6 min Walk Test”

Para esta prueba se delimita un circuito cerrado de 46 metros, tal y como se muestra en la figura 39. El participante debe recorrer el máximo número de metros posibles alrededor del circuito durante los 6 minutos de prueba. Se puede caminar rápido pero no se permite correr. Al finalizar la prueba se anotan los metros recorridos. El test solo se realiza una vez.

Figura 39. Test de resistencia cardiorrespiratoria.

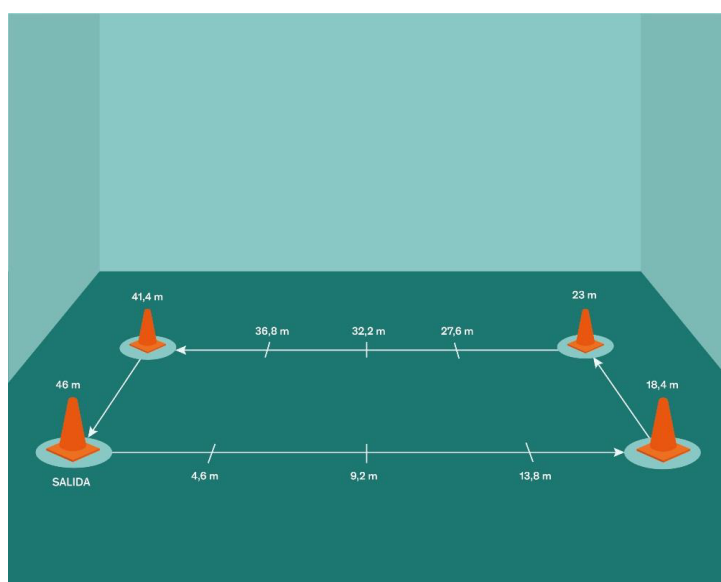


Imagen obtenida y cedida de la tesis «Evolución de los niveles de condición física y su influencia sobre marcadores de salud y morbilidad en personas mayores de 65 años», escrita por David Navarrete Villanueva.

Fuerza de presión manual

Para la evaluación de la presión manual se utilizó un dinamómetro digital Takei 5401. El dinamómetro debe ajustarse al tamaño de la mano. De pie, agarrando el dinamómetro con el brazo estirado y un poco separado del cuerpo, el participante hará presión firme y progresiva sobre el aparato finalizando hasta alcanzar su fuerza isométrica máxima. No se permiten realizar movimientos que puedan favorecer como

elevar el brazo o inclinarse. La empuñadura del aparato se ajusta a la mano del sujeto, de forma que la segunda falange del dedo corazón quede aproximadamente en ángulo recto. La prueba se realiza dos veces con cada mano, alternándolas y descansando entre los diferentes intentos. Se anota el mejor intento de los cuatro.

Figura 40. Dinamómetro



Imagen obtenida de internet. Licencia: Creative Commons (CC-BY).

4.2.3. Valoración de la actividad física y del sedentarismo

La información sobre la AF y sus diferentes intensidades, así como sobre las conductas sedentarias se recogió a partir de cuestionarios auto reportados y a través de valoración objetiva mediante acelerometría.

Entre los cuestionarios se utilizó para la evaluación de la AF el «Physical Activity Scale for the Elderly» (PASE). Este cuestionario, que es específico para personas mayores, recoge 12 preguntas acerca de actividades realizadas en la última semana y las diferentes intensidades en el tiempo libre, actividades domésticas y otras actividades (205).

Se añadieron además dos preguntas validadas acerca del número de horas sentado y el número de horas que caminaba al día (206). La cantidad de horas fue recogida en categorías de una en una hora desde menos de 1 hasta más de 5.

Otros datos obtenidos fueron los recogidos mediante acelerometría, para lo que se utilizó un dispositivo de muñeca triaxial (GENEActiv, Activin-sights Ltd, Cambridge, Reino Unido) (figura 41).

Figura 41. Imagen del acelerómetro GENEActiv.



Imagen obtenida de internet. Licencia: Creative Commons (CC-BY).

Este dispositivo fue programado para recopilar datos durante una semana a una frecuencia de 10 Hz, que es suficiente para clasificar las actividades diarias (207). Los participantes llevaron el dispositivo en la muñeca no dominante durante siete días consecutivos. Este acelerómetro es resistente al agua, por lo que los participantes no debían quitárselo en ningún momento. Para que la información fuera válida los dispositivos debían haber registrado al menos cuatro días y estos debían tener al menos 480 minutos (8 h/día) de uso. La detección del tiempo en desuso se evaluó en bloques de 30 minutos consecutivos siguiendo los métodos descritos por van Hees y col. (208). Los datos triaxiales obtenidos son condensados para el cálculo de un vector y son agregados en epocs de 60 segundos (209). Cada epoc se clasifica como tiempo sedentario, de AF ligera o AF moderada-vigorosa, de acuerdo con los puntos de corte previamente definidos por otros autores y específicos para esta población. También se obtuvieron datos de tiempo de sueño (210).

4.2.4. Valoración de la capacidad funcional

La capacidad funcional de los participantes fue medida en la intervención (EXERNET-Elder 3.0) para realizar un cribado de fragilidad a los participantes. Se utilizó la batería «Short Physical Performance Battery» (SPPB) en la que se incluyen tres test: equilibrio, velocidad de la marcha en 4 metros y el test de sentarse y levantarse cinco veces de la silla (198). Todos los test puntúan de 0 a 4 puntos.

El test de equilibrio se compone de tres niveles: equilibrio sobre pies juntos, en semitambor y en tambor. El participante debe aguantar 10 segundos en cada una de las posiciones. Por cada nivel superado se puntúa con 1 punto salvo para el último que puntúa de 6 segundos a menos de 10 segundos con 1 punto y con 2 puntos al completar el test.

Al test de velocidad de la marcha se le asignan los puntos según el tiempo que tarda en recorrer los 4 metros a un ritmo habitual. Se realiza dos veces anotando el mejor intento. Las puntuaciones son las que se muestran en la siguiente tabla.

Por último, en el test de sentarse y levantarse 5 veces el participante debe comenzar sentado con la espalda recta y los brazos cruzados con las manos sobre los hombros. La prueba se debe realizar lo más rápido posible y termina de pie. Las puntuaciones correspondientes van en función del tiempo, tal y como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Puntuación de la «Short Physical Performance Battery»

Test de velocidad de la marcha 4m (s)	Test de Sentarse y levantarse 5 veces (s)	Puntuación
< 4,82	< 11,19	4
4,82 - 6,20	11,20 - 13,69	3
6,21 - 8,70	13,70 - 16,69	2
> 8,70	16,70 – 59	1
Incapaz	más de 60	0

La puntuación final se obtiene sumando cada una de las puntuaciones de las diferentes pruebas, que resulta en una puntuación que puede ir del 0 al 12. Con esta puntuación podemos separar a los sujetos según su capacidad funcional en: 0-3 puntos con capacidad funcional limitada severa (discapacidad), 4-6 puntos con capacidad funcional limitada moderada (fragilidad), 7-9 puntos con capacidad funcional limitada leve (pre-fragilidad) y por encima de 10 puntos robustos (198,211,212).

Por otro lado, a partir del tiempo en sentarse y levantarse 5 veces se calculó la potencia media relativa. Para ello se precisa el tiempo en completar la prueba, la altura de la silla, la altura y el IMC del sujeto (213). La fórmula utilizada para el cálculo es la siguiente:

$$STS \text{ potencia media relativa: } \frac{0.9 \times g \times [altura \times 0,5 - altura \text{ silla}]}{Five \text{ STS time} \times 0,1}$$

4.2.5. Valoración del estado nutricional y alimentación

Para la valoración nutricional en esta población se utilizaron diferentes cuestionarios realizados a través de entrevistas. Se incluyeron el cuestionario de ADM de 14 puntos (137), un cuestionario semi-cuantitativo de frecuencia de consumo de alimentos (214,215) y el «Mini Nutritional Assessment» (216,217) para la valoración del estado nutricional. Todos los cuestionarios pueden ser consultados en el ANEXO VII.

El cuestionario de ADM de 14 ítems es sencillo y fácil de usar. Incluye 14 preguntas, 12 relacionadas con el consumo de alimentos y 2 relativas a los hábitos que caracterizan a la dieta mediterránea. Se puntúan 1 o 0 según el cumplimiento. Además de esta puntuación se pueden categorizar grupos atendiendo al nivel de adherencia en “baja adherencia” ≤ 9 puntos o “alta adherencia” > 9 puntos.

Se utilizó además un cuestionario de frecuencia de consumo de alimentos semicuantitativo, previamente validado en España, con el fin de recoger información sobre los alimentos consumidos y los nutrientes que proporcionan. Este cuestionario está compuesto por 137 ítems correspondientes a diferentes alimentos y que muestran los tamaños típicos de lo que corresponde a una porción. El entrevistado debía marcar la opción que más se correspondiera con lo consumido en el último año, existiendo nueve opciones ordenadas desde “nunca o casi nunca” a “seis o más veces al día”. Además, en este cuestionario se debe considerar también aquellos productos de consumo estacional como los helados o los turrónes. La ingesta nutricional se estimó a partir de las tablas de alimentos españolas y otras fuentes de información (218). Los datos extraídos de este cuestionario fueron: ingesta energética (kcal/día), macronutrientes (proteína, grasas y carbohidratos (g y % de la energía total), tipo de ácidos grasos (g/día), tipos de ácidos

grasos poliinsaturados (w-3 y w-6) (g/día), vitaminas y minerales (mg/día o µg/día según corresponda con las ingestas de referencia). Además, se crearon grupos de acuerdo a los nutrientes que proporcionan y se estimó cuántos gramos de cada grupo de alimento se ingerían.

Para la valoración del estado nutricional se utilizó el cuestionario «Mini Nutritional Assessment Questionnaire». Este cuestionario específico para población geriátrica consiste en 18 preguntas acerca de la auto-percepción de salud y nutrición del individuo, la capacidad funcional e independencia y la medida de 3 parámetros antropométricos: IMC, perímetro de pantorrilla y de brazo. La puntuación máxima es de 30 puntos, siendo un valor mayor sinónimo de mejor estado nutricional. A partir de la puntuación total se establecieron 3 categorías: buen estado nutricional (>23,5 puntos), en riesgo de desnutrición (17-23,5 puntos) o malnutridos (<17 puntos) (216,217).

4.2.6. Valoración del estado cognitivo

Para la valoración del estado cognitivo se utilizó el «Mini Mental State Examination». Este cuestionario evalúa cinco áreas cognitivas que son: fijación, concentración y cálculo, memoria y lenguaje. La puntuación total es de 30 puntos, presentando deterioro cognitivo aquellos con menos de 23 puntos (219). El cuestionario se incluyó con los demás y se puede ver al final del ANEXO VI y VII.

4.2.7. Valoración de la calidad de vida

El cuestionario «EuroQol» de 5 dimensiones y 3 niveles fue utilizado para la evaluación de la CVRS (ANEXOS VI y VII). Se compone de cinco preguntas relativas a cinco dimensiones de salud (caminar, higiene personal, hacer sus actividades cotidianas, dolor o incomodidad, y ansiedad o depresión) con tres posibles niveles de

gravedad (sin problemas, algunos problemas o muchos problemas). La puntuación se saca siguiendo una escala de *time trade-off* que oscila de 0 (la muerte) a 1 (mejor estado de salud) (220). Además, este cuestionario incluye una escala visual análoga, subjetiva, que representa un termómetro de salud en el que el participante debe señalar cómo se encuentra en el día de hoy del 0 al 100 siendo 0 el peor estado imaginable y 100 lo mejor (221,222). Este cuestionario es usado mundialmente para la evaluación de la CVRS y posee valores normativos (223).

4.2.8. *Análisis de sangre y vitamina D*

Se recogieron muestras de sangre en ayunas mediante venopunción (4 ml) con el fin de obtener parámetros de bioquímica básica y valores de vitamina D. Las muestras se centrifugaron a 3100 rpm durante 17 minutos para la extracción del suero y se almacenaron a -80 °C para su posterior análisis.

Para la obtención de 25(OH)D se utilizó el paquete “VITROS 25-OH Vitamin D Total” que incluye VITROS 25-OH Vitamin D Total Reagent Pack, VITROS 25-OH Vitamin D Total Calibrators y el sistema de inmunodiagnóstico VITROS ECi/ECiQ, VITROS 3600.

La elección de evaluar la vitamina D hidroxilada (25(OH)D) es por su vida útil de 2-3 semanas, 1000 veces mayor que su forma activa 1,25-(OH)₂, que es de 4 horas. Por lo tanto, como la 25(OH)D tiene una vida media de 2 a 3 semanas, fue el metabolito confiable para usar como indicador (224). De esta manera, en este estudio también consideramos los niveles séricos de 25(OH)D y no solo la vitamina D derivada de la dieta.

4.2.9. Número de caídas en el último año, miedo a caer, fracturas en el último año y riesgo de fracturas

Dentro del cuestionario EXERNET-Elder se incluyeron diferentes preguntas ad-hoc sobre caídas y fracturas. Concretamente sobre las caídas se preguntó: miedo a caer, número de caídas sufridas en el último año y si fue necesaria la atención sanitaria en estas caídas. También se preguntó por las fracturas en los últimos 10 años.

El riesgo de caídas se evaluó a través de la escala incluida en el programa Vivifrail (211), que incluye la prueba “*time-up and go*” (225), la prueba de velocidad al caminar en 6 metros (226), y las siguientes dos preguntas: (1) ¿Ha sido diagnosticado de deterioro cognitivo?, (2) ¿Ha tenido 2 o más caídas durante el último año o 1 que haya precisado asistencia médica? En el caso de que el participante mostrara un bajo rendimiento físico o afirmara una de esas preguntas la persona entra como “grupo de riesgo”.

4.2.10. Valoración de otros parámetros sociodemográficos y de salud

El cuestionario EXERNET, además de los otros cuestionarios, incluía variables relativas a la fecha de nacimiento, edad, sexo, lugar de residencia, dedicación laboral antes de jubilarse, edad de la menarquia y menopausia, deporte en la juventud, participación en AF organizada, hábitos tabáquicos y horas de sueño, entre otras. También se incluyeron cuestionarios validados sobre actividades básicas (Barthel y col.) (227) y actividades instrumentales (Lawton and Brody) (228) de la vida diaria para evaluar el nivel de dependencia y el fenotipo de Fried para la evaluación de la fragilidad (104). En el estudio longitudinal se incluyó además un cuestionario sobre incontinencia urinaria (ANEXO VI) (229).

4.2.11. Análisis estadísticos

En este apartado se describen de manera global los análisis estadísticos utilizados en los artículos incluidos en esta tesis doctoral. No obstante, dentro de cada artículo puede encontrarse la estadística concreta de cada uno de ellos.

Para la mayoría de los análisis se utilizó el software *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS Inc., versión 20.0, Chicago, Illinois, Estados Unidos), a excepción del manuscrito en el que se analizan datos de acelerometría, para los que se usó programación estadística *R* (*Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria*; <https://www.r-project.org/>), utilizando distintos paquetes para ampliar su funcionalidad y un análisis composicional. Este último análisis se detalla al final de este apartado. El nivel de significación estadística se fijó en $p < 0,05$.

Previamente a la realización de los análisis, se comprobó la normalidad de las variables de la muestra mediante el test de Kolmogorov-Smirnov o Shapiro Wilk, dependiendo de si las muestras eran mayores o menores de 50, respectivamente. Además, se realizó una exploración de posibles casos extremos u *outliers*. En aquellos casos en los que la muestra no seguía una distribución normal y no se pudo realizar una transformación, se asumió la normalidad de la muestra y se justificó el procedimiento con la teoría del límite central (230,231).

Todos los artículos incluyen un análisis descriptivo en el que se presentan como $\text{media} \pm \text{desviación estándar}$, para variables continuas, o como número de participantes y % del total para las variables categóricas. Las diferencias descriptivas se calcularon mediante pruebas de t-student o análisis de varianzas (ANOVAs) de un factor. Otras comparaciones descriptivas adicionales se realizaron con análisis de covarianzas

(ANCOVAs) ajustando por diferentes covariables que podían influir (sexo, edad o ingesta energética, entre otras).

Los análisis longitudinales se han realizado de dos maneras. En primer lugar, se utilizó un ANOVA de medidas repetidas para analizar solo dos momentos temporales. Se obtuvieron las diferencias inter e intra-grupos. Se calculó, además, la eta al cuadrado parcial para reportar el tamaño de efecto siendo: efecto pequeño ($>0,01$), efecto medio ($>0,06$) o efecto grande ($>0,14$) y la *d* de Cohen para el tamaño del efecto en comparaciones múltiples siendo: efecto pequeño ($>0,2$), efecto medio ($>0,5$) o efecto grande ($>0,8$).

Para analizar datos longitudinales de tres momentos temporales se utilizó un modelo mixto lineal. Para este análisis se calcularon las diferencias entre una medición y otra substrayendo. Es decir, para el análisis de los efectos del entrenamiento; la segunda medición menos la primera, para el análisis de los efectos del desentrenamiento; la tercera menos la segunda, y para evaluar el cambio total; la tercera menos la primera. En este análisis también se obtienen diferencias inter e intra-grupos.

Finalmente, la mayoría de los artículos incluyen alguna correlación y regresiones para estudiar en qué medida pueden estar asociados y contribuir diferentes factores sobre una variable. En el caso del primer artículo se realizaron múltiples correlaciones parciales simples y aquellas variables significativas se introdujeron en un único modelo de regresión por pasos. Se reportaron los coeficientes parciales de correlación para el primer análisis y la β estandarizada, cambio en r^2 , y r^2 total del modelo para el segundo análisis. Los artículos de intervención incluyen regresiones simples individuales que estudian la contribución de diferentes variables nutricionales, de composición corporal y condición física a los cambios obtenidos con el entrenamiento y desentrenamiento.

Debido a la naturaleza de las variables, otra de las regresiones utilizadas en el artículo VI es una regresión logística que asocia la relación entre dos variables dicotómicas.

Todos los análisis fueron ajustados por diferentes variables dependiendo del análisis utilizado y las variables con las que se trabajaba.

El artículo de acelerometría utiliza un tipo de análisis que se denomina análisis composicional. Este elimina la multicolinealidad que podemos encontrar en las variables de AF, tratando los datos conjuntamente, ya que la suma de todos los comportamientos hace 24 horas. Se incluyó el tiempo sedentario, AF ligera, AF moderada a vigorosa y tiempo de sueño. Para los análisis descriptivos, se calculó la media geométrica como medida central y la matriz de varianzas por pares como medida de dispersión. La distribución de la muestra se representó en un diagrama ternario. Para determinar la relación entre los comportamientos y las diferentes variables de hueso se llevó a cabo la transformación de datos logarítmica isométrica para ajustar adecuadamente los modelos al tiempo dedicado a los otros comportamientos. Los resultados muestran la contribución total del modelo y la relativa de cada tipo de comportamiento (γ).






Además, se representaron las medias geométricas composicionales de los comportamientos para los diferentes grupos creados sobre variables de caídas y fracturas.

5. Análisis y discusión [Results and discussion]

5.1. Artículo I

Research Article

Associations between Physical Fitness, Bone Mass, and Structure in Older People

A. Moradell,^{1,2,3,4} A. Gómez-Cabello ,^{1,2,3,4,5,6} A. Gómez-Bruton,^{1,2,3,4,5} B. Muniz-Pardos,^{1,3}
J. Marín Puyalto ,^{1,2,3,4} A. Matute-Llorente,^{1,2,3,4,5} A. González-Agüero,^{1,2,3,4,5} I. Ara ,^{3,7,8}
J. A. Casajús ,^{1,2,3,5,9} and G. Vicente-Rodríguez ,^{1,2,3,4,5}

¹GENUD (Growth, Exercise, NUtrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain

²Instituto Agroalimentario de Aragón -IA2- (CITA-Universidad de Zaragoza), Spain

³Red española de Investigación en Ejercicio Físico y Salud en Poblaciones Especiales (EXERNET), Spain

⁴Department of Physiatry and Nursing, Faculty of Health and Sport Science (FCSD), University of Zaragoza, Ronda Misericordia 5, 22001 Huesca, Spain

⁵Centro de Investigación Biomédica en Red de Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición (CIBEROBn), Spain

⁶Centro Universitario de la Defensa, Zaragoza, Spain

⁷Centro de Investigación Biomédica en Red de Fragilidad y Envejecimiento Saludable (CIBERFes), Spain

⁸GENUD Toledo Research Group, Universidad de Castilla la Mancha, Toledo, Spain

⁹Faculty of Health, Department of Physiatry and Nursing, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain

Correspondence should be addressed to G. Vicente-Rodríguez; gervicen@unizar.es

Received 11 March 2020; Accepted 3 July 2020; Published 15 July 2020

Academic Editor: Helen F. K. Chiu

Copyright © 2020 A. Moradell et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The main aim was to analyse the associations between several physical fitness variables and bone parameters in a sample of elderly people. 129 participants (94 females and 35 males, 76.2 ± 5.4 y) from the EXERNET cohort of Zaragoza (Spain) were included in the study. Physical fitness was assessed using the Senior Fitness Test Battery. Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) at the tibia and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) at the hip and lumbar spine were used to assess bone and muscle parameters. Partial correlations were used to describe the associations between fitness and bone parameters. A stepwise regression analysis was used to determine the influence of fitness variables on bone parameters. In males, significant correlations were found between lower body strength and agility with bone total mineral density (Tt.BMD) ($r = 0.41$ and -0.50) and cortical thickness ($r = 0.40$ and -0.50 , respectively) and walking speed with total and cortical density ($r = -0.41$ and -0.40 , respectively), all measured at tibia (all $p < 0.05$). Regarding DXA, neck areal bone mineral density (aBMD) correlated with flexibility ($r = -0.37$) and walking speed ($r = 0.39$) and Ward's triangle with walking speed ($r = 0.39$). Agility predicted Tt.BMD and cortical thickness (r^2 change = 24.8% and 23.0%), while walking speed predicted cortical bone mineral density (r^2 change = 19.5%) (all $p < 0.05$). Females showed correlations between balance and total hip aBMD ($r = 0.27$) and trochanter aBMD ($r = 0.25$). Balance predicted trochanter (r^2 change = 4.2%) and total hip aBMD (r^2 change = 4.9%) (both $p < 0.05$). In conclusion, bone mass in elderly males seems to be more influenced by physical fitness than in females, being agility and walking speed the variables showing greater associations. Other variables should be taken into account in females for future research.

1. Background

Worldwide life expectancy has more than doubled since 1900, and most people can expect to live into their 60s and beyond [1]. In Europe, a twofold increase in the proportion of people

aged 65 and older is expected to occur between 2010 and 2050 and the number of people aged 85 years and older is projected to rise from 14 million in 2010 to 40 million by 2050 [1].

Aging results in a progressive and generalized impairment of several bodily functions, an increased vulnerability

to environmental challenges, and a growing risk of disease and death [2]. The aging process entails a decrease of both muscle and bone tissue, which may increase the incidence of osteoporosis and the risk of suffering falls and fractures [3]. However, as Harridge and Lazarus reflected in a recent review [4], it is time to look beyond this aging model. They showed that active seniors showed superior health and well-being, and an optimized aging process [4] when compared with their inactive pairs. These improvements seemed to be associated with their physical fitness levels.

Previous research has studied physical fitness, defined as a set of attributes that are either health- or skill-related [5], linked to bone mass in different populations such as children [6], adolescents [7], adults [8], or people with disabilities [9]. However, most of the studies have analysed bone parameters through dual-energy X-ray absorptiometry (DXA), which evaluates only areal bone mineral density (aBMD). The use of other devices assessing volumetric BMD or bone structural parameters such as peripheral quantitative computed tomography (pQCT), high-resolution pQCT, or magnetic resonance imaging (MRI) is not common in previous studies; therefore, the use of these devices may contribute to a deeper knowledge of the relationship between fitness level and bone health.

In relation to elderly people, some of the most widely studied physical fitness-related variables associated with bone health are aerobic fitness, maximal muscle strength, and balance [10–13]. It is worth noting that other fitness-related variables such as agility and flexibility have been studied to a lesser extent. The large methodological differences between studies make conclusions difficult to establish; thus, the fitness-related variables associated with a greater bone health remain under debate.

Therefore, the aim of this study was to analyse the association between different physical fitness tests and bone variables as measured by pQCT and DXA, in a sample of noninstitutionalized Spanish elderly individuals.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design and Participants. The study was performed in the framework of the elderly EXERNET study (Exernet Elder 3.0), a multicentric study performed between 2008 and 2017 on a representative sample of Spanish seniors from different regions of the country. The inclusion criteria for the EXERNET study were as follows: noninstitutionalized participants over 65 years and not suffering from dementia or cancer, as described elsewhere [14]. For this study, only data from those seniors participating in the study of the city of Zaragoza (Spain) having complete information of the incorporated measurements of both DXA and pQCT were used in the analysis. Consequently, the final sample for the present study consisted of 129 participants (94 females and 35 males).

Personal information was collected through a structured and validated questionnaire (which included two specific questions about daily sitting time and daily sedentary hours) [15], followed by anthropometric, bone, and fitness assessments. Written informed consent was obtained from all the included participants. The study protocol was performed in accordance with the Helsinki Declaration of 1961 (revised

in Fortaleza, 2013) and was approved by the Clinical Research Ethics Committee of Aragón (18/2008) and by the Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50).

2.2. Anthropometric Measurements. A portable stadiometer with 2.10 m maximum capacity and 1 mm error margin (Seca 711, Hamburg, Germany) was used to measure height. A body composition analyser with a 200 kg maximum capacity and a ± 50 g error margin (TANITA BC-418MA, Tanita Corp., Tokyo, Japan) was used to measure the body mass. Individuals removed shoes and heavy clothes before weighing. Body mass index (BMI) was calculated by dividing weight (kg) by squared height (m^2).

2.3. Bone Mass Measurements

2.3.1. Bone Assessment by Peripheral Quantitative Computed Tomography. Peripheral quantitative computed tomography measurements were taken at four sites (4%, 14%, 38%, and 66%) of the tibia length using a Stratec XCT-2000 L pQCT scanner (Stratec Medizintechnik, Pforzheim, Germany). To ensure machine stability, the pQCT device undertook a daily quality control using a phantom (Stratec Medizintechnik, Pforzheim, Germany).

The nondominant tibia was selected for the measurements. Participants were seated in a stationary chair, adjusted to an appropriate height to ensure the leg was appropriately placed in a straight position. The tibia length from the distal end of the medial malleolus to the medial knee joint cleft was measured. A coronal computed radiograph (scout view) was performed to manually locate a reference line on the distal end of the tibia. The measurement sites were located proximal to this reference line by a distance corresponding to 4% (distal tibia) and 38% (diaphyseal tibia), as previously described [16]. For muscle area, the measurement site was at 66% of the tibia length, where the largest calf diameter is typically located. In this study, we considered the following bone parameters: total bone mineral content (Tt.BMC), total bone mineral area (Tt.Ar), total bone mineral density (Tt.BMD) (all of them at 4% and 38% of the tibia), trabecular bone mineral density (Tb.BMD), cortical bone mineral density (Ct.BMD), cortical bone thickness (Ct.Th), and muscle cross sectional area (MCSA) at 66% of the tibia. Bone strength was established with respect to resistance to torsion (polar stress strain index in mm^3 (SSIp)) and bending, as fracture load X (N), with respect to the x -axis, as it has been described in detail elsewhere [17]. Both of them were measured at the 38% of the tibia.

2.3.2. Bone Assessment by Dual-Energy X-Ray Absorptiometry. A DXA scanner (QDR 4500-Explorer, Hologic Corp., Software version 12.4, Bedford, Massachusetts, USA) was used to evaluate aBMD at the lumbar spine (mean L_1 - L_4) and proximal region of the femur (total hip, femoral neck, Ward's triangle, and trochanter). Additionally, whole body and regional lean mass (kg) were also analysed. All DXA scans were completed using the same device and software and performed by the same technician who had been fully trained in the operation of the scanner, the positioning of

subjects, and the analysis of results, according to the manufacturer's instructions.

2.4. Physical Fitness Assessments. Prior to testing, training workshops were organized to harmonize the assessment of physical fitness among researchers. For this report, six tests modified from the "Senior Fitness Test Battery" (tests: 2, 3, 4, 6) [18] and the "Eurofit testing battery for older" (tests: 1, 5) [19] were selected, excluding those involving upper-body limbs. The tests were always performed in the same order to ensure that all participants performed the fitness battery under the same conditions.

- (1) Balance test (Flamingo's test). The maximum standing time (maximum 60 s) on one foot with both hands on the hip was assessed. The test was performed twice with the right and left feet alternatively. The best result obtained among the four attempts was recorded
- (2) Lower body strength (LBS) test (chair stand test). The number of full stands from a seated position that could be completed in 30 s with arms folded across the chest was determined. This test was performed once
- (3) Flexibility of the lower extremities (chair sit-and-reach test). The number of centimetres, between the extended and gathered fingers and the tip of the toe (plus or minus, considering if the participants did or did not surpass the tip of the toe, respectively). The test was performed once with each leg, selecting the best attempt for further analyses
- (4) Agility/dynamic balance (8-foot up-and-go test). Each participant was required to get up from a seated position, walk 2.45 m, and return to a seated position as fast as possible. The test was performed twice and the best result was recorded
- (5) Maximum walking speed (brisk walking test). This test consisted of a 30 m walking sprint performed as fast as possible. The test was performed twice with at least one minute of rest between repetitions. The best result was recorded
- (6) Aerobic capacity (6-minute walk test). The distance that participants could walk in 6 minutes around a circuit of 46 m was recorded. Only one attempt was permitted

2.5. Statistical Analysis. The Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) v. 20.0 for Windows (SPSS, Inc., Chicago, Illinois, USA) was used to analyse the data. All the analyses were performed with the sample divided by sex. Normality of the sampling distribution was assumed as explained by the central limit theorem [20]. To compare descriptive variables between genders, *t*-tests were performed. Mean and SD were reported for all anthropometric, bone, and fitness variables. Partial correlation analysis adjusting by age, height, and subtotal lean (for DXA variables) and age, tibia length, and muscle mass (for pQCT variables) was used to determine associations between fitness and bone variables. Only those

fitness and bone variables showing statistical correlations were included in a stepwise regression analysis in order to determine the predictive values of the fitness variables on bone mass. Variables used to adjust in the correlation analysis were included by the enter method in the regression. All the analyses were repeated adjusting by sitting time and walking hours. Standardized β , change in r^2 , and overall r^2 of the model were reported. Statistical significance was set at level $p < 0.05$ in all tests.

3. Results

The final sample included 129 participants (35 males and 94 females) aged 65 and older (76.2 ± 5.4 y). The anthropometric characteristics, physical fitness, and bone parameters of the whole sample and stratified by sex are displayed in Table 1.

3.1. Associations between Physical Fitness Variables and Bone Structural and Strength Parameters (pQCT)

3.1.1. Males. No associations were found between bone parameters at 4% of the tibia length and physical fitness variables, so they were not presented in the tables.

Regarding 38% of the tibia length, results are presented in Table 2. Tt.BMD was correlated to LBS ($r = 0.411$), agility ($r = -0.503$), and walking speed ($r = -0.414$). Ct.BMD was correlated to walking speed ($r = -0.398$) and Ct.Th to LBS ($r = 0.395$) and agility ($r = -0.503$).

3.1.2. Females. No associations were found between the physical fitness variables and bone tibia variables measured by pQCT for females (all $p > 0.05$).

3.2. Associations between Physical Fitness Variables and Bone Mass Parameters (DXA)

3.2.1. Males. Neck aBMD was correlated with lower body flexibility ($r = -0.396$) and walking speed ($r = -0.393$). Ward's aBMD was positively correlated with walking speed ($r = 0.390$) (all $p < 0.05$; Table 2). Trochanter aBMD, lumbar spine aBMD, and total hip aBMD were not correlated with any fitness variable ($p > 0.05$).

3.2.2. Females. Balance showed a positive correlation with trochanter aBMD and total hip aBMD ($r = 0.253$ and $r = 0.267$, respectively; both $p < 0.05$; Table 3). Neck aBMD, lumbar spine aBMD, and Ward's aBMD did not show correlations with fitness variables ($p > 0.05$).

Bone variables not showing associations were not shown in tables.

No different results were found when analyses were adjusted by sitting and walking hours for pQCT nor for DXA in neither of the sexes.

3.3. Influence of Physical Fitness Variables on Bone Parameters. Predictive values of fitness in bone variables are presented in Table 4.

3.3.1. Males. Regarding 38% of the tibia length, total bone mineral density and cortical thickness were partially explained

TABLE 1: Descriptive variables of the sample.

	Whole sample (<i>n</i> = 129)	Males (<i>n</i> = 35)	Females (<i>n</i> = 94)
Anthropometrics			
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
Age (years)	76.2 ± 5.4	76.2 ± 6.1	76.2 ± 5.1
Height (cm)	156.6 ± 8.6	166.8 ± 5.9	152.4 ± 5.3*
Weight (kg)	68.4 ± 11.7	77.4 ± 10.2	64.7 ± 10.2*
BMI (kg/cm ²)	28.9 ± 5.1	27.9 ± 3.5	29.3 ± 5.6
Fitness variables			
Balance (s)	23.9 ± 5.1	25.3 ± 23.6	23.2 ± 21.4
Lower body strength (reps.)	14.2 ± 3.3	13.7 ± 3.8	14.4 ± 3.0
Lower body flexibility (cm)	-8.2 ± 11.1	-12.0 ± 11.5	-6.6 ± 10.5*
Agility (s)	6.0 ± 1.4	5.8 ± 1.2	6.1 ± 1.4
Gait speed (s)	17.3 ± 3.6	15.8 ± 3.3	17.9 ± 3.6*
Aerobic capacity (m)	504.1 ± 108.7	542.7 ± 97.9	488.8 ± 109.4*
pQCT variables			
Tt.BMC 4% (g)	2.79 ± 0.77	3.84 ± 0.55	2.40 ± 0.37*
Tt.Ar 4% (mm ²)	1118.71 ± 169.64	1325.24 ± 150.71	1069.26 ± 115.46*
Tt.BMD 4% (mg/cm ³)	244.06 ± 47.27	291.05 ± 36.51	226.56 ± 38.04*
Tb.BMD 4% (mg/cm ³)	194.44 ± 39.56	223.39 ± 32.29	183.66 ± 36.61*
Tt.BMC 38% (g)	3.07 ± 0.73	3.82 ± 0.94	2.79 ± 0.36*
Tt.Ar 38% (mm ²)	377.68 ± 71.04	437.56 ± 100.44	355.15 ± 36.91*
Tt.BMD 38% (mg/cm ³)	808.57 ± 98.80	868.84 ± 78.07	786.13 ± 96.59*
Ct.BMD 38% (mg/cm ³)	1134.70 ± 41.39	1153.70 ± 33.84	1127.63 ± 41.87*
Ct.Th 38% (mm)	4.38 ± 0.91	5.18 ± 1.04	4.09 ± 0.64*
Fracture load X 38% (N)	3323.97 ± 956.87	4627.43 ± 746.93	2852.50 ± 454.49*
SSI _p 38% (mm ³)	1471.25 ± 417.23	2032 ± 324.34	1262.36 ± 196.44*
MCSA 66%(mm ²)	5943.72 ± 1136.91	7169.67 ± 969.92	5489.15 ± 814.00*
DXA variables			
Trochanter aBMD (g/cm ²)	0.627 ± 0.122	0.729 ± 0.126	0.583 ± 0.090*
Neck aBMD (g/cm ²)	0.666 ± 0.112	0.744 ± 0.101	0.632 ± 0.090*
Ward's triangle aBMD (g/cm ²)	0.472 ± 0.126	0.516 ± 0.120	0.453 ± 0.124*
Total hip aBMD (g/cm ²)	0.801 ± 0.140	0.918 ± 0.139	0.752 ± 0.108*
Lumbar spine aBMD (g/cm ²)	0.925 ± 0.191	1.070 ± 0.200	0.863 ± 0.149*
Subtotal lean mass (kg)	38.752 ± 8.212	49.022 ± 5.204	34.317 ± 4.408*

SD: standard deviation; reps: repetitions; pQCT: peripheral quantitative computed tomography; DXA: dual-energy X-ray absorptiometry; aBMD: areal bone mineral density; Tt.BMC: total bone mineral content; Tt.Ar: total bone area; Tt.BMD: total bone mineral density; Tb.BMD: trabecular bone mineral density; Ct.BMD: cortical bone mineral density; Ct.Th: cortical thickness; MCSA: muscle area; SSI_p: polar stress strain index. *Statistical significant differences between sexes ($p < 0.05$).

by agility (change in $r^2 = 0.248$ and 0.230 , respectively; both $p < 0.05$, Table 4). Moreover, walking speed predicted cortical bone mineral density (change in $r^2 = 0.195$; $p < 0.05$, Table 4). LBS and lower flexibility were not significant, so they were not included in any model.

3.3.2. *Females*. Balance explained trochanter aBMD (change in $r^2 = 0.042$, $p < 0.05$) and total hip aBMD (change in $r^2 = 0.049$, $p < 0.05$), as it has been shown in Table 4.

No significant different predictive values were found when analyses were adjusted by sitting time and walking hours.

4. Discussion

The main findings of the present study were as follows: agility and walking speed showed the greatest influence with bone mass and structure in males, while balance was associated with areal bone mineral density in females.

TABLE 2: Partial correlation coefficients between bone mass variables and physical fitness in males, for age, tibia length, and muscle area as possible confounders.

	Balance	LB strength	LB flexibility	Agility	Walking speed	Aerobic capacity
pQCT variables						
Tt.BMD 38% (mg/cm ³)	0.047	0.411	0.202	-0.503	-0.414	0.184
Ct.BMD 38% (mg/cm ³)	-0.141	0.295	0.198	-0.346	-0.398	0.003
Ct.Th 38% (mm)	0.081	0.395	0.218	-0.503	-0.175	0.261
DXA variables						
Neck aBMD (g/cm ²)	-0.184	-0.313	-0.396	0.271	0.393	-0.199
Ward's triangle aBMD (g/cm ²)	-0.054	-0.189	-0.312	0.261	0.390	-0.096

LB: lower body; pQCT: peripheral quantitative computed tomography; Tt.BMD: total bone mineral density; Ct.BMD: cortical bone mineral density; Ct.Th: cortical thickness; aBMD: areal bone mineral density. Significant correlations are in bold numbers.

TABLE 3: Partial correlation coefficients between bone mass variables and physical fitness in females, for age, tibia length, and muscle area as possible confounders.

	Balance	LB strength	LB flexibility	Agility	Walking speed	Aerobic capacity
DXA variables						
Trochanter aBMD (g/cm ²)	0.253	0.019	0.152	-0.150	0.167	0.130
Total hip aBMD (g/cm ²)	0.267	-0.053	0.195	-0.053	-0.111	0.074

LB: lower body; pQCT: peripheral quantitative computed tomography; DXA: dual-energy X-ray absorptiometry; aBMD: areal bone mineral density. Significant correlations are in bold numbers.

TABLE 4: Bone mass physical fitness significant predictive values from the stepwise linear regression model for each variable in males and females.

	Balance	LB strength	Agility	Walking speed
Males				
Tt.BMD 38% (mg/cm ³)	Overall (R ²)	—	—	0.364
	Change r ²	—	—	0.248
	Standardized	—	—	-0.621
	Unstandardized	—	—	-47.736
Ct.BMD 38% (mg/cm ³)	Overall (R ²)	—	—	0.37
	Change r ²	—	—	0.195
	Standardized	—	—	-0.557
	Unstandardized	—	—	-6.937
Ct.Th 38% (mm)	Overall (R ²)	—	—	0.418
	Change r ²	—	—	0.230
	Standardized	—	—	-0.598
	Unstandardized	—	—	-0.575
Females				
Trochanter aBMD (g/cm ²)	Overall (R ²)	0.261	—	—
	Change r ²	0.042	—	—
	Standardized	0.247	—	—
	Unstandardized	0.001	—	—
Total hip aBMD (g/cm ²)	Overall (R ²)	0.281	—	—
	Change r ²	0.049	—	—
	Standardized	0.265	—	—
	Unstandardized	0.001	—	—

LB: lower body; Tt.BMD: total bone mineral density; Ct.BMD: cortical bone mineral density; Ct.Th: cortical thickness; aBMD: areal bone mineral density. Stepwise regression model controlling for age, object length, and muscle area (for pQCT variables) and age, height, and subtotal lean (for DXA variables) as possible confounders.

Due to the possible segmentation of the bone that pQCT provides, different researchers have studied the relationship between bone tissues and several factors like muscle mass [21], tibia length, or physical activity, among others [22]. In the present study, bone parameters measured by pQCT have shown to be partially explained by physical fitness in elderly people. Specifically, agility and walking speed were positively associated with bone mineral density and thickness at 38% of the tibia length suggesting that good levels of physical fitness might help to preserve Ct.BMD during aging. These results could be partially explained because cortical bone is more associated with the stiffness of the bone and more influenced by mechanical forces than trabecular bone, which is more metabolically active and could be more influenced by other factors such as hormones [23]. Previous literature shows conflictive results. In our line, Barbour et al. observed a positive association between the time to perform five chair stands and cortical volumetric BMD at 33% of the tibia length [24]. However, further studies found that gait speed was not related to any variable of the tibia as measured by pQCT [21, 24].

Bone variables measured by DXA showed a significant association between femoral neck and Ward's triangle aBMD with agility; however, no significant results were found when applying the linear regressions, which suggest that in males, physical fitness does not influence aBMD variables after accounting for age, height, and lean mass. Results suggest that bone in male elders may have changes in structure not affecting the aBMD [25], which probably occurs due to the physical activities in which they were involved [26]. This fact is of great relevance, due to DXA measurements may mask positive changes on bone parameters in this specific gender, and therefore, it may lead to inappropriate decisions in the exercise programs prescribed for the elderly men.

In females, our data did not present remarkable associations between physical fitness and bone variables measured by pQCT. It is worth considering that most of the published studies examining fitness and bone in elderly population have mainly used DXA, with few studies using pQCT. This limitation makes conclusions derived from previous literature difficult to draw. A previous study using pQCT in females showed that power from the lower limbs predicted a 6.6% of the strength strain index at the tibial mid-shaft [27], not in line with our results but, suggesting that other strength variables such as power should be interesting for the study.

When evaluating aBMD, analyses did reveal a small predictive contribution of balance to trochanter and total hip aBMD after adjusting by age, height, and lean mass. In this line, controversial results have been found in previous literature. While some studies found a positive correlation between balance and femoral neck [28], lumbar and femoral regions [12], and trochanter aBMD [29], other researchers did not find any of these associations neither in females [30] nor in males [29]. A possible explanation for these results could be that, in comparison with males, older females of our study were more involved in organized activities such as yoga, pilates, tai chi, or maintenance gymnastics, where balance-based exercises and unilateral balance training have a greater importance. Thus, a potentially increased neuro-

muscular capability during this type of exercises may explain bone characteristics on the hip region as it was explained by other authors [31].

Flexibility and aerobic capacity did not show associations with bone parameters in our model. A possible reason for this might be that specific physical exercises to improve these variables do not entail high muscle contractions or impacts which could lead to the activation of the osteogenic process. To the best of our knowledge, this study is one of the pioneering studies examining the association between flexibility and bone mass. In relation to the previous research focusing on the relationship between aerobic capacity and bone mass in elderly individuals, unclear conclusions arise from contrasting results. A study with a Portuguese sample of 401 males and 401 females found associations between endurance measured by the 6-minute walk test with hip aBMD in both genders [12], while other studies did not find any associations between aerobic capacity, measured with a treadmill and aBMD at any site [11, 32]; results that are in line with those found in our study.

The results found in this study show that bone mass is less influenced by physical fitness in females than in males, probably because there are different bone remodelling mechanisms between sexes.

The importance of physical fitness in bone mass found in males when bone was measured by pQCT may be masked in elderly females due to the complexity of female-related issues [33]. Some aspects as age of menarche, number of births, or age of menopause may be more important than physical fitness in terms of bone health in this specific population. Our findings suggest the importance of maintaining high levels of agility and walking speed in elderly males, as they may contribute to guarantee an increased bone health at this late stage of life. Probably, other factors should be taken into consideration in future research such as muscle power, physical activity, sedentary behaviours, food supplements, and vitamin intake to improve bone mass in females. Moreover, further research should implement exercise programs to study if fitness-related enhancement might really evoke improvements on bone parameters at these ages.

Some strengths and limitations of this study should be highlighted. The present study has a cross-sectional design, reflecting associations but not revealing causality. Further research including larger sample sizes is required to verify these results in representative populations. Although we controlled for several potential confounders, we cannot be certain that other confounders such as dietary calcium intake, smoking, or genetic variations influenced our observations. However, some strengths like harmonized assessments, well-instructed researchers, and validated physical fitness tests should also be considered. Finally, the inclusion of both pQCT and DXA devices to evaluate bone parameters is another strength of this study.

5. Conclusion

In conclusion, pQCT bone parameters are more influenced by physical fitness in males than females, showing agility and walking the greatest associations. Although DXA is the

gold standard diagnosis method for bone health, pQCT should be taken in consideration for a deeper insight of bone and fitness associations in this population.

Data Availability

No data were used to support this study.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflicts of interest.

Acknowledgments

The authors are grateful to all the collaborators and volunteers whose cooperation and dedication made this study possible. The elderly EXERNET multicenter study has been supported by the Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales-INMERSO (104/07), the University of Zaragoza (UZ 2008-BIO-01), the Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza (UZCUD2016-BIO-01), the Ministerio de Economía, Industria y Competitividad (DEP2016-78309-R), the Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging of the Centro de Investigación Biomédica en Red Fragilidad y Envejecimiento Saludable, and the FEDER funds from the European Union (CB16/10/00477). A. M. has received a PhD grant from the Gobierno de Aragón (2017-2021).

References

- [1] World Health Organization, "World report on ageing and health," 2018, <https://www.who.int/ageing/events/world-report-2015-launch/en/>.
- [2] C. López-Otín, M. A. Blasco, L. Partridge, M. Serrano, and G. Kroemer, "The Hallmarks of Aging," *Cell*, vol. 153, no. 6, pp. 1194–1217, 2013.
- [3] E. S. Siris, R. Adler, J. Bilezikian et al., "The clinical diagnosis of osteoporosis: a position statement from the National Bone Health Alliance Working Group," *Osteoporosis International*, vol. 25, no. 5, pp. 1439–1443, 2014.
- [4] S. D. R. Harridge and N. R. Lazarus, "Physical activity, aging, and physiological function," *Physiology (Bethesda, Md)*, vol. 32, no. 2, pp. 152–161, 2017.
- [5] C. J. Caspersen, K. E. Powell, and G. M. Christenson, "Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research," *Public Health Reports [Internet]*, vol. 100, no. 2, pp. 126–131, 1985.
- [6] A. M. de Moraes, E. M. Gonçalves, V. J. de Oliveira Barbeto, and G. Guerra-Júnior, "Cross-sectional study of the association of body composition and physical fitness with bone status in children and adolescents from 11 to 16 years old," *BMC Pediatrics*, vol. 13, no. 1, p. 117, 2013.
- [7] C. Snow-Harter, M. Bouxsein, B. Lewis, S. Charette, P. Weinstein, and R. Marcus, "Muscle strength as a predictor of bone mineral density in young women," *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 5, no. 6, pp. 589–595, 1990.
- [8] P. Schwarz, N. Jørgensen, B. Nielsen, A. S. Laursen, A. Linneberg, and M. Aadahl, "Muscle strength, power and cardiorespiratory fitness are associated with bone mineral density in men aged 31–60 years," *Scandinavian Journal of Public Health*, vol. 42, no. 8, pp. 773–779, 2014.
- [9] A. Gómez-Cabello, G. Vicente-Rodríguez, I. Navarro-Vera, D. Martínez-Redondo, C. Díez-Sánchez, and J. A. Casajús, "Influences of physical fitness on bone mass in women with fibromyalgia," *Adapted Physical Activity Quarterly*, vol. 32, no. 2, pp. 125–136, 2015.
- [10] L. F. DeFina, D. Leonard, B. L. Willis et al., "High cardiorespiratory fitness is associated with reduced risk of low bone density in postmenopausal women," *Journal of Women's Health*, vol. 25, no. 10, pp. 1073–1080, 2016.
- [11] K. J. Stewart, J. R. Deregis, K. L. Turner et al., "Fitness, fatness and activity as predictors of bone mineral density in older persons," *Journal of Internal Medicine*, vol. 252, no. 5, pp. 381–388, 2002.
- [12] É. R. Gouveia, J. A. Maia, G. P. Beunen, C. J. R. Blimkie, A. L. Rodrigues, and D. L. Freitas, "Functional fitness and bone mineral density in the elderly," *Archives of Osteoporosis*, vol. 7, no. 1–2, pp. 75–85, 2012.
- [13] N. Pocock, J. Eisman, T. Gwinn et al., "Muscle strength, physical fitness, and weight but not age predict femoral neck bone mass," *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 4, no. 3, pp. 441–448, 1989.
- [14] A. Gomez-Cabello, R. Pedrero-Chamizo, P. R. Olivares et al., "Prevalence of overweight and obesity in non-institutionalized people aged 65 or over from Spain: the elderly EXERNET multi-centre study," *Obesity Reviews*, vol. 12, no. 8, pp. 583–592, 2011.
- [15] C. López-Rodríguez, M. Laguna, A. Gómez-Cabello et al., "Validation of the self-report EXERNET questionnaire for measuring physical activity and sedentary behavior in elderly," *Archives of Gerontology and Geriatrics*, vol. 69, pp. 156–161, 2017.
- [16] S. Stagi, L. Cavalli, T. Cavalli, M. de Martino, and M. L. Brandi, "Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) for the assessment of bone strength in most of bone affecting conditions in developmental age: a review," *Italian Journal of Pediatrics*, vol. 42, no. 1, p. 88, 2016.
- [17] A. Gonzalez-Aguero, G. Vicente-Rodríguez, A. Gomez-Cabello, and J. A. Casajús, "Cortical and trabecular bone at the radius and tibia in male and female adolescents with Down syndrome: a peripheral quantitative computed tomography (pQCT) study," *Osteoporosis International*, vol. 24, no. 3, pp. 1035–1044, 2013.
- [18] R. E. Rikli and C. J. Jones, *Senior Fitness Test Manual. Human Kinetics*, Human Kinetics, 2013.
- [19] C. S. de Deportes, "Ministerio de Educación y Ciencia. Eurofit : test europeo de aptitud física," *Madrid*, 1992, <https://sede.educacion.gob.es/publivena/eurofit-test-europeo-de-aptitud-fisica/deporte-y-salud/9425>.
- [20] A. Fiel, *Discovering Statistics Using SPSS*, Sage Publications, 3th edition, 2009.
- [21] M. H. Edwards, C. L. Gregson, H. P. Patel et al., "Muscle size, strength, and physical performance and their associations with bone structure in the Hertfordshire Cohort Study," *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 28, no. 11, pp. 2295–2304, 2013.
- [22] K. Hannam, K. C. Deere, A. Hartley et al., "Habitual levels of higher, but not medium or low, impact physical activity are positively related to lower limb bone strength in older women: findings from a population-based study using accelerometers to classify impact magnitude," *Osteoporosis International*, vol. 28, no. 10, pp. 2813–2822, 2017.

- [23] H. Chen, X. Zhou, H. Fujita, M. Onozuka, and K. Y. Kubo, "Age-related changes in trabecular and cortical bone microstructure," *International Journal of Endocrinology*, L.-Q. Yuan, Ed., vol. 2013, Article ID 213234, 9 pages, 2013.
- [24] K. E. Barbour, J. M. Zmuda, E. S. Strotmeyer et al., "Correlates of trabecular and cortical volumetric bone mineral density of the radius and tibia in older men: the Osteoporotic Fractures in Men study," *Journal of Bone and Mineral Research*, vol. 25, no. 5, pp. 1017–1028, 2010.
- [25] I. Rodríguez-Gómez, A. Mañas, J. Losa-Reyna et al., "Associations between sedentary time, physical activity and bone health among older people using compositional data analysis," *PLOS ONE*, vol. 13, no. 10, pp. e0206013–e0206013, 2018.
- [26] J. M. Hughes, N. Charkoudian, J. N. Barnes, and B. J. Morgan, "Revisiting the debate: does exercise build strong bones in the mature and senescent skeleton?," *Frontiers in Physiology*, vol. 7, no. 7, p. 369, 2016.
- [27] M. C. Ashe, T. Y. L. Liu-Ambrose, D. M. L. Cooper, K. M. Khan, and H. A. McKay, "Muscle power is related to tibial bone strength in older women," *Osteoporosis International*, vol. 19, no. 12, pp. 1725–1732, 2008.
- [28] M. Levesque, M. Ndangang, T. Riaudel, L. de Decker, J. Benichou, and G. Berrut, "Relationship between body composition and bone mineral density, related to physical activity, in elderly women," *Gériatrie et Psychologie Neuropsychiatrie du Vieillessement*, vol. 14, no. 4, pp. 398–405, 2016.
- [29] D. R. Taaffe, E. M. Simonsick, M. Visser et al., "Lower extremity physical performance and hip bone mineral density in elderly black and white men and women: cross-sectional associations in the Health ABC Study," *The Journals of Gerontology Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, vol. 58, no. 10, pp. M934–M942, 2003.
- [30] C. Lindsey, R. A. Brownbill, R. A. Bohannon, and J. Z. Ilich, "Association of physical performance measures with bone mineral density in postmenopausal women," *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, vol. 86, no. 6, pp. 1102–1107, 2005.
- [31] L. Qin, W. Choy, K. Leung et al., "Beneficial effects of regular tai chi exercise on musculoskeletal system," *Journal of Bone and Mineral Metabolism*, vol. 23, no. 2, pp. 186–190, 2005.
- [32] J. Huuskonen, S. B. Väisänen, H. Kröger et al., "Determinants of bone mineral density in middle aged men: a population-based study," *Osteoporosis International*, vol. 11, no. 8, pp. 702–708, 2000.
- [33] F. A. Syed and A. C. Ng, "The pathophysiology of the aging skeleton," *Current Osteoporosis Reports*, vol. 8, no. 4, pp. 235–240, 2010.

5.2. Artículo II



Article

Associations between Daily Movement Distribution, Bone Structure, Falls, and Fractures in Older Adults: A Compositional Data Analysis Study

Ana Moradell ^{1,2,3,4} , Irene Rodríguez-Gómez ^{5,6} , Ángel Iván Fernández-García ^{1,2,3,4} , David Navarrete-Villanueva ^{1,2,3,7}, Jorge Marín-Puyalto ^{1,2,3,4}, Jorge Pérez-Gómez ⁸ , José Gerardo Villa-Vicente ⁹, Marcela González-Gross ^{3,10} , Ignacio Ara ^{5,6} , José Antonio Casajús ^{1,2,3,7,11}, Alba Gómez-Cabello ^{1,2,3,4,11,12} and Germán Vicente-Rodríguez ^{1,2,3,4,11,*}

- ¹ GENU (Growth, Exercise, NUtrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; amoradell@unizar.es (A.M.); angelivanfg@unizar.es (Á.I.F.-G.); dnavarrete@unizar.es (D.N.-V.); jmarinp@unizar.es (J.M.-P.); joseant@unizar.es (J.A.C.); agomez@unizar.es (A.G.-C.)
- ² Agrifood Research and Technology Centre of Aragón, IA2, CITA—Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
- ³ Exercise and Health in Special Population Spanish Research Net (EXERNET), 50009 Zaragoza, Spain; marcela.gonzalez.gross@upm.es
- ⁴ Faculty of Health and Sport Science (FCSD), Department of Physiatry and Nursing, University of Zaragoza, Ronda Misericordia 5, 22001 Huesca, Spain
- ⁵ GENU Toledo Research Group, University of Castilla-La Mancha, 45071 Toledo, Spain; irene.rodriguez@uclm.es (I.R.-G.); ignacio.ara@uclm.es (I.A.)
- ⁶ Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), 28029 Madrid, Spain
- ⁷ Department of Physiatry and Nursing, Faculty of Health, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
- ⁸ HEME (Health, Economy, Motricity and Education) Research Group, Faculty of Sport Science, University of Extremadura, 10003 Cáceres, Spain; jorgepg100@unex.es
- ⁹ VALFIS Research Group, Department of Physical Education and Sport, Institute of Biomedicine (IBIOMED), University of León, 24007 León, Spain; jg.villa@unileon.es
- ¹⁰ ImFINE Research Group, Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences-INEF, Polytechnic University of Madrid, 28040 Madrid, Spain
- ¹¹ Centro de Investigación Biomédica en Red de Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición (CIBEROBn), 28029 Madrid, Spain
- ¹² Centro Universitario de la Defensa, 50090 Zaragoza, Spain
- * Correspondence: gervicen@unizar.es; Tel.: +34-876-55-37-56



Citation: Moradell, A.; Rodríguez-Gómez, I.; Fernández-García, Á.I.; Navarrete-Villanueva, D.; Marín-Puyalto, J.; Pérez-Gómez, J.; Villa-Vicente, J.G.; González-Gross, M.; Ara, I.; Casajús, J.A.; et al. Associations between Daily Movement Distribution, Bone Structure, Falls, and Fractures in Older Adults: A Compositional Data Analysis Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 3757. <https://doi.org/10.3390/ijerph18073757>

Academic Editor: Paul Tchounwou

Received: 12 March 2021

Accepted: 1 April 2021

Published: 3 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: With aging, bone density is reduced, increasing the risk of suffering osteoporosis and fractures. Increasing physical activity (PA) may have preventive effects. However, until now, no studies have considered movement behaviors with compositional data or its association to bone mass and structure measured by peripheral computed tomography (pQCT). Thus, the aim of our study was to investigate these associations and to describe movement behavior distribution in older adults with previous falls and fractures and other related risk parameters, taking into account many nutritional and metabolic confounders. In the current study, 70 participants above 65 years old (51 females) from the city of Zaragoza were evaluated for the EXERNET-Elder 3.0 project. Bone mass and structure were assessed with pQCT, and PA patterns were objectively measured by accelerometry. Prevalence of fear of falling, risk of falling, and history of falls and fractures were asked through the questionnaire. Analyses were performed using a compositional data approach. Whole-movement distribution patterns were associated with cortical thickness. In regard to other movement behaviors, moderate-to-vigorous PA (MVPA) showed positive association with cortical thickness and total true bone mineral density (BMD) at 38% (all $p < 0.05$). In addition, less light PA (LPA) and MVPA were observed in those participants with previous fractures and fear of falling, whereas those at risk of falling and those with previous falls showed higher levels of PA. Our results showed positive associations between higher levels of MVPA and volumetric bone. The different movement patterns observed in the groups with a history of having suffered falls or fractures and other risk outcomes

suggest that different exercise interventions should be designed in these populations in order to improve bone and prevent the risk of osteoporosis and subsequent fractures.

Keywords: bone mineral density; elderly; moderate-to-vigorous physical activity; sedentary time

1. Introduction

The beneficial effects of physical activity (PA) are well known across the human lifespan [1]. PA prevents multiple noncommunicable diseases, and it is positively associated with mental health, quality of life, and well-being during elderhood [2]. Moreover, PA also improves body composition as it maximizes bone peak mass during the first three decades of life and minimizes the age-related loss of bone mass and density, reducing the risk of osteoporosis and its subsequent fractures, which have commonly led to dependence and an increased risk of frailty [3,4]. PA may also increase muscle mass, as well as physical function, leading to a reduction on the risk of falls [5], which is strongly related with the abovementioned bone fractures.

In contrast, having a sedentary lifestyle with an excess of sitting time has negative consequences for health, reversing even those PA benefits mentioned above [6,7]. Although some authors have reported associations between poor bone health and sedentarism in early stages of life [8,9], literature about what happens in older adults is still scarce and, therefore, more evidence is needed. Strategies focused on reducing sedentary behaviors (SB) and increasing PA have been common in order to reverse the fear of falling, decrease fall rates, and reduce the number of bone fractures [10–13]. However, movement behavior patterns should be studied as a whole in order to understand differences between older adults who have a fear of falling and those who do not, fallers and non-fallers, and those who are at risk of falling or not, which would make it possible to design specific interventions in order to prevent future fractures. In addition to muscle mass, which may be associated with healthier bone properties [14,15], other behavioral or biological variables such as nutritional ones (calcium or alcohol intake) and serum vitamin D levels have been associated with bone improvement alone or combined with PA or exercise [16].

A 24-hour period is finite, and more time spent in one behavior necessarily decreases the time spent in another behavior. New tendencies about the study of movement behaviors consider them as a whole [17]. Compositional data analyses (CoDA) deals with the fundamental nature of movement behavior data, which are intrinsically compositional [18,19], making it possible to eliminate collinearity problems and deal with the codependence between time spent in different movement behaviors [18,19].

In this context, Rodríguez-Gómez et al. were the first authors to establish the relationships of the distributed PA behaviors with bone variables measured by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) in older individuals in several studies [20–23]. However, the use of other devices assessing volumetric true bone mineral density (BMD) or bone structural parameters such as peripheral Quantitative Computed Tomography (pQCT) has not been applied. Although DXA has lower dose of radiation, it estimates areal BMD, and these bidimensional measurements could overestimate BMD in larger bone. Thus, a volumetric evaluation, as well as the assessment of other variables related to bone structure, architecture, and strength provided by pQCT may contribute to a deeper knowledge of the relationship between distribution of movement behaviors and bone health. pQCT allows for the analysis of peripheral body segments, namely the tibia and radius. However, in older and frail people, the measurement of the tibia is less difficult and the quality of the measurements is superior. Furthermore, although the tibial bone may not be as related to osteoporosis as other parts of the skeleton, it may be more influenced by PA-induced muscle forces.

To the best of our knowledge, no other studies have investigated the relationship between movement behavior distribution and bone mass and structure evaluated by pQCT

in older individuals. The main aims of this study were: (1) To identify how the movement behaviors profile is associated with bone mass and structure in older adults, and (2) to investigate the relationship between movement behaviors and previous falls and fractures, the fear of falling, and the risk of suffering falls.

2. Materials and Methods

2.1. Sample and Study Design

This was a cross-sectional study carried out with data from the initial sample of the EXERNET-Elder 3.0 project (2018). Briefly, this study aimed to improve physical function of frail and pre-frail older adults by a multicomponent exercise program. Initially, 123 participants were recruited from 4 health care centers and 3 nursing homes from the city of Zaragoza (Spain). Health care professionals from each center selected potential participants and derived them to the research team. Once the participants arrived, researchers confirmed that they met the inclusion criteria: Above 65 y, no diagnosis of cancer or dementia, and a score below 4 in the Short Physical Performance Battery [24]. For this report, only those who completed pQCT assessments and accelerometry records were included in the analyses.

A structured questionnaire was used to collect personal information and other health outcomes from individuals. Afterward, researchers performed body composition analysis (including pQCT) and other measurements to collect bone possible confounders, such as physical fitness measurements and a fasting blood sample test. The whole methodology has been previously described in detail elsewhere [25].

2.2. Ethics Statement

Oral and written information about the aims, possible benefits, and risks derived from participation in this study were given to participant. Participants needed to complete the written informed consent to be included in the study.

Study protocol was approved by the Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50) and registered in clinicaltrials.gov (reference number: NCT03831841).

All the study was according to the Helsinki Declaration of 1961 revised in Fortaleza (2013) [26] and the current legislation of human clinical research of Spain (Law 14/2007).

2.3. Peripheral Quantitative Computed Tomography (pQCT)

pQCT measurements were performed using a Stratec XCT-2000 L pQCT scanner (Stratec Medizintechnik, Pforzheim, Germany). A quality control was undertaken to ensure the measurements were correct.

The nondominant tibia was selected for the measurements. The reference line on the distal end of the tibia was chosen manually by trained researchers. The measurement sites were located by a distance corresponding to 4% (distal tibia), 38% (diaphyseal tibia), and 66% (largest calf perimeter) of the tibia length as previously described [27]. Bone parameters considered were total bone mineral content (Tt.BMC), total bone area (Tt.Ar), total true BMD (Tt.BMD) (all of them at 4% and 38% of the tibia), trabecular BMD at 4% of the tibia (Tb.BMD), cortical BMD (Ct.BMD), cortical bone thickness (Ct.Th) at 38% of the tibia length, and muscle area at 66%. Bone strength was established with respect to resistance to torsion (polar stress strain index in mm^3 (SSIp)), bending (measured at 38%), and fracture load X (N) (measured at 66%), with respect to the X-axis, as described elsewhere [28].

A quality control of the pQCT measurements was performed by the same trained researcher each time (A.M.). The images obtained were evaluated, classifying them in a gradual scale from 1 to 5 points: 1 for those “perfect” without any movement, and 5 for those “impossible to use” with too much movement during the scan test, following the indications of Blew et al. [29]. Images scored from 4 to 5 were excluded as they were not considered valid to use [29].

2.4. Fear and Risk of Falling, Falls, and Fractures

Questions about fear of falling, falls suffered during last year, and their consequences were designed ad-hoc and added to the general questionnaire. Number of fractures during the last 10 years was also asked. The risk of falls was assessed through a scale from The Vivifrail instrument [30], which included time-up and go test [31], the walking speed test in 6 m [32], and the following two questions: (1) Have you been medically diagnosed of cognitive decline? and (2) have you had 2 or more falls during the last year? (or 1 with medical assistance). Demonstrating poor physical performance or answering one of those questions with “yes” answer led the participant to be in the “at-risk group.”

2.5. Physical Activity and Sedentary Behaviors

PA was monitored with wrist-worn triaxial accelerometers (GENEActiv, Activinsights Ltd., Cambridge, UK) that collected data for 1 week at a frequency of 10 Hz, which is sufficient to classify daily activities, according to Zhang et al. [33]. Elders wore the device on the nondominant wrist for 7 consecutive days, including 2 weekend days. The accelerometer is waterproof, so participants did not have to remove it for anything. Only participants with at least 4 valid days including at least 480 min (8 h/day) of wearing could be included. Non-wear time detection was evaluated in blocks of 30 consecutive minutes following the methods described by van Hees et al. [34]. Triaxial data was condensed in 1 vector, calculating the Euclidean norm minus 1 to isolate human movement from gravitational acceleration [34], and aggregated into 60 s epochs. Each epoch was classified as either SB, LPA, or MVPA time, according to previously defined cut-off points [35] which are specific for this population and accelerometer location and that have been designed to optimize both sensitivity and specificity of classification [36]. In order to differentiate sleep time (ST) from inactivity periods during the day, a sleep period time window was detected [37].

2.6. Body Composition Measurements and Anthropometrics

A portable stadiometer (SECA, Hamburg, Germany) was used to measure height while a portable bioelectrical impedance analyzer (TANITA BC 418-MA Tanita Corp., Tokyo, Japan) was used to assess the body weight (kg) and to estimate the whole-body total fat mass, the percentage of body fat, and the fat-free mass. Body mass index was calculated ($BMI = \text{weight}/\text{height}^2; \text{kg}/\text{m}^2$).

2.7. Dietary Intake

A valid semiquantitative food frequency questionnaire [38,39] was used to assess the dietary intake. Daily intake was calculated by multiplying the portion size by the frequency of consumption (9 options ranging from never/almost never to 6 or more times per day). Spanish food composition tables and other sources of information were used to estimate nutrient intake [40,41]. Information collected was relative to the last year. The variables considered in this study were calcium and alcohol due to their relationship with bone and because they were also included in similar studies [20].

2.8. Blood Samples and Serum 25(OH)D

Fasting blood samples collected by venipuncture (4 mL). The “VITROS 25-OH Vitamin D Total” package was used to obtain 25OH-D concentrations. This package includes VITROS 25-OH Vitamin D Total Reagent Pack, VITROS 25-OH Vitamin D Total Calibrators, and the VITROS ECi/ECiQ immunodiagnostic system, VITROS 3600.

2.9. Statistical Analyses

Analyses followed guidelines about compositional data analysis for PA, SB, and sleep research published by Chastin et al. [18]. The R statistical system, version 4.0.2 (Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria; <https://www.r-project.org/>, accessed on 3 April 2021) was used to perform all the analyses. Men and women were treated as a whole

sample in order to have bigger groups and increase the statistical power. As sex showed interaction with all bone variables, it was introduced in all models as a covariate.

First, standard descriptive statistics were performed, indicating results according to the nature of the variables: Continuous (mean \pm standard deviation) and categorical (frequency). For compositional data, descriptive characteristics were calculated, including compositional geometric means for central tendency and variation matrices for dispersion. Four ternary plots, each rotating different 3 behaviors, were generated to show the distribution of the sample composition. The overlapped heat map allowed us to distinguish the areas of highest (more intense color) and lowest (less intense color) data concentration and interval confidences. The dispersion structure is represented by normal-based probability regions around the compositional center. This methodology has previously been described by other authors [18,42].

To determine the relationship between movement behaviors and health-related variables of bone mass and structure measured by pQCT, the CoDA was performed. For these analyses, isometric log-ratio data transformation was conducted to adequately adjust the models for time spent in the other behaviors. The combined effects of the relative distribution of all movement behaviors with each outcome were determined by γ and p -values, with statistical significance set at $p < 0.05$. The positive or negative associations between each movement behavior and each outcome depending on the time spent in the other movement behaviors were also determined by γ and p -values. For those significant variables, further information was described in the text, including the R^2 value for the whole-movement distribution, and the Standard Error (SE) and t -value for individual movements behavior relative to the others. The regression models were adjusted for covariates (sex, age, tibia length, muscle area, smoking, alcohol, calcium intake, and serum vitamin D status) by backward elimination (predictor retained set in $p < 0.2$).

Finally, compositional geometric mean bar plots about absolute proportions of time illustrated the relative movement behavior profiles for fall and fracture indicators (fear of falling, risk of falling, presence of falls in the last year, and presence of fractures during last 10 years).

3. Results

3.1. Descriptive Characteristics of the Sample

Table 1 shows descriptive characteristic of the sample. From the 103 initial participants, 70 were finally included in this manuscript: 19 men (27%) and 51 women (73%). From the sample included in the present study, 17 individuals were institutionalized. This sample loss was due to the exclusion of participants with poor pQCT image quality or insufficiency accelerometry data.

Table 1. Descriptive variables.

Variables	Whole Sample (N = 70)
Age (years)	80.4 \pm 6.4
<i>Body composition</i>	
BMI (kg/m ²)	28.9 \pm 4.8
Body Fat %	37.8 \pm 6.7
Tibial Muscle Area	5491.9 \pm 1090.6
<i>Bone health-related confounders</i>	
Smoking	3(3.8)
Alcohol (g)	4.3 \pm 7.5

Table 1. *Cont.*

Variables	Whole Sample (N = 70)
Serum Vitamin D (ng/dL)	28.5 ± 16.9
Calcium (mg/day)	1123.7 ± 398.5
<i>Fall-related variables</i>	
Fear of falling	51(64.6)
Risk of fall	28(35.4)
Falls	32(40.5)
Fractures	54(68.4)
<i>Bone variables</i>	
Tt.BMC 4%	2.6 ± 0.7
Tt.BMD 4%	229.4 ± 48.0
Tt.Area 4%	1405.9 ± 199.6
Tb.BMD 4%	203.8 ± 41.6
Tt.BMC 38%	4.1 ± 0.3
Tt.BMD 38%	781.3 ± 109.1
Tt.Area 38%	387.8 ± 59.7
Ct.Th 38%	4.3 ± 0.8
Crt.BMD 38%	122.3 ± 50.5
SSIp	1406.2 ± 339.4
Fracture Load	5133.4 ± 1432.9

Number of participants of the sample (N) and % per group for categorical variables, mean and standard deviation (SD) for continuous variables. BMI: Body Mass Index; Fear of falling: People with fear of falling; Risk of fall: People who have risk of having a future fall; Falls: People who had suffered any fall in the last year; Fractures: People who had suffered any fracture in the last 10 years; Tt.BMC: Total bone mineral content; Tt.BMD: Total bone mineral density; Tb.BMD: Trabecular bone mineral density; Tt.Ar: Total bone mineral area; Ct.BMD: Cortical bone mineral density; Ct.Th: Cortical bone thickness; SSIp: Polar stress strain index.

3.2. Composition of the Day and Movement Behavior Characteristics

The geometric means of the minutes/day and the % of time spent in ST, SB, LPA, and MVPA for the sample are presented in Table 2.

Table 2. Geometric means for SB, LPA, and MVPA in minutes/day and percentage of total wearing hours.

Behaviors	Minutes/Day	% Wearing Hours
ST	507.4	35.2%
SB	827.6	57.5%
LPA	82.3	5.7%
MVPA	22.7	1.5%

ST: Sleep time, SB: Sedentary behavior; LPA: Light physical activity; MVPA: Moderate-to-vigorous physical activity.

On average, this sample of older people spent 141.0 min/day in non-sedentary activities. The variability of the data is summarized in the variation matrix containing all pair-wise log-ratio variances, which is presented in Table 3.

Table 3. Pair-wise log-ratio matrix for ST, SB, LPA, and MVPA.

Behaviors	ST	SB	LPA	MVPA
ST	0.000	0.098	0.331	0.930
SB	0.098	0.000	0.355	0.977
LPA	0.331	0.355	0.000	0.286
MVPA	0.930	0.977	0.286	0.000

SB: Sedentary behavior; LPA: Light physical activity; MVPA: Moderate-to-vigorous physical activity.

As it can be observed in Figure 1, the highest codependences were ST with SB, followed by LPA with MVPA. On the other hand, the lowest codependences were between SB and MVPA, followed by ST and MVPA. The distribution of the sample composition is illustrated in Figure 1 by means of a matrix of ternary plots with three behaviors represented at the same time. Ternary plots can be understood as the scatterplots of compositions [43]. The plot reflects the fact that the highest variability was found in the direction of SB.

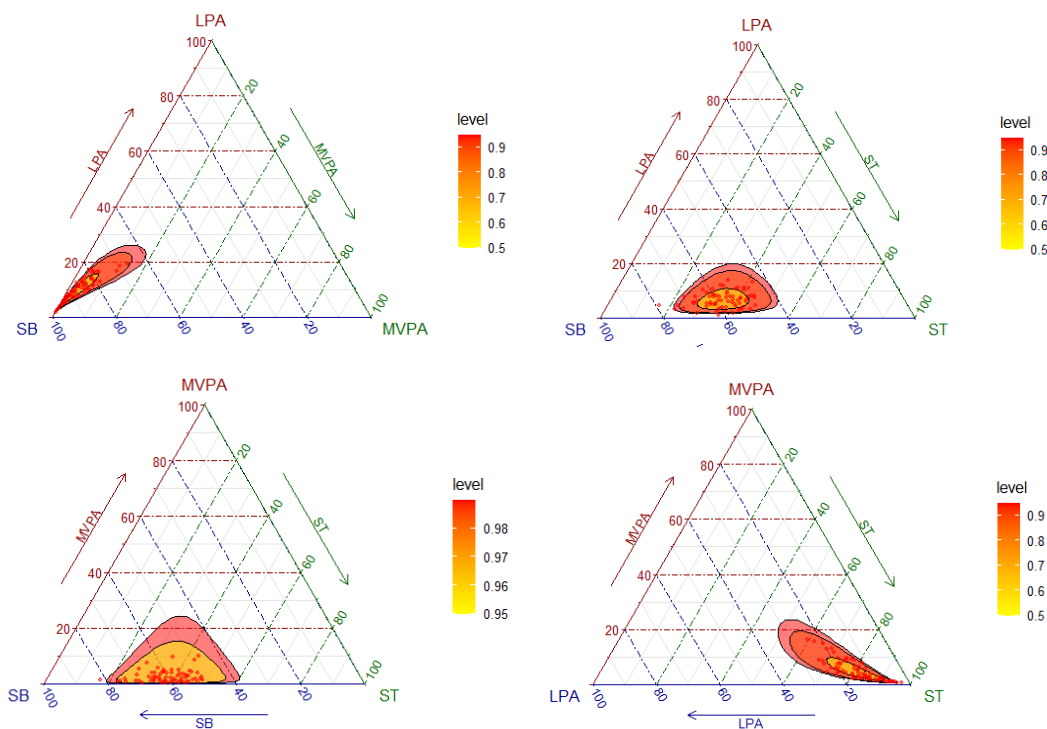


Figure 1. Ternary plots of the sample compositions of time spent in sleep time (ST), sedentary behavior (SB), light physical activity (LPA), and moderate-to-vigorous physical activity (MVPA).

3.3. Bone Mass and Structure and Movement Behaviors Analysed by Compositional Data

The CoDA models, which show the combined effect of the movement behaviors on each bone variable, are reported in Table 4. The relative distribution of time among the four behaviors as a whole was statistically significantly associated with Ct.Th ($R^2 = 0.253$) ($p < 0.05$). MVPA, relative to the time spent in the other movement behaviors, was positively associated with Ct.Th [$\gamma_{ST} = -0.533$ (SE, 0.374 and t -value = 0.163), $\gamma_{SB} = 0.446$ (SE = 0.377 and t -value = 1.182), $\gamma_{LPA} = -0.502$ (SE = 0.375 and t -value = -1.336) and $\gamma_{MVPA} = 0.590$ (SE = 0.201 and t -value = 2.092) (for γ_{MVPA} $p < 0.05$)] and Tt.BMC at 38% [$\gamma_{ST} = -0.288$ (SE = 0.187 and t -value = -1.535), $\gamma_{SB} = 0.383$ (SE = 0.191 and t -value = 2.002), $\gamma_{LPA} = -0.313$ (SE = 0.203 and t -value = -1.538), and MVPA = 0.218 (SE = 0.103 and t -value = -1.538) (for γ_{MVPA} $p < 0.05$)].

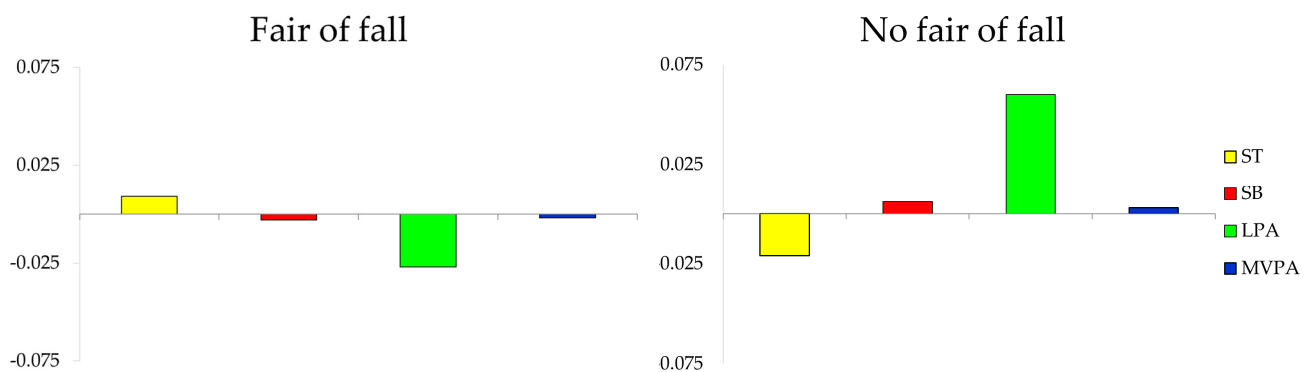
Table 4. Compositional behavior model for bone mass variables for the proportion of time per day spent in ST, SB, LPA, and MVPA.

Bone Variables.	Model <i>p</i> -Value	γ ST	<i>p</i> -Value	γ SB	<i>p</i> -Value	γ LPA	<i>p</i> -Value	γ MVPA	<i>p</i> -Value
Tt.BMC 4%	0.099	−0.417	0.111	0.399	0.134	−0.257	0.332	0.272	0.069
Tt.BMD 4%	0.689	−8.698	0.727	9.813	0.553	−16.114	0.387	14.998	0.300
Tt.Area 4%	0.099	−0.414	0.110	0.399	0.134	0.257	0.332	0.272	0.069
Tb.BMD 4%	0.689	−8.698	0.727	9.813	0.703	−16.114	0.553	14.998	0.300
Tt.BMC 38%	0.105	−0.288	0.133	0.383	0.052	−0.313	0.132	0.218	0.041
Tt.BMD 38%	0.883	0.012	0.965	−0.146	0.585	0.195	0.488	−0.061	0.675
Tt.Area 38%	0.264	21.487	0.297	−12.774	0.530	6.254	0.770	−14.967	0.180
Crt.BMD 38%	0.773	9.937	0.785	8.932	0.793	−36.899	0.328	18.029	0.332
Ct.Th	0.012	−0.533	0.163	0.446	0.245	−0.502	0.190	0.590	0.005
SSI _p	0.477	−150.65	0.120	121.51	0.202	24.466	0.801	4.677	0.926
Fracture Load X	0.700	−371.13	0.420	176.36	0.702	70.65	0.886	124.12	0.627

All models are adjusted for sex, age, object length, muscle area, alcohol intake, smoking, serum vitamin D, and calcium by backward elimination (with predictor retained if $p < 0.2$). Statistically significant associations ($p < 0.05$) are highlighted in bold. ST: Sleep time, SB: Sedentary behavior; LPA: Light physical activity; MVPA: Moderate-to-vigorous physical activity; Tt.BMC: Total bone mineral content; Tt.BMD: Total bone mineral density; Tb.BMD: Trabecular bone mineral density; Tt.Ar: Total bone mineral area; Ct.BMD: Cortical bone mineral density; Ct.Th: Cortical bone thickness; SSI_p: Polar stress strain index.

3.4. Composition of the Day by Groups of Fall and Fracture-Related Variables

The composition of the day for each group is presented as compositional mean bar plots. The sample, grouped by having or not having a fear of falling, history of falls, and risk of falls or fractures, is presented in Figure 2 (Figure 2a, Figure 2b, Figure 2c, and Figure 2d, respectively). Older adults who had no fear of falling showed more relative amount of LPA, MVPA, and SB and spent less time in ST compared to the whole sample, while those who reported a fear of falling presented the opposite behavior (Figure 2a).



(a)

Figure 2. Cont.

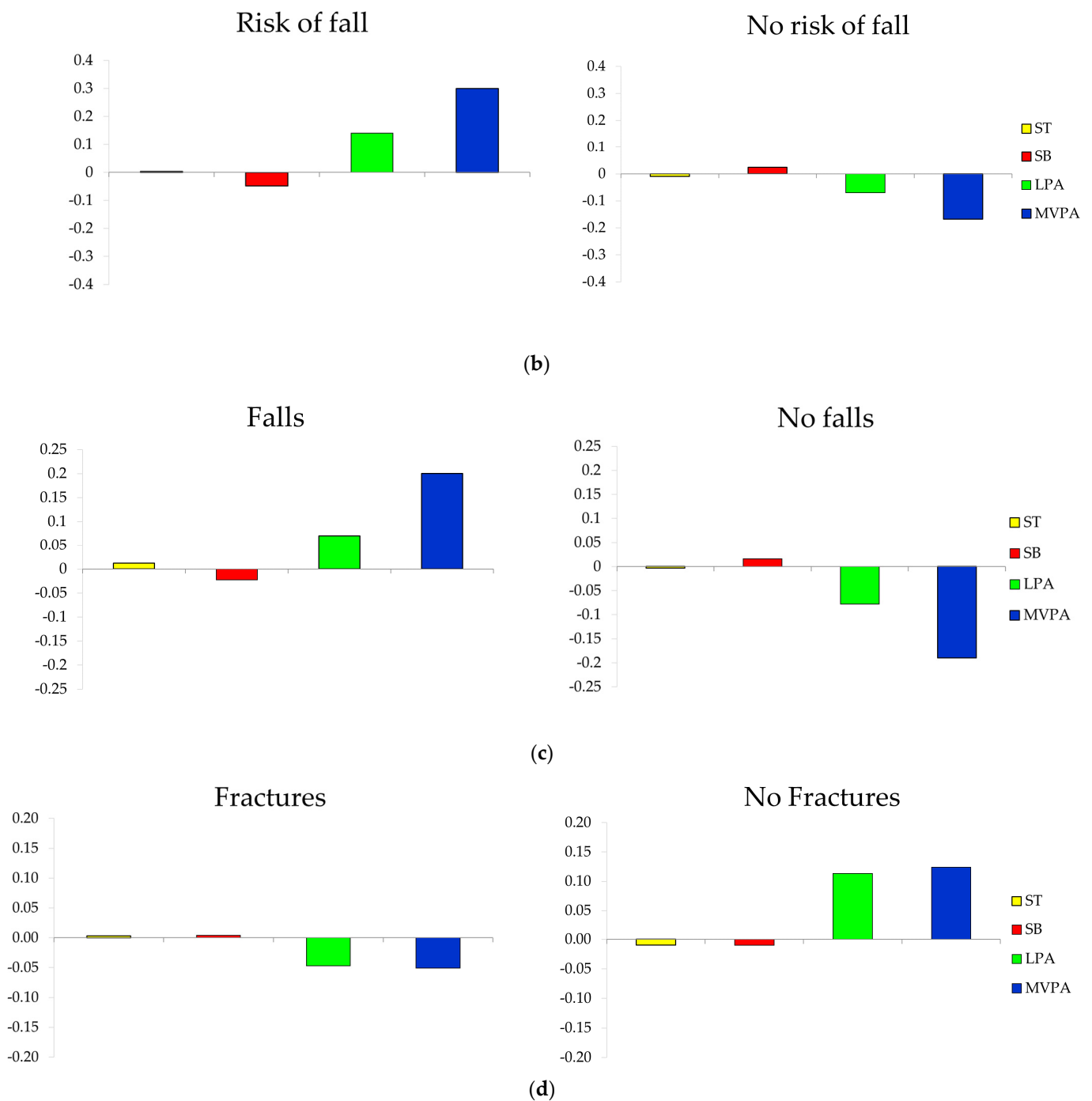


Figure 2. Compositional analysis of the relative importance of the group mean time spent in ST (sleep time), SB (sedentary Behaviors), LPA (light physical activity), and MVPA (moderate-to-vigorous physical activity) with respect to the overall mean time composition of (a) those who had and did not have a fear of falling, (b) those who had and had not suffered falls in the last year, (c) those who were and were not at risk of falling, and (d) those who had or had not suffered fractures in last 10 years.

4. Discussion

Some interesting novel findings emerge from this study: (1) Cortical thickness of the tibia length is associated with whole compositional movement distribution in which MVPA, relative to the other movement distribution, showed positive influence; (2) Tt.BMC at 38% of the tibial is positively associated with MVPA relative to the other movement distribution behaviors; (3) fear of falling and previous fractures seem to be associated with

reduce levels of LPA and MVPA; and (4) risk of fall and previous falls are related with more PA movement distribution compared with the whole sample.

To the best of our knowledge, this study is the first to use compositional analysis to examine the association between relative distribution of time spent in ST, SB, LPA, and MVPA with bone mass and structure in older adults, measured by pQCT, a more in-depth analysis of bone health status and risk of fracture. This statistical method has been pointed out to be better than a traditional approach in order to understand movement behaviors distribution throughout the day [42]. Moreover, we also included the use of pQCT, which is able to evaluate not only bone mass but also volumetric BMD and bone structural parameters, which may contribute to a deeper understanding of the relationship between movement distributions throughout a day and bone health.

Previous to our research, Rodríguez-Gómez et al. developed a similar study using CoDA and measuring bone by DXA in a sample of Spanish older adults [20], where they described some positive associations between MVPA and pelvic, femur, and trochanter BMD in the whole sample [20]. In this line, prospective results presented by these same authors also reveal a similar positive effect in bone with increases in MVPA [21,22]. Similarly, other authors using traditional statistics and analyzing bone with DXA [44] and pQCT [45,46] have found comparable results regarding MVPA. For example, Füzéki et al. reported positive associations between MVPA and periosteal circumferences of the tibia in a large sample of older women. However, they did not find any association between PA and bone-related variables measured by DXA [46]. Johansson et al. also found positive associations between time spent in MVPA and both cortical area and trabecular BMD in a large sample of 70-year-old men and women [45]. According to all the latter results, older adults may benefit from MVPA even when they spend only little time in this activity intensity. This positive association observed between cortical bone and MVPA implies that the mechanical properties of the bone would be beneficial [47]. Preventing cortical bone loss would lead to delayed bone fragility and protect against fractures and trabecular damage. Thus, MVPA seems to be of high importance in this population in order to improve bone health and prevent osteoporosis-related problems. Nonetheless, the inconclusive results about the influence of LPA and bone variables were presented in a previous systematic review carried out in adults and older adults [48] and, similarly to the unclear associations in our study and the results of our colleagues [20], suggested that LPA could not be enough to improve bone in older adults. Though PA is considered an essential stimulus for bone osteogenesis and its protective action might reduce the effects of bone resorption, it seems necessary to recommend MVPA as it seems to produce higher stimulus than LPA [49]. Hence, our results are not in concordance with the advice that “just being on your feet” is good for health [50] regarding the case of bone. In this case, intensity is a key point to obtain the desired benefits. However, we have to be cautious because even if it does not have a direct effect on the bone parameters, LPA seems the best strategy to limit or displace sedentary time.

In fact, older adults spent too much time sitting, laying, or sleeping, as shown in our results. SB not only negatively affected bone health in other studies [43], but was also related to cardiovascular diseases [51] and frailty [52] independently of the amount of PA, and SB also represents an important risk factor for mortality [53]. However, in our study, SB did not seem to be associated with bone health. This could be partially explained because of the huge amount of time spent in this behavior as other authors has explained [20]. Another possible reason could be that we considered the ratio between SB among the other movement behaviors rather than purely SB time, and we also found a low codependence between MVPA and SB. In this line, the results may change if we consider nonosteogenic activities such as SB and ST together, as the latter showed a negative relationship with bone health in the regression analysis.

Nevertheless, due to the individual effects of PA and SB on overall health, the new PA guidelines recently published by the World Health Organization include, for the first time, the reduction of SB with the aim of improving health in this population [50]. Thus,

our study leads to recommend on the line of limiting sedentary time and increasing PA, regardless of the intensity, although MVPA is preferred in relation to bone health. In addition, possible future research lines may focus on the effects of sedentary breaks [54] on bone health, as it is a new approach which may attenuate rest time deleterious effects [55]. Additionally, to analyze not only ST as in the present study and as other authors have done [56,57], but also the quality of this time, seems to be necessary.

Increases of PA levels and high impact exercise have been promoted to reduce the risk of falls, fear of falling, and number of falls and fractures [58]. In relation to the fear of falling, its etiology is still unknown. Although fear of falling usually happens in older adults with previous falls and bone fractures, previous studies have also reported a high prevalence of fear in non-fallers [59,60]. Fear of falling has been previously associated with reduced PA levels [13], as it was the case with our sample. A reduction in PA could negatively impact bone as we have observed and, therefore, predispose individuals to a higher risk of fractures if a fall happens. Moreover, our results also showed reduced levels of PA in those with previous fractures, which may lead to an endless loop, which needs to be stopped by implementing strategies to increase PA. In contrast, those who have suffered a fall in the last year and those at risk of falling showed higher levels of PA, results that are in line with previous studies [12]. Taking into account that the risk of falling depends on having previously suffered a fall, a possible explanation of these results may be that the probability of suffering a fall increases with more time in movement, as a fall does not only depend on the intrinsic capacity of the people but also on external elements such as modifiable environmental factors [61]. In order to avoid possible fractures derived from PA, efforts should focus on safe practice, in which expert-supervised exercise programs seem to be one of the best options in this population group. Concretely, the implementation of multitask and strength exercise has been demonstrated to be effective in the reduction of falls and fractures [62–64].

Therefore, our results regarding the distribution of time in movement behaviors showed that those who had suffered a fracture and those with fear of falling need to be the target population in order to increase PA and exercise policies. This beneficial effect of PA in bone health would lead to the prevention of osteoporosis and related fractures both by demising the risk of fall and the possible fractures if falls happen, which represents a major public health problem among older people because it leads to mortality and loss of independence. Hence, taking into account our results, exercise interventions and PA individual recommendations should be designed differently for both of these groups than for those with previous falls or those at risk of falling, as they do not have the same movement behavior patterns. Exercise programs including balance, strength, and specific exercises simulating daily activities would have an extra benefit in all these groups, specially reducing fear of falling [65]. If the fear of falling is reduced, it is likely that PA would be increased and, consequently, some benefits on bone mass may be achieved, as we have shown in our results. Meanwhile, if those fallers and those at risk of falling are encouraged to perform this type of activities, they would decrease probability of suffering a fall and having a subsequent fall, which seems to be likely as they showed patterns with more PA.

Some strengths and limitations of this study should be highlighted. The present study has a cross-sectional design, reflecting associations but not revealing causality. Further research, including larger sample sizes, is required to verify these results in representative populations, and also to allow separate consideration of age and sex groups, which may be influenced differently. Although accelerometry is an objective and validated method, it may not detect differences between sitting and standing positions and may overestimate sedentary time. However, some strengths such as harmonized assessments, well-instructed researchers, objectively measured movement behaviors, volumetric bone measurements, and inclusion of high-quality bone images should also be considered, as well as the novel and comprehensive statistical approach and the inclusion of objectively measured ST. Finally, many of the variables that could have an impact on bone mass were included in

the analysis as covariates to ensure that our results were not influenced by these factors (sex, age, tibia length, muscle, calcium, vitamin D, alcohol, and smoking).

5. Conclusions

In conclusion, our study showed that cortical thickness is associated to whole movement distribution behavior. Specifically, total true BMD at 38% of the tibia and the cortical thickness are positively influenced by MVPA. Moreover, similar movement distributions were found in those with previous fractures and those with fear of falling. Both groups showed less PA (both LPA and MVPA). In contrast, those who were at risk of falling or with previous falls during the last year showed more active distributions. These results allow us to recommend MVPA for direct positive effect on bone to improve bone structure and to prevent osteoporosis or future fractures. We also recommend general and light PA to replace sedentary time, which is negatively associated with bone tissue and many other health risks.

Author Contributions: Conceptualization, A.M., J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R.; Data curation, A.M. and J.M.-P.; Formal analysis, A.M., I.R.-G. and J.M.-P.; Funding acquisition, I.A., J.A.C. and G.V.-R.; Investigation, A.M., I.R.-G., Á.I.F.-G., D.N.-V. and A.G.-C.; Methodology, A.M., A.G.-C. and G.V.-R.; Project administration, J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R.; Resources, Á.I.F.-G., D.N.-V. and A.G.-C.; Supervision, J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R.; Validation, I.R.-G., J.P.-G., I.A., J.G.V.-V., M.G.-G. and I.A.; Visualization, I.R.-G., J.P.-G., I.A., J.G.V.-V., M.G.-G. and I.A.; Writing—original draft, A.M.; Writing—review & editing, I.R.-G., J.P.-G., Á.I.F.-G., D.N.-V., J.M.-P., I.A., J.G.V.-V., M.G.-G., I.A., J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was funded by “Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza” (UZCUD2017-BIO-01), “Ministerio de Economía, Industria y Competitividad” (DEP2016-78309-R), Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES) and FEDER funds from the European Union (CB16/10/00477). All the authors are members of EXERNET (<https://redexernet.com/> accessed on 3 April 2021) which supported this research and was funded by the Ministerio de Educación y Ciencia (Red EXERNET DEP2005-00046) and the High Council of Sports (Consejo Superior de Deportes) of the Ministerio de Cultura y Deportes (09/UPB/19 and 45/UPB/20).

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki and approved by the Ethics Committee from Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data are not publicly available due to privacy.

Acknowledgments: The authors are grateful to all the collaborators, nursing homes, health centers, social services of the city council and participants whose cooperation and dedication made this study possible. Ana Moradell received a PhD grant from “Gobierno de Aragón” (2016–2021). David Navarrete-Villanueva received a grant from “Gobierno de Aragón” (DGAIU/1/20). Angel Fernández -García received a grant from the Spanish Government (BES-2017-081402). Irene Rodríguez-Gómez received a postdoctoral contract from the Government of Castilla-La Mancha (2019/9601).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. World Health Organization. *Global Action Plan on Physical Activity 2018–2030: More Active People for a Healthier World*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2019; ISBN 9241514183.
2. Lear, S.A.; Hu, W.; Rangarajan, S.; Gasevic, D.; Leong, D.; Iqbal, R.; Casanova, A.; Swaminathan, S.; Anjana, R.M.; Kumar, R.; et al. The effect of physical activity on mortality and cardiovascular disease in 130 000 people from 17 high-income, middle-income, and low-income countries: The PURE study. *Lancet* **2017**, *390*, 2643–2654. [[CrossRef](#)]
3. Janz, K. Physical activity and bone development during childhood and adolescence. Implications for the prevention of osteoporosis. *Minerva Pediatr.* **2002**, *54*, 93–104. [[PubMed](#)]

4. Castrogiovanni, P.; Trovato, F.M.; Szychlinska, M.A.; Nsir, H.; Imbesi, R.; Musumeci, G. The importance of physical activity in osteoporosis. From the molecular pathways to the clinical evidence. *Histol. Histopathol.* **2016**, *31*, 1183–1194. [[PubMed](#)]
5. Siris, E.S.; Adler, R.; Bilezikian, J.; Bolognese, M.; Dawson-Hughes, B.; Favus, M.J.; Harris, S.T.; De Beur, S.M.J.; Khosla, S.; Lane, N.E.; et al. The clinical diagnosis of osteoporosis: A position statement from the National Bone Health Alliance Working Group. *Osteoporos. Int.* **2014**, *25*, 1439–1443. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Larsson, S.C.; Wolk, A. Sedentary leisure-time in relation to mortality and survival time. *J. Sci. Med. Sport* **2019**, *22*, 562–567. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Patterson, R.; McNamara, E.; Tainio, M.; De Sá, T.H.; Smith, A.D.; Sharp, S.J.; Edwards, P.; Woodcock, J.; Brage, S.; Wijndaele, K. Sedentary behaviour and risk of all-cause, cardiovascular and cancer mortality, and incident type 2 diabetes: A systematic review and dose response meta-analysis. *Eur. J. Epidemiol.* **2018**, *33*, 811–829. [[CrossRef](#)]
8. Higgins, S.; Belcher, S.L.; Lewis, R.D. Sedentary Behaviors in Children and Adolescents: What Is the Influence on Bone Strength? In *Nutritional Influences on Bone Health*; Metzler, J.B., Ed.; Springer: Cham, Switzerland, 2019; pp. 95–108.
9. Koedijk, J.B.; Van Rijswijk, J.; Oranje, W.A.; van den Bergh, J.P.; Bours, S.P.; Savelberg, H.H.; Schaper, N.C. Sedentary behaviour and bone health in children, adolescents and young adults: A systematic review. *Osteoporos. Int.* **2017**, *28*, 2507–2519. [[CrossRef](#)]
10. Vogel, T.; Brechat, P.-H.; Leprêtre, P.-M.; Kaltenbach, G.; Berthel, M.; Lonsdorfer, J. Health benefits of physical activity in older patients: A review. *Int. J. Clin. Pract.* **2009**, *63*, 303–320. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Cadore, E.L.; Rodríguez-Mañas, L.; Sinclair, A.; Izquierdo, M. Effects of Different Exercise Interventions on Risk of Falls, Gait Ability, and Balance in Physically Frail Older Adults: A Systematic Review. *Rejuvenation Res.* **2013**, *16*, 105–114. [[CrossRef](#)]
12. Bea, J.W.; Thomson, C.A.; Wallace, R.B.; Wu, C.; Seguin, R.A.; Going, S.B.; Lacroix, A.; Eaton, C.; Ockene, J.K.; LaMonte, M.J.; et al. Changes in physical activity, sedentary time, and risk of falling: The Women’s Health Initiative Observational Study. *Prev. Med.* **2017**, *95*, 103–109. [[CrossRef](#)]
13. Moreira, N.B.; Rodacki, A.L.F.; Pereira, G.; Bento, P.C.B. Does functional capacity, fall risk awareness and physical activity level predict falls in older adults in different age groups? *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2018**, *77*, 57–63. [[CrossRef](#)]
14. Scott, D.; Johansson, J.; McMillan, L.B.; Ebeling, P.R.; Nordstrom, A.; Nordstrom, P. Mid-calf skeletal muscle density and its associations with physical activity, bone health and incident 12-month falls in older adults: The Healthy Ageing Initiative. *Bone* **2019**, *120*, 446–451. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Ferretti, J.L.; Cointy, G.R.; Capozza, R.F.; Frost, H.M. Bone mass, bone strength, muscle–bone interactions, osteopenias and osteoporoses. *Mech. Ageing Dev.* **2003**, *124*, 269–279. [[CrossRef](#)]
16. Vicente-Rodríguez, G.; Ezquerro, J.; Mesana, M.I.; Fernández-Alvira, J.M.; Rey-López, J.P.; Casajús, J.A.; Moreno, L.A. Independent and combined effect of nutrition and exercise on bone mass development. *J. Bone Miner. Metab.* **2008**, *26*, 416–424. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Janssen, I.; Clarke, A.E.; Carson, V.; Chaput, J.-P.; Giangregorio, L.M.; Kho, M.E.; Poitras, V.J.; Ross, R.; Saunders, T.J.; Ross-White, A.; et al. A systematic review of compositional data analysis studies examining associations between sleep, sedentary behaviour, and physical activity with health outcomes in adults. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* **2020**, *45*, S248–S257. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
18. Chastin, S.F.M.; Palarea-Albaladejo, J.; Dontje, M.L.; Skelton, D.A. Combined Effects of Time Spent in Physical Activity, Sedentary Behaviors and Sleep on Obesity and Cardio-Metabolic Health Markers: A Novel Compositional Data Analysis Approach. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0139984. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Carson, V.; Tremblay, M.S.; Chastin, S.F.M. Cross-sectional associations between sleep duration, sedentary time, physical activity, and adiposity indicators among Canadian preschool-aged children using compositional analyses. *BMC Public Health* **2017**, *17*, 848. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
20. Rodríguez-Gómez, I.; Mañas, A.; Losa-Reyna, J.; Rodríguez-Mañas, L.; Chastin, S.F.M.; Alegre, L.M.; García-García, F.J.; Ara, I. Associations between sedentary time, physical activity and bone health among older people using compositional data analysis. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0206013. [[CrossRef](#)]
21. Rodríguez-Gómez, I.; Mañas, A.; Losa-Reyna, J.; Rodríguez-Mañas, L.; Chastin, S.F.M.; Alegre, L.M.; García-García, F.J.; Ara, I. Compositional Influence of Movement Behaviors on Bone Health during Aging. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2019**, *51*, 1736–1744. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Rodríguez-Gómez, I.; Rodríguez-Mañas, L.; Losa-Reyna, J.; Rodríguez-Mañas, L.; Chastin, S.F.M.; Alegre, L.M.; García-García, F.J.; Ara, I. Prospective Changes in the Distribution of Movement Behaviors Are Associated With Bone Health in the Elderly According to Variations in their Frailty Levels. *J. Bone Miner. Res.* **2020**, *35*, 1236–1245. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
23. Rodríguez-Gómez, I.; Mañas, A.; Losa-Reyna, J.; Rodríguez-Mañas, L.; Chastin, S.F.M.; Alegre, L.M.; García-García, F.J.; Ara, I. The Impact of Movement Behaviors on Bone Health in Elderly with Adequate Nutritional Status: Compositional Data Analysis Depending on the Frailty Status. *Nutrients* **2019**, *11*, 582. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Treacy, D.; Hassett, L. The Short Physical Performance Battery. *J. Physiother.* **2018**, *64*, 61. [[CrossRef](#)]
25. Fernández-García, Á.I.; Gómez-Cabello, A.; Moradell, A.; Navarrete-Villanueva, D.; Pérez-Gómez, J.; Ara, I.; Pedrero-Chamizo, R.; Subías-Perié, J.; Muniz-Pardos, B.; Casajús, J.A.; et al. How to Improve the Functional Capacity of Frail and Pre-Frail Elderly People? Health, Nutritional Status and Exercise Intervention. The EXERNET-Elder 3.0 Project. *Sustainability* **2020**, *12*, 6246. [[CrossRef](#)]
26. World Medical Association. World medical association declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *J. Am. Med. Assoc.* **2013**, *310*, 2191–2194. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]









27. Stagi, S.; Cavalli, L.; Cavalli, T.; De Martino, M.; Brandi, M.L. Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) for the assessment of bone strength in most of bone affecting conditions in developmental age: A review. *Ital. J. Pediatr.* **2016**, *42*, 1–20. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Gonzalez-Aguero, A.; Vicente-Rodriguez, G.; Gómez-Cabello, A.; Casajús, J.A. Cortical and trabecular bone at the radius and tibia in male and female adolescents with Down syndrome: A peripheral quantitative computed tomography (pQCT) study. *Osteoporos. Int.* **2012**, *24*, 1035–1044. [[CrossRef](#)]
29. Blew, R.M.; Lee, V.R.; Farr, J.N.; Schiferl, D.J.; Going, S.B. Standardizing Evaluation of pQCT Image Quality in the Presence of Subject Movement: Qualitative Versus Quantitative Assessment. *Calcif. Tissue Int.* **2014**, *94*, 202–211. [[CrossRef](#)]
30. Izquierdo, M.; Casas Herrero, A.; Zambom Ferraresi, F.; Velilla, N.; Bouzón, C.; Rodríguez-Mañas, L. *Guía Práctica para la Prescripción de un Programa de Entrenamiento Físico Multicomponente para la Prevención de la Fragilidad y Caídas en Mayores de 70 Años*; VIVIFRAIL Erasmus+: Pamplona, Spain, 2016.
31. Podsiadlo, D.; Richardson, S. The Timed “Up & Go”: A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons. *J. Am. Geriatr. Soc.* **1991**, *39*, 142–148. [[CrossRef](#)]
32. Kim, H.-J.; Park, I.; Lee, H.J.; Lee, O. The reliability and validity of gait speed with different walking pace and distances against general health, physical function, and chronic disease in aged adults. *J. Exerc. Nutr. Biochem.* **2016**, *20*, 46–50. [[CrossRef](#)]
33. Zhang, S.; Murray, P.; Zillmer, R.; Eston, R.G.; Catt, M.; Rowlands, A.V. Activity Classification Using the GENEA: Optimum sampling frequency and number of axes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **2012**, *44*, 2228–2234. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Van Hees, V.T.; Renström, F.; Wright, A.; Gradmark, A.; Catt, M.; Chen, K.Y.; Löf, M.; Bluck, L.; Pomeroy, J.; Wareham, N.J.; et al. Estimation of Daily Energy Expenditure in Pregnant and Non-Pregnant Women Using a Wrist-Worn Tri-Axial Accelerometer. *PLoS ONE* **2011**, *6*, e22922. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Sanders, G.J.; Boddy, L.M.; Sparks, S.A.; Curry, W.B.; Roe, B.; Kaehne, A.; Fairclough, S.J. Evaluation of wrist and hip sedentary behaviour and moderate-to-vigorous physical activity raw acceleration cutpoints in older adults. *J. Sports Sci.* **2019**, *37*, 1270–1279. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Tasheva, P.; Kraege, V.; Vollenweider, P.; Roulet, G.; Méan, M.; Marques-Vidal, P. Accelerometry assessed physical activity of older adults hospitalized with acute medical illness—An observational study. *BMC Geriatr.* **2020**, *20*, 382. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Van Hees, V.T.; Sabia, S.; Jones, S.E.; Wood, A.R.; Anderson, K.N.; Kivimäki, M.; Frayling, T.M.; Pack, A.I.; Bucan, M.; Trenell, M.I.; et al. Estimating sleep parameters using an accelerometer without sleep diary. *Sci. Rep.* **2018**, *8*, 12975. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Martin-Moreno, J.M.; Boyle, P.; Gorgojo, L.; Maisonneuve, P.; Fernandez-Rodriguez, J.C.; Salvini, S.; Willett, W.C. Development and Validation of a Food Frequency Questionnaire in Spain. *Int. J. Epidemiol.* **1993**, *22*, 512–519. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Fernandez-Ballart, J.D.; Pinol, J.L.; Zazpe, I.; Corella, D.; Carrasco, P.; Toledo, E.; Perez-Bauer, M.; Martinez-Gonzalez, M.A.; Salas-Salvado, J.; Martin-Moreno, J.M. Relative validity of a semi-quantitative food-frequency questionnaire in an elderly Mediterranean population of Spain. *Br. J. Nutr.* **2010**, *103*, 1808–1816. [[CrossRef](#)]
40. Moreiras, O.; Carbajal, A.; Cabrera, L.C.C. *Tablas de Composición de los Alimentos*; GUÍA de Prácticas; Ed. Pirámide: Madrid, Spain, 2015.
41. Mataix, J. *Tabla de Composición de Alimentos*, 5th ed.; Universidad de Granada: Granada, Spain, 2009.
42. Dumuid, D.; Pedišić, Ž.; Palarea-Albaladejo, J.; Martín-Fernández, J.A.; Hron, K.; Olds, T. Compositional Data Analysis in Time-Use Epidemiology: What, Why, How. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2020**, *17*, 2220. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
43. Chastin, S.F.M.; Mandrichenko, O.; Helbostadt, J.L.; Skelton, D.A. Associations between objectively-measured sedentary behaviour and physical activity with bone mineral density in adults and older adults, the NHANES study. *Bone* **2014**, *64*, 254–262. [[CrossRef](#)]
44. Jain, R.K.; Vokes, T. Physical activity as measured by accelerometer in NHANES 2005–2006 is associated with better bone density and trabecular bone score in older adults. *Arch. Osteoporos.* **2019**, *14*, 29. [[CrossRef](#)]
45. Johansson, J.; Nordström, A.; Nordström, P. Objectively measured physical activity is associated with parameters of bone in 70-year-old men and women. *Bone* **2015**, *81*, 72–79. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Hannam, K.; Deere, K.C.; Hartley, A.; Al-Sari, U.A.; Clark, E.M.; Fraser, W.D.; Tobias, J.H. Habitual levels of higher, but not medium or low, impact physical activity are positively related to lower limb bone strength in older women: Findings from a population-based study using accelerometers to classify impact magnitude. *Osteoporos. Int.* **2017**, *28*, 2813–2822. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Farr, J.N.; Khosla, S. Skeletal changes through the lifespan—from growth to senescence. *Nat. Rev. Endocrinol.* **2015**, *11*, 513–521. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Füzéki, E.; Engeroff, T.; Banzer, W. Health Benefits of Light-Intensity Physical Activity: A Systematic Review of Accelerometer Data of the National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES). *Sports Med.* **2017**, *47*, 1769–1793. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Cowan, P.T.; Kahai, P. *Anatomy, Bones*; StatPearls Publishing: Treasure Island, FL, USA, 2020.
50. Bull, F.C.; Al-Ansari, S.S.; Biddle, S.; Borodulin, K.; Buman, M.P.; Cardon, G.; Carty, C.; Chaput, J.-P.; Chastin, S.; Chou, R.; et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. *Br. J. Sports Med.* **2020**, *54*, 1451–1462. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
51. Gomez-Cabello, A.; Pedrero-Chamizo, R.; Olivares, P.R.; Hernández-Perera, R.; Rodríguez-Marroyo, J.A.; Mata, E.; Aznar, S.; Villa, J.G.; Espino-Torón, L.; Gusi, N.; et al. Sitting time increases the overweight and obesity risk independently of walking time in elderly people from Spain. *Maturitas* **2012**, *73*, 337–343. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

52. Mañas, A.; Del Pozo-Cruz, B.; Rodríguez-Gómez, I.; Losa-Reyna, J.; Rodríguez-Mañas, L.; García-García, F.J.; Ara, I. Can Physical Activity Offset the Detrimental Consequences of Sedentary Time on Frailty? A Moderation Analysis in 749 Older Adults Measured with Accelerometers. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2019**, *20*, 634–638.e1. [[CrossRef](#)]
53. Min, C.; Yoo, D.M.; Wee, J.H.; Lee, H.-J.; Byun, S.H.; Choi, H.G. Mortality and cause of death in physical activity and insufficient physical activity participants: A longitudinal follow-up study using a national health screening cohort. *BMC Public Health* **2020**, *20*, 1469. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
54. Mañas, A.; Del Pozo-Cruz, B.; Rodríguez-Gómez, I.; Losa-Reyna, J.; Jódice, P.B.; Sardinha, L.B.; Rodríguez-Mañas, L.; García-García, F.J.; Ara, I. Breaking Sedentary Time Predicts Future Frailty in Inactive Older Adults: A Cross-Lagged Panel Model. *J. Gerontol. Ser. A Boil. Sci. Med. Sci.* **2020**. [[CrossRef](#)]
55. Steeves, J.A.; Shiroma, E.J.; Conger, S.A.; Van Domelen, D.; Harris, T.B. Physical activity patterns and multimorbidity burden of older adults with different levels of functional status: NHANES 2003. *Disabil. Health J.* **2019**, *12*, 495–502. [[CrossRef](#)]
56. Cauley, J.A.; Hovey, K.M.; Stone, K.L.; Andrews, C.A.; Barbour, K.E.; Hale, L.; Jackson, R.D.; Johnson, K.C.; Leblanc, E.S.; Li, W.; et al. Characteristics of Self-Reported Sleep and the Risk of Falls and Fractures: The Women’s Health Initiative (WHI). *J. Bone Miner. Res.* **2019**, *34*, 464–474. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
57. Fu, X.; Zhao, X.; Lu, H.; Jiang, F.; Ma, X.; Zhu, S. Association between sleep duration and bone mineral density in Chinese women. *Bone* **2011**, *49*, 1062–1066. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Cunningham, C.; O’Sullivan, R.; Caserotti, P.; Tully, M.A. Consequences of physical inactivity in older adults: A systematic review of reviews and meta-analyses. *Scand. J. Med. Sci. Sports* **2020**, *30*, 816–827. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. Rivasi, G.; Kenny, R.A.; Ungar, A.; Romero-Ortuno, R. Predictors of Incident Fear of Falling in Community-Dwelling Older Adults. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2020**, *21*, 615–620. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
60. Liu, J.Y.W. Fear of falling in robust community-dwelling older people: Results of a cross-sectional study. *J. Clin. Nurs.* **2015**, *24*, 393–405. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
61. Li, W.; Keegan, T.H.M.; Sternfeld, B.; Sidney, S.; Quesenberry, C.P.J.; Kelsey, J.L. Outdoor Falls Among Middle-Aged and Older Adults: A Neglected Public Health Problem. *Am. J. Public Health* **2006**, *96*, 1192–1200. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
62. Wang, Q.; Jiang, X.; Shen, Y.; Yao, P.; Chen, J.; Zhou, Y.; Gu, Y.; Qian, Z.; Cao, X. Effectiveness of exercise intervention on fall-related fractures in older adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *BMC Geriatr.* **2020**, *20*, 322. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
63. Lord, S.R.; Close, J.C.T. New horizons in falls prevention. *Age Ageing* **2018**, *47*, 492–498. [[CrossRef](#)]
64. Marusic, U.; Verghese, J.; Mahoney, J.R. Cognitive-Based Interventions to Improve Mobility: A Systematic Review and Meta-analysis. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2018**, *19*, 484–491.e3. [[CrossRef](#)]
65. Papalia, G.F.; Papalia, R.; Balzani, L.A.D.; Torre, G.; Zampogna, B.; Vasta, S.; Fossati, C.; Alifano, A.M.; Denaro, V. The Effects of Physical Exercise on Balance and Prevention of Falls in Older People: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Clin. Med.* **2020**, *9*, 2595. [[CrossRef](#)]

5.3. Artículo III

Article

Role of Dietary Intake and Serum 25(OH)D on the Effects of a Multicomponent Exercise Program on Bone Mass and Structure of Frail and Pre-Frail Older Adults

Ana Moradell ^{1,2,3,4} , David Navarrete-Villanueva ^{1,2,3,5}, Ángel I. Fernández-García ^{1,2,3,4}, Jorge Marín-Puyalto ^{1,2,3} , Alejandro Gómez-Bruton ^{1,2,3,4} , Raquel Pedrero-Chamizo ^{3,6} , Jorge Pérez-Gómez ⁷ , Ignacio Ara ^{8,9} , Jose A. Casajus ^{1,2,3,5,10}, Alba Gómez-Cabello ^{1,2,3,4,10,11,†}  and Germán Vicente-Rodríguez ^{1,2,3,4,10,*} 

- ¹ GENUD (Growth, Exercise, NUtrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; amoradell@unizar.es (A.M.); dnavarrete@unizar.es (D.N.-V.); angelivanfg@unizar.es (Á.I.F.-G.); jmarinp@unizar.es (J.M.-P.); bruton@unizar.es (A.G.-B.); joseant@unizar.es (J.A.C.); agomez@unizar.es (A.G.-C.)
 - ² Agrifood Research and Technology Centre of Aragón -IA2-, CITA-Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
 - ³ Exercise and Health in Special Population Spanish Research Net (EXERNET), 50009 Zaragoza, Spain; raquel.pedrero@upm.es
 - ⁴ Faculty of Health and Sport Science FCSD, Department of Physiatry and Nursing, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
 - ⁵ Faculty of Health, Department of Physiatry and Nursing, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
 - ⁶ ImFINE Research Group, Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences-INEF, Polytechnic University of Madrid, 28040 Madrid, Spain
 - ⁷ HEME Research Group, University of Extremadura, 10003 Cáceres, Spain; jorgepg100@gmail.com
 - ⁸ GENUD Toledo Research Group, University of Castilla-La Mancha, 45071 Toledo, Spain; ignacio.ara@uclm.es
 - ⁹ CIBER of Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), 28029 Madrid, Spain
 - ¹⁰ Biomedical Research Net in Physiopatology, Obesity and Nutricition (CIBERObn), 28029 Madrid, Spain
 - ¹¹ Defense University Center, 50090 Zaragoza, Spain
- * Correspondence: gervicen@unizar.es; Tel.: +34-876-55-37-56
† Both authors contributed equally to this work.

Received: 9 September 2020; Accepted: 29 September 2020; Published: 1 October 2020



Abstract: The multicomponent training (MCT) effect on bone health in frail and pre-frail elders, which is influenced by dietary intake, is still unknown. The objective of this non-randomized intervention trial was to assess the effects of a 6-month MCT on bone structure in frail and pre-frail elders, and to analyse the influence of dietary intake and serum vitamin D (25(OH)D) in these changes. Thirty MCT (TRAIN) and sixteen controls (CON), frail and pre-frail completed the information required for this study. Peripheral quantitative computed tomography measurements were taken at 4% and 38% of the tibia length and dietary intake was registered. The 25(OH)D values were obtained from blood samples. Analyses of covariance (ANCOVA) for repeated measures showed significant decreases for CON in total bone mineral content at 38% of tibia length. One factor ANOVAs showed smaller decreases in bone mineral density and cortical thickness percentage of change in TRAIN compared to CON. Linear regression analyses were performed to study the influence of nutrients and 25(OH)D on bone changes. Alcohol showed a negative influence on fracture index changes, while polyunsaturated fatty acid and vitamin A showed a positive association with some bone variables. The 25(OH)D only affected positively the cortical bone mineral density. In conclusion, our MCT seems to slow down some of the bone detriments associated with ageing in frail and pre-frail older adults, with alcohol showing a negative effect on the bone and apparent limited effect of nutrients and serum 25(OH)D on training related changes.

Keywords: osteoporosis; physical activity; polyunsaturated fatty acids; vitamin D; alcohol; frailty

1. Introduction

Frailty is a clinical condition defined by the World Health Organization as “a progressive age-related decline in physiological systems that results in decreased reserves of intrinsic capacity, which confers extreme vulnerability to stressors and increases the risk of a range of adverse health outcomes” [1]. Due to its reversible nature, especially at early stages during pre-frailty [2], researchers are still looking for the best treatment to mitigate frailty and reduce its association with morbidity and mortality [3,4]. In this line, evidence points out multicomponent training (MCT) programs as one of the most effective interventions in this population, especially to improve physical function [5]. However, less is known about its effects on other bodily impairments associated with ageing, such as the impairment of bone mass and structure.

The bone is a dynamic tissue that is continuously remodelling across the lifespan [6]. A gradual decline is produced with ageing, increasing the risk of osteoporosis, which is defined as a skeletal disease characterized by a decrease in bone mass and density, with a following increase in bone fragility and risk of fractures [7]. As this critical-age related disorder is strongly associated with pre-frail and frail elderly [8], identifying strategies to improve bone health in this population is of great relevance.

In this regard, evidence suggests that past physical activity has beneficial effects on bone health in older adults [9]. When exercise is practiced during adult- and elder-hood, the bone can be preserved and even improved [10,11]. Specific training programmes, such as those focused on strength, are beneficial for bone maintenance and improvement [10]. In relation to MCT, which is one of the most frequent types of training in older people, more evidence is needed to identify the optimal protocol for improving body composition [12] and specifically bone health. Further, to the authors’ knowledge, there is no evidence regarding the effects of MCT on bone related variables in frail and pre-frail elders.

Additionally, dietary intake may influence the effects of exercise on bone; however, not all research considers these variables. There is robust evidence regarding a positive contribution of calcium and vitamin D in bone health, while other dietary components such as proteins, polyunsaturated fatty acids (PUFA), or alcohol are still under discussion [13]. Specifically, vitamin D seems to play a critical role not only in bone health but also in different aspects of ageing and frailty [14], and it has been related to several diseases [15]. In addition, its deficiency has been related to several diseases and it shows a modest prevalence even in those sunnier Europe countries such as Spain [16,17]. Therefore, it has become important to study the associations of the serum level of vitamin D with health parameters in frail and pre-frail adults. Other dietary micronutrients, such as phosphorus and vitamin A have been reported as necessary for bone metabolism; however, when they are consumed in excess they could induce bone loss [13,18]. For these reasons, more contributions to the literature about dietary intake of nutrients as well as serum levels of 25-hydroxyvitamin D (25(OH)D) would be useful to establish clear conclusions about their mediation in the bone changes observed due to exercise in older adults.

Thus, the main objectives of the study were: (1) To describe the effects of a 6-month MCT on bone mass and structure of frail and pre-frail older adults, and (2) to study the contribution of the main bone-related nutrients and serum 25(OH)D to the changes expected during the training period.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design and Participants

This control trial study was carried out between 2018 and 2020 within the framework of the EXERNET-Elder 3.0 project, which developed a MCT with the main aim of improving physical function in frail and pre-frail older adults. Participants were recruited from four health care centres and three nursing homes from the city of Zaragoza, Spain. People above 65 years categorized as frail or pre-frail

according to their functionality measured by the Short Physical Performance Battery [19] were included in the study. Those who had cancer and/or dementia were excluded. In total, 169 elders were initially derived from the centres mentioned above, and finally 110 met the inclusion criteria and were included in the sample as shown in Figure 1.

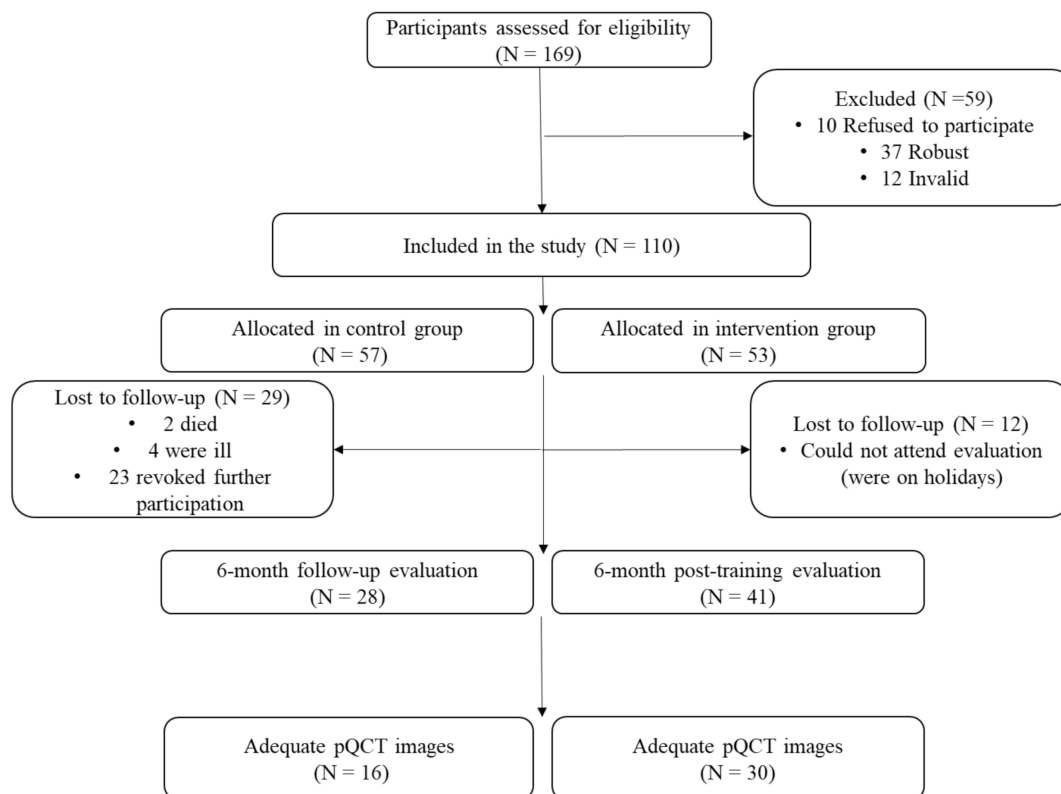


Figure 1. Diagram flow chart of participants. pQCT: Peripheral quantitative computed tomography.

Participants were then allocated by convenience into two groups, taking into account their preferences and availability: The control group (CON) and training group (TRAIN). Both groups were evaluated on the baseline assessment and at the end of the 6-month MCT programme (six months after the baseline assessment). A total of 69 participants (41 TRAIN) completed the first 6-month study protocol; however, only 46 participants (30 TRAIN) had valid images from the bone assessment and enough information to be included in this study (Figure 1). Moreover, during the 6-month training period participants of both groups (CON and TRAIN) received three talks related to healthy lifestyles in order to avoid depriving the CON of positive effects.

Participants had to attend the research centre in two occasions for each evaluation. During the first day personal information and other health outcomes were collected through a structured questionnaire. Specifically, the variables included in this article were as follows: Mean of daily walking hours and sitting hours [20], smoking habits, Instrumental Activities of Daily Living Scale [21], Barthel Index [22], Mini Nutritional Assessment [23], and adherence to the Mediterranean diet [24]. Researchers performed also body composition measurements. All these measurements were performed at baseline and 6 months later. Moreover, a dietary record was obtained once, on a separate day, at the middle of the intervention timeline [25].

2.2. Ethics Statement

All participants received oral and written information about the aims, possible benefits, and risks derived from participation in this study. Afterwards, written informed consent was obtained from all the included participants.

The study was performed in accordance with the Helsinki Declaration of 1961 revised in Fortaleza (2013) [26] and the current legislation of human clinical research of Spain (Law 14/2007). The study protocol was approved by the Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50). This study was registered in the electronic repository *clinicaltrials.gov* (reference number: NCT03831841).

2.3. The EXERNET Elder 3.0 Multicomponent Exercise Program

The training protocol has been described in detail by Fernández-García et al. [27]. Exercise groups were composed of 8–16 elders depending on the space available in the training centre, and all the sessions were supervised by specialized instructors complying a maximum ratio of 12 participants per instructor (the group of 16 participants was supervised by two instructors). Sessions were held three times a week and lasted 1 h, combining exercises in order to improve endurance, strength, flexibility, balance, coordination, and functional capacity in daily life activities. All sessions included 10 min of warm-up, 35–40 min of main part exercises, and 10–15 min of cooldown. During the whole intervention period, there was a progression of the training load to ensure that the stimulus was appropriate to cause adaptations in the body. Moreover, the intensity of all exercises was adapted to each participant's characteristics and frailty status.

2.4. Peripheral Quantitative Computed Tomography (pQCT)

The pQCT measurements were taken at three sites (4%, 38%, and 66%) of the tibia length using a Stratec XCT-2000 L pQCT scanner (Stratec Medizintechnik, Pforzheim, Germany). To ensure the measurements performed by the machine were correct, the pQCT device undertook a daily quality control using a validated phantom pQCT manual.

The non-dominant tibia was selected for the measurements. A coronal computed radiograph (scout view) was performed to manually locate a reference line on the distal end of the tibia. The measurement sites were located proximal to this reference line by a distance corresponding to 4% (distal tibia), 38% (diaphyseal tibia), and 66% (largest calf perimeter) of the tibia length as previously described [28]. In this study, we considered the following bone parameters: Total bone mineral content (Tt.BMC), total bone area (Tt.Ar), total bone mineral density (Tt.BMD) (all of them at 4% and 38% of the tibia length), trabecular bone density at 4% of the tibia length (Tb.BMD), cortical bone mineral density (Ct.BMD), and cortical bone thickness (Ct.Th) at 38% of the tibia length. Bone strength was established with respect to resistance to torsion (polar stress strain index in mm³ (SSI_p)) and bending (measured at 38%), as fracture load X (N) (measured at 66%), with respect to the X-axis, as described elsewhere [29].

To ensure the quality of the measurements and obtained images, the pQCT was performed by a trained researcher (A.M.) and then the images obtained were evaluated classifying them in a scale from 1 to 5 points: 1 for those "perfect" without any movement and 5 for those "impossible to use" with too much movement during the scan test, following the indications of Blew et al. [30]. The images that scored from 4 to 5 were excluded because they were not accurate.

2.5. Dietary Intake

A semiquantitative food-frequency questionnaire previously validated in Spain [25,31] was used to assess the dietary intake. Previously trained researchers asked participants about their eating habits during the last year. The questionnaire included 137 items showing their typical portion size. Daily intake was calculated by multiplying the portion size by the frequency of consumption (nine options ranging from never/almost never to six or more times per day). Nutrient intake was estimated using Spanish food composition tables and other sources of information [32,33]. Nutrients estimated from the semiquantitative food frequency questionnaire and considered in this study were calcium, vitamin D, phosphorus, vitamin A (retinol), PUFA, protein, and alcohol. Reasons considered for the inclusion of these nutrients were: Calcium and vitamin D have clear evidence that they have an influence on the bone while weight adjusted protein consumption is still under debate [13]. Phosphorus and vitamin A were included because an excess of either micronutrient has shown to

have a negative effect on bone metabolism. Although the National Osteoporosis Foundation only focuses its review on alcohol consumption during adolescence, we thought it would be interesting to study its role in this population as well as for PUFA, to improve the evidence of the effects of these nutrients on bone mass. Dietary reference daily intakes (RDI) were used in the study according to Spanish recommendations [32].

2.6. Blood Samples and Serum 25(OH)D

Fasting blood samples were collected by venepuncture (4 mL). Samples were centrifuged at 3100 rpm during 17 min for the serum extraction and they were stored at -80°C for later analyses. To obtain 25OH-D, the "VITROS 25-OH Vitamin D Total" package was used, which includes; VITROS 25-OH Vitamin D Total Reagent Pack and VITROS 25-OH Vitamin D Total Calibrators, the VITROS ECi/ECiQ immunodiagnostic system, VITROS 3600.

2.7. Statistical Analysis

The Statistical Package for the Social Sciences v. 20.0 for Windows (SPSS, Inc, Chicago, IL, USA) was used to analyse the data. Normality of the sampling distribution was evaluated using Saphiro-Wilk tests. Those variables which did not follow a normal distribution were logarithmically transformed to reach the normality of variables. The statistical significance level was set at $p < 0.05$ in all tests. All the analyses were adjusted by age and sex.

Descriptive data are reported as mean and standard deviation (SD), number of participants (n) or percentage (%), according to the nature of each variable. Descriptive differences between groups at baseline were analysed with t-tests and chi-square tests. For those variables transformed, the original mean and SD values are reported.

Analyses of covariance (ANCOVAs) for repeated measures adjusted by age and sex were performed to analyse the group by time interactions and to compare differences in pre-training and post-training within and between groups. In addition, analyses that were repeated only included participants who assisted more than 80% of the sessions. Partial eta squared was used to report effect sizes considering the following thresholds: Small effect (>0.01), medium effect (>0.06), and large effect (>0.14). Cohen's d was calculated for the effect size from multiple comparisons using the classic thresholds proposed by Cohen: Small effect (>0.2), medium effect (>0.5), and large effect (>0.8) [34].

Percentages of change were calculated subtracting post-intervention values minus baseline values and dividing the result by the baseline values. Then, they were multiplied by 100 to obtain a percentage. ANOVA of one factor was used to evaluate differences between groups in these variables.

Regarding dietary nutrients, individual linear regression analyses by the enter method were performed to evaluate the contribution of each nutrient variable (independent variables) on bone mass and structure percentage of changes (dependent variables), after adjusting by sex and age. If more than one nutrient showed influence on bone percentage of changes, a further step-wise regression was developed also adjusted by sex and age. Finally, similar linear regression analyses by the enter method were performed to estimate the contribution of 25(OH)D (independent variable) on bone mass and structure percentages of change (dependent variables) during training in both groups. Overall, the r^2 , r^2 change, and standardized β are reported for all these regressions.

3. Results

Adherence to training averaged $85.2\% \pm 10.6\%$, ranging from 67.3% to 98.5%. There were no adverse events and no health problems due to the MCT in the TRAIN group over the 6-month intervention period. The final cohort included a total of 46 participants (16 CON (14 women) and 30 TRAIN (22 women)), which completed both evaluations of pQCT and had good quality scans. TRAIN and CON groups showed differences between height, weight, and walking hours at baseline as shown in Table 1.

Table 1. Descriptive characteristics of the cohort at baseline.

	CON (<i>n</i> = 16)	TRAIN (<i>n</i> = 30)	<i>p</i> -Value
Age and Anthropometrics			
	Mean ± SD	Mean ± SD	
Age (years)	79.1 ± 5.1	81.3 ± 5.0	0.162
Height (cm)	153.1 ± 7.2	159.3 ± 8.1	0.037
Weight (kg)	67.0 ± 7.2	73.8 ± 11.3	0.046
BMI (kg/m ²)	29.2 ± 4.3	29.3 ± 3.6	0.952
Walking hours per day	2.1 ± 1.5	1.0 ± 0.8	0.014
Sedentary hours per day	5.9 ± 2.8	6.1 ± 2.6	0.907
Sex	<i>n</i> (%)	<i>n</i> (%)	
Women	14 (87.5)	22 (73.3)	0.267
Men	2 (12.5)	8 (26.7)	
SPPB			
Frail	1 (6.3)	5 (16.7)	0.312
Pre-frail	15 (93.7)	25 (83.3)	
Health related habits			
Smoke			
Yes	2 (12.5)	0 (0.0)	0.220
No	14 (87.5)	30 (100.0)	
Nutrition related questionnaires			
ADM			
Yes	11 (68.7)	23 (76.7)	0.827
No	5 (31.3)	7 (23.3)	
MNA			
At risk of malnourishment	1 (6.3)	6 (20.0)	0.291
Normal nutritional status	15 (93.7)	24 (80.0)	
Dependence questionnaires			
Barthel Index			
Mildly dependent	7 (43.7)	9 (30.0)	0.348
Independent	9 (56.3)	21 (70.0)	
IADL			
Moderate dependence	3 (18.2)	4 (13.3)	0.220
Mildly dependent	1 (6.3)	9 (30.0)	
Independent	12 (75.5)	17 (56.7)	

CON: Control group; TRAIN: Training group; BMI: Body Mass Index; SPPB: Short Physical Performance Battery; ADM: Adherence to Mediterranean Diet; MNA: Mini Nutritional Assessment; IADL: Instrumental activities for daily living. Bold letters represent statistical significance $p < 0.05$.

3.1. Effects of the MCT Program on Bone Mass and Structure

Table 2 shows the group by time interactions and differences between and within groups at both evaluations adjusted by age and sex.

Table 2. Bone variables in CON and TRAIN groups at pre-training and post-training periods adjusted by age and sex.

	CON			TRAIN			GxT Interaction η_p^2
	Pre-Training	Post-Training	F	Pre-Training	Post-Training	F	
Tt.BMC 4% (g)	2.53 ± 0.37	2.48 ± 0.37	12.297 *	2.84 ± 0.35 †	2.80 ± 0.35 †	5.599 *	0.046
Tt.BMD 4% (mg/cm ³)	233.50 ± 40.24	232.68 ± 41.66	0.149	250.78 ± 39.81	251.37 ± 41.19	0.151	0.007
Tb.BMD 4% (mg/cm ³)	194.29 ± 39.46	190.84 ± 40.52	8.435 *	205.21 ± 39.04	202.96 ± 40.09	6.875 *	0.015
Tt.Ar 4% (mm ²)	6.99 ± 0.03	6.97 ± 0.03	2.060	7.03 ± 0.02	7.01 ± 0.02	2.271	0.002
Tt.BMC 38% (g)	2.98 ± 0.33	2.96 ± 0.33	4.278 *	3.14 ± 0.32	3.13 ± 0.32	1.932	0.017
Tt.BMD 38% (mg/cm ³)	796.27 ± 99.97	789.78 ± 100.66	10.110 *	810.45 ± 98.66	805.93 ± 99.34	8.644 *	0.015
Ct.BMD 38% (mg/cm ³)	1128.50 ± 47.80	1124.15 ± 47.82	6.665 *	1144.58 ± 47.35	1139.61 ± 47.38	12.518 *	0.001
Ct.Th 38% (mm)	4.28 ± 0.63	4.25 ± 0.63	3.289	4.47 ± 0.62	4.47 ± 0.62	0.117	0.039
Tot.Ar 38% (mm ²)	5.92 ± 0.02	5.93 ± 0.02	1.418	5.95 ± 0.02	5.95 ± 0.02	0.120	0.014
Fracture Load X 38% (N)	5385.55 ± 771.14	5290.65 ± 855.09	0.335	5665.81 ± 762.35	5552.71 ± 845.33	2.088	0.003
SSI _p 38% (mm ³)	1385.07 ± 190.08	1374.73 ± 195.66	0.736	1478.21 ± 187.59	1476.46 ± 193.14	0.006	0.014

CON: Control group; TRAIN: Training group; Tt.BMC: Total bone content; Tt.BMD: Total bone density; Tb.BMD: Trabecular bone density; Tt.Ar: Total bone area; Ct.BMD: Cortical bone density; Ct.Th: Cortical bone thickness; SSI_p: Polar stress strain index; GxT: Group by time. * Statistical significance differences within groups between pre-training and post-training, $p < 0.05$. † Statistical significance differences between groups at pre-intervention or post-intervention $p < 0.05$.

Differences between groups were observed at baseline in Tt.BMC at 4%, showing better values for TRAIN ($p < 0.05$) than CON. Moreover, the same differences were observed after the 6-month MCT ($p < 0.05$).

The CON group showed decreases in Tt.BMC 4% ($F_{(1,41)} = 12.297$, $p = 0.001$) from 2.53 to 2.48 g ($d = 0.135$, small effect size) and in Tb.BMD ($F_{(1,2)} = 8.435$, $p = 0.006$) from 194.29 to 190.84 mg/cm³ ($d = 0.086$, small size effect). For 38% of the tibia length, decreases were observed in Tt.BMC ($F_{(1,36)} = 4.278$, $p = 0.046$), from 2.98 to 2.96 g ($d = 0.060$, small effect size), Tt.BMD ($F_{(1,37)} = 10.010$, $p = 0.003$), from 796.27 to 789.78 mg/cm³ ($d = 0.064$, small effect size), and in Ct.BMD ($F_{(1,37)} = 6.665$, $p = 0.014$) from 1128.50 to 1124.15 mg/cm³ ($d = 0.090$, small effect size).

For the TRAIN group, decreases were also observed in the same variables, with the exception of Tt.BMC at 38% of the tibia length. Concretely, there was a decrease at 4% of the tibia length Tt.BMC ($F_{(1,41)} = 5.599$, $p = 0.023$), from 2.84 to 2.80 g ($d = 0.114$, small effect size) and Tb.BMD ($F_{(1,42)} = 6.875$, $p = 0.012$) from 205.21 to 202.96 mg/cm³ ($d = 0.086$, small effect size). In addition, at 38% of the tibia length the decreases were found in Tt.BMD ($F_{(1,39)} = 8.644$, $p = 0.006$) from 810.45 to 805.93 mg/cm³ ($d = 0.045$, small effect size), and in Ct.BMD ($F_{(1,39)} = 12.518$, $p = 0.014$) from 1144.58 to 1139.61 mg/cm³ ($d = 0.104$, medium effect size).

No group by time interactions were observed for any variable in those previous analysis (all $p > 0.05$).

No different changes were shown when analyses were performed in those participants completing $\geq 80\%$ of the training sessions.

When comparing percentages of change, differences between groups were observed for Tt.BMD at 38% of the tibia length ($-0.9 \pm 0.7\%$ vs. $-0.3 \pm 0.5\%$) and Ct.Th ($-0.7 \pm 0.8\%$ vs. $0.2 \pm 1.1\%$); both $p < 0.05$, CON and TRAIN, respectively. All percentages of change are presented in Table 3.

Table 3. Differences in percentages of change of bone-related variables between CON and TRAIN groups.

	CON	TRAIN	<i>p</i> -Value
Tt.BMC 4% (g)	-2.4 ± 3.2	-1.0 ± 1.9	0.089
Tt.BMD 4% (mg/cm ³)	-0.3 ± 3.8	0.1 ± 2.1	0.799
Tb.BMD 4% (mg/cm ³)	-1.9 ± 2.4	-1.2 ± 2.4	0.360
Tot.Ar 4% (mm ²)	-1.9 ± 6.1	-0.9 ± 3.0	0.496
Tt.BMC 38% (g)	-0.6 ± 0.9	-0.3 ± 1.3	0.572
Tt.BMD 38% (mg/cm ³)	-0.9 ± 0.7	-0.3 ± 0.5	0.006
Ct.BMD 38% (mg/cm ³)	-0.5 ± 0.6	-0.3 ± 0.5	0.463
Ct.Th 38% (mm)	-0.7 ± 0.8	0.2 ± 1.1	0.012
Tot.Ar 38% (mm ²)	0.4 ± 0.9	0.0 ± 1.1	0.302
Fracture Load X 38% (N)	-1.3 ± 5.9	-2.2 ± 6.8	0.731
SSI _p 38% (mm ³)	-0.1 ± 2.3	-0.1 ± 3.9	0.999

CON: Control group; TRAIN: Training group; Tt.BMC: Total bone content; Tt.BMD: Total bone density; Tb.BMD: Trabecular bone density; Tt.Ar: Total bone area; Ct.BMD: Cortical bone density; Ct.Th: Cortical bone thickness; SSI_p: Polar stress strain index. Bold letters represent statistical significance set at $p < 0.05$.

3.2. Dietary Intake Descriptive Variables and Their Contribution to Changes in Bone Mass and Structure during the 6-Month Intervention Period

Table 4 shows the intake of bone-related nutrients included in this report and their RDI.

Table 4. Descriptive dietary intake variables per day from the semiquantitative food frequency questionnaire, serum 25(OH)D, and adherence to Spanish recommendations.

		CON	TRAIN	<i>p</i> -Value
Protein (g/kg)		1.38 ± 0.28	1.42 ± 0.40	0.743
Alcohol (g)		1.10 ± 1.64	1.16 ± 1.87	0.744
PUFA (g)		15.94 ± 7.11	20.23 ± 9.38	0.134
Vitamins	RDI (F/M)			
Vit A (µg)	800/1000	1480.26 ± 765.08	1583.69 ± 504.71	0.601
Vit D (µg)	20	5.65 ± 3.40	5.95 ± 3.15	0.774
		Minerals		
Ca (mg)	1200	994.86 ± 266.71	1176.68 ± 370.07	0.102
P (mg)	700	1709.05 ± 393.83	1898.33 ± 444.44	0.177
25(OH)D	Normal Values			
Vit D (ng/dL)	>30	24.17 ± 3.28	27.32 ± 10.71	0.392

CON: Control group; TRAIN: Training group; PUFA: Polyunsaturated fatty acids; Vit A: Vitamin A; Vit D: Vitamin D; Ca: Calcium; P: Phosphorus; 25(OH)D: Serum 25-hydroxyvitamin D; RDI: Recommended daily intake; F: Female; M: Male. Statistical significance set at $p < 0.05$.

No differences of consumption were observed between groups for any nutrient (all $p > 0.05$). The mean intake of our cohort was above the recommended levels for dietary vitamin A and phosphorus, but it did not reach the excess threshold. The intake levels for the other nutrients were below recommendations.

As shown in Table 5, dietary vitamin A negatively influenced changes in Tt.BMD at 4%, Tt.BMD and Ct.BMD at 38% of the tibia length, showing detrimental effects with predictive values of 9.2%, 17.4%, and 15.8%, respectively after taking sex and age into account.

Dietary PUFA were positively associated with changes showing benefits for Tt.BMD at 4% (change $r^2 = 0.097$). Moreover, for changes in Fracture load, alcohol seems to be harmful showing a negative influence (change $r^2 = 0.149$) (all $p < 0.05$).

When dietary vitamin A and PUFA were included in a step-wise regression analysis with Tt.BMD as the independent variable, dietary vitamin A seemed to decrease Tt.BMD (change $r^2 = 0.174$, β standardized = -0.425) and the influence of PUFA disappeared.

No contribution to bone changes were found in the model for dietary P, Ca, dietary vitamin D nor protein.

When serum 25(OH)D was analysed as a predictive variable for bone percentage of change (also adjusted for sex and age), the only significant outcome was observed for Ct.BMD at 38% of the tibia length (overall $r^2 = 0.233$, change in $r^2 = 0.081$, and β unstandardized = 0.014). No other bone analysed variable was statistically significant (all $p > 0.05$).

Table 5. Sex- and age- adjusted linear regression coefficients for the influence of dietary intake on bone mass and structure.

		Tt.BMC 4% (g)	Tt.BMD 4% (mg/cm ³)	Tb.BMD 4% (mg/cm ³)	Tt.Ar 4% (mm ²)	Tt.BMC 38% (g)	Tt.BMD 38% (mg/cm ³)	Ct.BMD 38% (mg/cm ³)	Ct.Th 38% (mm)	Tt.Ar 38% (mm ²)	Fracture Load X 38% (N)	SSIP 38% (mm ³)
	Overall r ² ^b	0.176	0.041	0.031	0.047	0.052	0.062	0.229	0.042	0.057	0.138	0.195
Calcium (mg)	Change r ²	0.000	0.014	0.002	0.004	0.004	0.011	0.027	0.005	0.013	0.001	0.067
	Standardized β	0.008	0.123	0.052	0.711	−0.062	0.110	0.170	−0.073	−0.120	−0.033	−0.269
Vitamin D (μg)	Change r ²	0.079	0.036	0.085	0.063	0.005	0.001	0.008	0.009	0.004	0.009	0.000
	Standardized β	0.288	−0.193	0.298	0.256	−0.070	0.023	0.090	−0.100	−0.062	0.096	−0.020
Vitamin A (μg)	Change r ²	0.035	0.092	0.065	0.079	0.016	0.174	0.158	0.001	0.011	0.051	0.003
	Standardized β	0.189	−0.306	0.256	0.283	−0.131	−0.425	−0.405	−0.030	0.109	0.227	−0.052
Phosphorus (mg)	Change r ²	0.000	0.003	0.024	0.000	0.021	0.001	0.021	0.045	0.022	0.001	0.036
	Standardized β	0.019	0.055	0.164	−0.010	−0.150	0.026	0.150	−0.220	−0.155	0.033	−0.197
Protein (g/kg)	Change r ²	0.008	0.042	0.003	0.006	0.072	0.001	0.019	0.077	0.060	0.033	0.057
	Standardized β	0.087	0.205	−0.050	0.079	−0.269	−0.025	0.134	−0.278	−0.252	−0.188	−0.241
PUFA (g)	Change r ²	0.003	0.097	0.005	0.091	0.085	0.028	0.001	0.062	0.061	0.021	0.002
	Standardized β	−0.055	0.339	0.074	−0.236	0.317	0.181	−0.042	0.270	0.268	−0.156	0.045
Alcohol (g)	Change r ²	0.016	0.016	0.021	.026	0.033	0.104	0.024	0.030	0.000	0.149	0.002
	Standardized β	−0.137	0.137	−0.156	−0.176	0.207	0.368	0.177	0.194	0.014	−0.466	−0.054

Tt.BMC: Total bone content; Tt.BMD: Total bone density; Tb.BMD: Bone trabecular density; Tt.Ar: Total bone area Ct.BMD: Cortical bone density; Ct.Th: Cortical bone thickness; SSIP: Polar stress strain index; PUFA: Polyunsaturated fatty acid. Standardized β and change in r² for each of the nutrient intake predictors adjusted by age and sex. ^b From the age and sex prediction model. Characters in bold indicate statistical significance (*p* < 0.05).

4. Discussion

The main findings of this study are: (1) MCT seems to have a minor but significant impact on bone variables by the attenuation of some decreases related to aging; (2) alcohol intake and an excess of dietary vitamin A have a negative effect on bone changes while PUFA seems to prevent the bone decline, (3) serum levels of 25(OH)D showed a small positive association with changes on Ct.BMD.

Bone metabolism across the lifespan has been widely studied. With age, there is a decrease not only in Tt.BMD, but also in cortical and trabecular bone, with a consequent weakening of bone structure [35]. Although Dual Energy X-ray Absorptiometry is the gold-standard and the most widespread technique in intervention studies, it is not able to evaluate volumetric variations of the bone. Thus, pQCT has been recommended in order to study bone changes with more precision.

In this regard, the effects of MCT on the bone still remain under debate [12] and there is no evidence until now about the effects of this type of intervention on bone structure in frail or pre-frail older adults. In our cohort, decreases were observed after the 6-month intervention period in Tt.BMC and Tb.BMD at 4% and in Tt.BMD and Ct.BMD at 38% of the tibia length, independently of the group (CON or TRAIN). Moreover, the CON group showed a decrease in Tt.BMC at 38% of the tibia length. When these changes between groups were studied, those who exercised presented smaller losses in Tt.BMD at 38% of the tibia length and in Ct.Th when compared to CON.

Even MCT seems to be effective improving physical fitness [5], this MCT may not be the best protocol for the improvement of bone mass, although it seems useful to slightly minimize the detrimental effect of ageing in bone in pre-frail and frail elders. The lack of clearer results may be partially explained due to the TRAIN group showing greater baseline values, which could lead to a higher probability of losses and also to the small statistical power related with our small cohort. Moreover, CON showed more walking hours than TRAIN, which could also be delaying the decline. Other effects of our MCT on other variables which are particularly important in osteoporosis, such as balance, risk of falls, and fracture, should be studied in future.

As it has been stated above, there is some controversy about the efficacy of MCT in bone mass of elderly people. For instance, Tolomio et al. found increases in the femoral neck after an 11-week intervention [36], while Karinkanta et al. found smaller negative changes in the MCT group when compared to other exercise types in SSIP [37], and Marín-Cascales did not find changes [38]. However, MCT is a generic term referring to exercise programs which involves strength and endurance exercises overall but also another type of exercise such as stretching or balance. MCT design could differ among each practitioner, physical educator, or trainer depending on their objectives, thus, large differences among exercise protocols or characteristics of the study cohort (such as nutritional status) may explain discrepancies between studies, which does not allow drawing a conclusion about the MCT effects on bone parameters.

Another important difficulty when we aim to interpret the effects of training protocols on bone health is the bone-nutrition-exercise interaction that has been previously described in other populations [39,40]; and that is generally little taken into account in these types of studies that describe training effects. In fact, given the burden of osteoporosis in our aging population, well designed control trials have been suggested to be timely and much needed [41]. In this sense, it is known that bone metabolism is complex, and highly influenced by lifestyle habits, among which is dietary intake [9]. For this reason, the nutritional status of participants may play an important role in the effects of exercise programs on bone mass and structure. In our study, alcohol intake showed negative associations with fracture load explaining up to 14.9% of the variability. Daily alcohol intake, specifically wine, has been promoted as part of the healthy Mediterranean Diet [24] and this is one of the reasons why it is habitual in the Spanish older population. However, detrimental associations with an increased risk of some diseases such as cancer [42] or osteopenia [43] have been well described. Its consumption could be compromising the absorption of nutrients and it could be reducing exercise effects, so it should not be encouraged in this population.

Other dietary nutrients that were related to bone changes in our results were dietary PUFA and vitamin A. Specifically, PUFA accounted for up to 9.8% of the changes found at Tt.BMD at 4% of the tibia length, which means that it could have a beneficial effect on bone health. Although this micronutrient has been less studied, a possible explanation could be that it plays a role in inflammation, inhibiting osteoclastic activity by complex pathways described elsewhere [44,45]. Otherwise, in the present study, it has been observed that dietary vitamin A has been also associated to higher decreases in bone parameters; vitamin A is a potential antioxidant with multiple benefits in the ageing process but which can produce breakdown effects in the bone if it is consumed in an excess [46]. The mean intake of our cohort was above the recommended levels, but it did not reach the excess threshold. However, vitamin A was negatively associated with Tt.BMD at 4% and at 38% of the tibia length; and Ct.BMD accounting for up to 17.4% of the total variability. It will be interesting to consider food sources in order to study these negative associations, as vitamin A can come from vegetables or animal foods and could have a different influence on bone health [47,48]. However, more accurate studies are needed, with larger cohorts, to analyse those nutrients with lower levels of evidence, such as vitamin A or PUFA.

Finally, although evidence regarding the relation of bone parameters with dietary calcium, vitamin D from diet, and serum 25(OH)D have been defined as strong [13], no associations were found between these dietary intake reported variables and bone changes during the 6-month intervention period. As mean intakes of dietary calcium and vitamin D of both groups were close to the recommendations, a possible influence in bone changes could be hidden. However, when blood serum 25(OH)D was evaluated, a slightly positive association was observed with cortical bone thickness. Moreover, Uusi et al. reported an increase in trabecular BMD in the vitamin D supplemented and exercise group but not in the exercise non supplemented group [49]. Nevertheless, when this intervention stopped none of the exercises, vitamin D, or combined groups reduced the normal bone ageing decline [50]. Thus, more studies are needed to establish clear associations, as supplementation seems to be effective [49], adequate values of serum 25(OH)D have previously been associated with muscle gains [14] and its deficiency with frailty status [51].

Some limitations of this study should be mentioned. Even though, to the best of our knowledge, our study is the first one evaluating the effects of MCT in bone mass and structure of frail and pre-frail elders, the sample size is small, which could lead to a lack of statistical power. Even randomized clinical trials are recommended, to ensure that participation and attendance of this population is very difficult and thus we allocate them by convenience. Greater samples should be recruited in order to study the differences between frail and pre-frail elders. Despite the fact that a large number of cohort images could not be included because of movement during testing, the use of pQCT should be highlighted as an important strength, which allows differentiating the bone structure and the use of a quality image scale is another strength, which improves the quality of the measurements. Reasons found for these movements were: difficulty to stand still during the assessment, to have trembles due to medications, and to be nervous because of the evaluation. Thus, bigger samples should be included while expecting this big loss including a more relaxed atmosphere for testing. In addition, while it was difficult to encourage attendance for CON, no one in TRAIN revoked their participation. Moreover, all participants have requested to participate again in a new phase of the project. Thus, MCT is an effective strategy not only for slightly reducing bone detriment but also to increase exercise adherence in this population. Other limitations derived from the self-report and FFQs should be mentioned as older people could be under- or over- estimating their food consumption. Finally, the lack of information about the presence of any treatment with bone-active agents should be considered as a limitation of this study, as it may hinder the real effects of MTC on bone variables.

5. Conclusions

To sum up, the MCT program seems to slow down some of the bone reductions associated with ageing in frail and pre-frail older adults; however, we could not recommend this type of intervention

as there should be other protocols more optimized to improve the bone structure in this population. Serum 25(OH)D seems to have a limited positive influence on bone changes. In addition, dietary nutrients such as alcohol or vitamin A seem to have a negative effect on changes of fracture index, and BMD variables, but more studies are needed in order to explain the interrelation of other nutrients. The authors recommend avoiding alcohol intake and having an adequate consumption of food sources with vitamin A intake in order to protect the bone health.

Author Contributions: Conceptualization, A.M., J.A.C., A.G.-C., and G.V.-R.; data curation, A.M. and J.M.-P.; formal analysis, A.M., J.M.-P., and A.G.-B.; funding acquisition, I.A., J.A.C., and G.V.-R.; investigation, A.M., D.N.-V., Á.I.F.-G., J.M.-P., and A.G.-B.; methodology, A.M., J.M.-P., A.G.-B., J.A.C., A.G.-C., and G.V.-R.; project administration, J.A.C., A.G.-C., and G.V.-R.; resources, A.M., D.N.-V., Á.I.F.-G., J.M.-P., A.G.-B., A.G.-C., and G.V.-R.; supervision, J.A.C., A.G.-C., and G.V.-R.; validation, R.P.-C., J.P.-G., and I.A.; visualization, A.G.-B., R.P.-C., J.P.-G., and I.A.; writing—original draft, A.M. and A.G.-C.; writing—review and editing, D.N.-V., Á.I.F.-G., J.M.-P., A.G.-B., R.P.-C., J.P.-G., I.A., J.A.C., and G.V.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was funded by the “Ministerio de Economía, Industria y Competitividad” (DEP2016-78309-R) and “Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza” (UZCUD2017-BIO-01), Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES) and FEDER funds from the European Union (CB16/10/00477).

Acknowledgments: The authors are grateful to all the collaborators, nursing homes, health centers, and participants whose cooperation and dedication made this study possible. A.M.F. received a PhD grant from “Gobierno de Aragón” (2016-2021). D.N.V. received a grant from “Gobierno de Aragón” (DGAIU/1/20). A.F.G. received a grant from the Spanish Government (BES-2017-081402).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

1. World Health Organization. *World Report on Ageing And Health*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2015.
2. Rodríguez-Mañas, L.; Fried, L.P. Frailty in the clinical scenario. *Lancet* **2015**, *385*, e7–e9. [[CrossRef](#)]
3. Bouaziz, W.; Lang, P.O.; Schmitt, E.; Kaltenbach, G.; Geny, B.; Vogel, T. Health benefits of multicomponent training programmes in seniors: A systematic review. *Int. J. Clin. Pract.* **2016**, *70*, 520–536. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Klein, B.E.K.; Klein, R.; Knudtson, M.D.; Lee, K.E. Frailty, morbidity and survival. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2005**, *41*, 141–149. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Angulo, J.; El Assar, M.; Bustos, A.Á.; Rodríguez-Mañas, L. Physical activity and exercise: Strategies to manage frailty. *Redox Biol.* **2020**, 101513. [[CrossRef](#)]
6. Farr, J.N.; Khosla, S. Skeletal changes through the lifespan—From growth to senescence. *Nat. Rev. Endocrinol.* **2015**, *11*, 513–521. [[CrossRef](#)]
7. Siris, E.S.; Adler, R.; Bilezikian, J.; Bolognese, M.; Dawson-Hughes, B.; Favus, M.J.; Harris, S.T.; Jan de Beur, S.M.; Khosla, S.; Lane, N.E.; et al. The clinical diagnosis of osteoporosis: A position statement from the National Bone Health Alliance Working Group. *Osteoporos. Int.* **2014**, *25*, 1439–1443. [[CrossRef](#)]
8. Li, G.; Thabane, L.; Papaioannou, A.; Ioannidis, G.; Levine, M.A.H.; Adachi, J.D. An overview of osteoporosis and frailty in the elderly. *BMC Musculoskelet. Disord.* **2017**, *18*, 46. [[CrossRef](#)]
9. Santos, L.; Elliott-Sale, K.J.; Sale, C. Exercise and bone health across the lifespan. *Biogerontology* **2017**, *18*, 931–946. [[CrossRef](#)]
10. Gómez-Cabello, A.; Ara, I.; González-Agüero, A.; Casajús, J.A.; Vicente-Rodríguez, G. Effects of Training on Bone Mass in Older Adults. *Sports Med.* **2012**, *42*, 301–325. [[CrossRef](#)]
11. Cauley, J.A.; Giangregorio, L. Physical activity and skeletal health in adults. *Lancet Diabetes Endocrinol.* **2020**, *8*, 150–162. [[CrossRef](#)]
12. Marín-Cascales, E.; Alcaraz, P.E.; Ramos-Campo, D.J.; Rubio-Arias, J.A. Effects of multicomponent training on lean and bone mass in postmenopausal and older women: A systematic review. *Menopause* **2018**, *25*, 346–356. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

13. Weaver, C.M.; Gordon, C.M.; Janz, K.F.; Kalkwarf, H.J.; Lappe, J.M.; Lewis, R.; O’Karma, M.; Wallace, T.C.; Zemel, B.S. The National Osteoporosis Foundation’s position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: A systematic review and implementation recommendations. *Osteoporos. Int.* **2016**, *27*, 1281–1386. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Halfon, M.; Phan, O.; Teta, D. Vitamin D: A review on its effects on muscle strength, the risk of fall, and frailty. *BioMed Res. Int.* **2015**, *2015*, 953241. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Wang, H.; Chen, W.; Li, D.; Yin, X.; Zhang, X.; Olsen, N.; Zheng, S.G. Vitamin D and Chronic Diseases. *Aging Dis.* **2017**, *8*, 346–353. [[CrossRef](#)]
16. Gonzalez-Molero, I.; Morcillo, S.; Valdes, S.; Perez-Valero, V.; Botas, P.; Delgado, E.; Hernandez, D.; Olveira, G.; Rojo, G.; Gutierrez-Repiso, C.; et al. Vitamin D deficiency in Spain: A population-based cohort study. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2011**, *65*, 321–328. [[CrossRef](#)]
17. Olmos, J.M.; Hernandez, J.L.; Garcia-Velasco, P.; Martinez, J.; Llorca, J.; Gonzalez-Macias, J. Serum 25-hydroxyvitamin D, parathyroid hormone, calcium intake, and bone mineral density in Spanish adults. *Osteoporos. Int.* **2016**, *27*, 105–113. [[CrossRef](#)]
18. Palacios, C. The role of nutrients in bone health, from A to Z. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* **2006**, *46*, 621–628. [[CrossRef](#)]
19. Treacy, D.; Hassett, L. The Short Physical Performance Battery. *J. Physiother.* **2018**, *64*, 61. [[CrossRef](#)]
20. Lopez-Rodriguez, C.; Laguna, M.; Gomez-Cabello, A.; Gusi, N.; Espino, L.; Villa, G.; Pedrero-Chamizo, R.; Casajus, J.A.; Ara, I.; Aznar, S. Validation of the self-report EXERNET questionnaire for measuring physical activity and sedentary behavior in elderly. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2017**, *69*, 156–161. [[CrossRef](#)]
21. Lawton, M.P.; Brody, E.M. Assessment of Older People: Self-Maintaining and Instrumental Activities of Daily Living1. *Gerontologist* **1969**, *9*, 179–186. [[CrossRef](#)]
22. Mahoney, F.I. Functional evaluation: The Barthel index. *Md. State Med. J.* **1965**, *14*, 61–65. [[PubMed](#)]
23. Guigoz, Y.; Vellas, B.; Garry, P.J. Assessing the nutritional status of the elderly: The Mini Nutritional Assessment as part of the geriatric evaluation. *Nutr. Rev.* **1996**, *54*, S59–S65. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Schroder, H.; Fito, M.; Estruch, R.; Martinez-Gonzalez, M.A.; Corella, D.; Salas-Salvado, J.; Lamuela-Raventos, R.; Ros, E.; Salaverria, I.; Fiol, M.; et al. A short screener is valid for assessing Mediterranean diet adherence among older Spanish men and women. *J. Nutr.* **2011**, *141*, 1140–1145. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Fernandez-Ballart, J.D.; Pinol, J.L.; Zazpe, I.; Corella, D.; Carrasco, P.; Toledo, E.; Perez-Bauer, M.; Martinez-Gonzalez, M.A.; Salas-Salvado, J.; Martin-Moreno, J.M. Relative validity of a semi-quantitative food-frequency questionnaire in an elderly Mediterranean population of Spain. *Br. J. Nutr.* **2010**, *103*, 1808–1816. [[CrossRef](#)]
26. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* **2013**, *310*, 2191–2194. [[CrossRef](#)]
27. Fernández-García, Á.I.; Gómez-Cabello, A.; Moradell, A.; Navarrete-Villanueva, D.; Pérez-Gómez, J.; Ara, I.; González-Gross, M.; Subías-Perié, J.; Muniz-Pardos, B.; Jose, A.; et al. How to improve the functional capacity of frail and pre-frail elderly people? Health, nutritional status and exercise intervention. The EXERNET-Elder 3.0 project. *Sustainability* **2020**, *12*, 6246.
28. Stagi, S.; Cavalli, L.; Cavalli, T.; de Martino, M.; Brandi, M.L. Peripheral quantitative computed tomography (pQCT) for the assessment of bone strength in most of bone affecting conditions in developmental age: A review. *Ital. J. Pediatr.* **2016**, *42*, 88. [[CrossRef](#)]
29. Gonzalez-Aguero, A.; Vicente-Rodriguez, G.; Gomez-Cabello, A.; Casajus, J.A. Cortical and trabecular bone at the radius and tibia in male and female adolescents with Down syndrome: A peripheral quantitative computed tomography (pQCT) study. *Osteoporos. Int.* **2013**, *24*, 1035–1044. [[CrossRef](#)]
30. Blew, R.M.; Lee, V.R.; Farr, J.N.; Schiferl, D.J.; Going, S.B. Standardizing evaluation of pQCT image quality in the presence of subject movement: Qualitative versus quantitative assessment. *Calcif. Tissue Int.* **2014**, *94*, 202–211. [[CrossRef](#)]
31. Martin-Moreno, J.M.; Boyle, P.; Gorgojo, L.; Maisonneuve, P.; Fernandez-Rodriguez, J.C.; Salvini, S.; Willett, W.C. Development and validation of a food frequency questionnaire in Spain. *Int. J. Epidemiol.* **1993**, *22*, 512–519. [[CrossRef](#)]
32. Moreiras, O.; Carbajal, A.; Cabrera, L.; Cuadrado, C. *Tablas de Composición de los Alimentos; GUÍA de Prácticas*; Ediciones Pirámide: Madrid, Spain, 2015.










33. Mataix, J. *Tabla de Composición de Alimentos*, 5th ed.; Universidad de Granada: Granada, Spain, 2009.
34. Cohen, J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*; Academic press: Cambridge, MA, USA, 2013; ISBN 1483276481.
35. Chen, H.; Zhou, X.; Fujita, H.; Onozuka, M.; Kubo, K.-Y. Age-Related Changes in Trabecular and Cortical Bone Microstructure. *Int. J. Endocrinol.* **2013**, *2013*, 213234. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Tolomio, S.; Ermolao, A.; Lalli, A.; Zaccaria, M. The Effect of a Multicomponent Dual-Modality Exercise Program Targeting Osteoporosis on Bone Health Status and Physical Function Capacity of Postmenopausal Women. *J. Women Aging* **2010**, *22*, 241–254. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Karinkanta, S.; Heinonen, A.; Sievänen, H.; Uusi-Rasi, K.; Pasanen, M.; Ojala, K.; Fogelholm, M.; Kannus, P. A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: Randomized, controlled trial. *Osteoporos. Int.* **2007**, *18*, 453–462. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
38. Marín-Cascales, E.; Alcaraz, P.E.; Rubio-Arias, J.A. Effects of 24 Weeks of Whole Body Vibration Versus Multicomponent Training on Muscle Strength and Body Composition in Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Trial. *Rejuvenation Res.* **2017**, *20*, 193–201. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
39. Vicente-Rodríguez, G.; Ezquerro, J.; Mesana, M.I.; Fernández-Alvira, J.M.; Rey-López, J.P.; Casajus, J.A.; Moreno, L.A. Independent and combined effect of nutrition and exercise on bone mass development. *J. Bone Miner. Metab.* **2008**, *26*, 416–424. [[CrossRef](#)]
40. Julián-Almárcegui, C.; Gómez-Cabello, A.; Huybrechts, I.; González-Agüero, A.; Kaufman, J.M.; Casajús, J.A.; Vicente-Rodríguez, G. Combined effects of interaction between physical activity and nutrition on bone health in children and adolescents: A systematic review. *Nutr. Rev.* **2015**, *73*, 127–139. [[CrossRef](#)]
41. Laskou, F.; Dennison, E. Interaction of Nutrition and Exercise on Bone and Muscle. *Eur. Endocrinol.* **2019**, *15*, 11–12. [[CrossRef](#)]
42. Klein, W.M.P.; Jacobsen, P.B.; Helzlsouer, K.J. Alcohol and cancer risk: Clinical and research implications. *JAMA* **2020**, *323*, 23–24. [[CrossRef](#)]
43. Luo, Z.; Liu, Y.; Liu, Y.; Chen, H.; Shi, S.; Liu, Y. Cellular and molecular mechanisms of alcohol-induced osteopenia. *Cell. Mol. Life Sci. CMLS* **2017**, *74*, 4443–4453. [[CrossRef](#)]
44. Järvinen, R.; Tuppurainen, M.; Erkkilä, A.T.; Penttinen, P.; Kärkkäinen, M.; Salovaara, K.; Jurvelin, J.S.; Kröger, H. Associations of dietary polyunsaturated fatty acids with bone mineral density in elderly women. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2012**, *66*, 496–503. [[CrossRef](#)]
45. Virtanen, J.K.; Mozaffarian, D.; Willett, W.C.; Feskanich, D. Dietary intake of polyunsaturated fatty acids and risk of hip fracture in men and women. *Osteoporos. Int.* **2012**, *23*, 2615–2624. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Navarro-Valverde, C.; Caballero-Villarraso, J.; Mata-Granados, J.M.; Casado-Díaz, A.; Sosa-Henríquez, M.; Malouf-Sierra, J.; Nogués-Solán, X.; Rodríguez-Mañas, L.; Cortés-Gil, X.; Delgadillo-Duarte, J.; et al. High Serum Retinol as a Relevant Contributor to Low Bone Mineral Density in Postmenopausal Osteoporotic Women. *Calcif. Tissue Int.* **2018**, *102*, 651–656. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. Tanumihardjo, S.A. Vitamin A and bone health: The balancing act. *J. Clin. Densitom. Off. J. Int. Soc. Clin. Densitom.* **2013**, *16*, 414–419. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. de Jonge, E.A.L.; Kieft-de Jong, J.C.; Campos-Obando, N.; Boonj, L.; Franco, O.H.; Hofman, A.; Uitterlinden, A.G.; Rivadeneira, F.; Zillikens, M.C. Dietary vitamin A intake and bone health in the elderly: The Rotterdam Study. *Eur. J. Clin. Nutr.* **2015**, *69*, 1360–1368. [[CrossRef](#)]
49. Uusi-Rasi, K.; Patil, R.; Karinkanta, S.; Kannus, P.; Tokola, K.; Lamberg-Allardt, C.; Sievänen, H. Exercise and Vitamin D in Fall Prevention Among Older Women: A Randomized Clinical Trial. *JAMA Intern. Med.* **2015**, *175*, 703–711. [[CrossRef](#)]
50. Uusi-Rasi, K.; Patil, R.; Karinkanta, S.; Kannus, P.; Tokola, K.; Lamberg-Allardt, C.; Sievänen, H. A 2-Year Follow-Up After a 2-Year RCT with Vitamin D and Exercise: Effects on Falls, Injurious Falls and Physical Functioning Among Older Women. *J. Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2017**, *72*, 1239–1245. [[CrossRef](#)]
51. Bruyère, O.; Cavalier, E.; Buckinx, F.; Reginster, J.-Y. Relevance of vitamin D in the pathogenesis and therapy of frailty. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **2017**, *20*, 26–29. [[CrossRef](#)]



5.4. Artículo IV

Article

Effects of a Multicomponent Exercise Program, a Detraining Period and Dietary Intake Prediction of Body Composition of Frail and Pre-Frail Older Adults from the EXERNET Elder 3.0 Study

Ana Moradell ^{1,2,3,4} , David Navarrete-Villanueva ^{1,2,3,5}, Ángel Iván Fernández-García ^{1,2,3,4} , Lucía Sagarra-Romero ^{6,7} , Jorge Marín-Puyalto ^{1,2,3}, Jorge Pérez-Gómez ⁸ , Eva Gesteiro ^{3,9} , Ignacio Ara ^{10,11} , Jose Antonio Casajus ^{1,2,3,5,12} , Alba Gómez-Cabello ^{1,2,3,4,12,13}  and Germán Vicente-Rodríguez ^{1,2,3,4,12,*} 

- ¹ GENUD (Growth, Exercise, NUtrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; amoradell@unizar.es (A.M.); dnavarrete@unizar.es (D.N.-V.); angelivanfg@unizar.es (Á.I.F.-G.); jmarinp@unizar.es (J.M.-P.); joseant@unizar.es (J.A.C.); agomez@unizar.es (A.G.-C.)
- ² Instituto Agroalimentario de Aragón, CITA-Universidad de Zaragoza, 50059 Zaragoza, Spain
- ³ Red Española de Investigación en Ejercicio Físico y Salud en Poblaciones Especiales (EXERNET), 50009 Zaragoza, Spain; eva.gesteiro@upm.es
- ⁴ Department of Psychiatry and Nursing, Faculty of Health and Sport Science (FCSD), University of Zaragoza, Ronda Misericordia 5, 22001 Huesca, Spain
- ⁵ Department of Psychiatry and Nursing, Faculty of Health, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
- ⁶ Faculty of Health Science, Universidad San Jorge, 50830 Zaragoza, Spain; lsagarra@usj.es
- ⁷ Hospital General San Jorge, 2204 Huesca, Spain
- ⁸ HEME (Health, Economy, Motricity and Education) Research Group, Faculty of Sport Science, University of Extremadura, 10003 Cáceres, Spain; jorgepg100@unex.com
- ⁹ ImFine Research Group, Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain
- ¹⁰ GENUD Toledo Research Group, Universidad de Castilla-La Mancha, 13001 Ciudad Real, Spain; ignacio.ara@uclm.es
- ¹¹ Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), 28029 Madrid, Spain
- ¹² Centro de Investigación Biomédica en Red de Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición (CIBEROBn), 28029 Madrid, Spain
- ¹³ Centro Universitario de la Defensa, 50090 Zaragoza, Spain
- * Correspondence: gervicen@unizar.es; Tel.: +34-876-55-37-56

Received: 30 September 2020; Accepted: 23 November 2020; Published: 26 November 2020



Abstract: The aging of humans is associated with body composition and function deterioration creating a burden on an individual level, but also on a societal one, resulting in an economic burden that is socially unsustainable. This study aimed to evaluate changes in body composition after a 6-month MCT (multicomponent training) and a 4-month detraining period, and to examine the possible influence of energy and macronutrient intake in these changes in frail and pre-frail older adults. A total of 43 participants from the training group (TRAIN) and 28 controls (CON) completed the study protocol. Body weight, body mass index (BMI), waist and hip circumferences, fat mass, fat free mass and fat mass percentage were recorded, with a bio-electrical impedance analyzer, at baseline, after 6 months and four months after finishing the MCT. A food frequency questionnaire was used to estimate energy intake. Mixed effect models did not show differences between groups. CON showed increases in hip circumference and waist (3.20 ± 1.41 and 3.06 ± 1.66 cm, respectively) during the first 6 months. TRAIN showed decreases in BMI (-0.29 ± 0.14), fat mass (-0.86 ± 0.38 kg), body fat percentage ($-0.98 \pm 0.36\%$) and increases in waist circumference (3.20 ± 1.41). After detraining, TRAIN group showed increases in fat mass (1.07 ± 0.30 kg), body fat percentage ($1.43 \pm 0.31\%$) and waist (3.92 ± 1.38 cm), and decreases in fat free mass (-0.90 ± 0.30 kg). CON group only showed an increase

in body fat ($1.32 \pm 0.47\%$). Energy intake was negatively associated with hip circumference in the first six months and fat mass during detraining in CON. Energy intake showed positive associations with fat mass in TRAIN during detraining. Only carbohydrates were negatively related to detraining changes in fat free mass and BMI in CON. In conclusion, the MCT reduces adiposity of frail and pre-frail older people, leading to a maintenance of fat free mass. In addition, these interventions should not be stopped in this population in order to improve health sustainability.

Keywords: frailty; adiposity; exercise; obesity; sarcopenia; energy intake

1. Introduction

The aging is associated with disease chronification and function deterioration placing a burden on an individual level, but also on a societal one, resulting in an economic burden that may be socially unsustainable. The ageing process is intrinsically associated with a wide variety of changes, including those related to body composition. Different factors work together leading to an increased fat mass (FM), decreased muscle mass and changes in body weight among seniors [1]. These changes are associated with an increased risk of suffering several pathologies and health problems, such as obesity, sarcopenia, sarcopenic obesity [1], metabolic syndrome [2], or even frailty. As those changes are related to a higher risk of hospitalization and adverse health outcomes, finding strategies to prevent them would drastically reduce healthcare costs [3].

Frailty in older people is a common clinical syndrome that involves an increased risk of poor health outcomes including falls, incident disability, hospitalization, and mortality [4]. Pre-frail identifies a subset at high risk of progressing to frailty and a potentially reversible condition before onset of established frailty [4]. Based on the current literature, observational studies have shown that body composition may have an important role in the risk and development of frailty in older adults. Specifically, Reinders et al. found that obesity and high waist circumference showed convincing results pointing towards an association with frailty [5]. Moreover, the phenotypic profile of frail older people is characterized by low muscle mass and a sarcopenic situation [5,6].

Specific exercise training programs, as well as physical activity, have been reported as one of the best non-pharmacological ways to improve health-related factors throughout life, including body composition parameters [7]. However, different types of training may lead to distinct health and body composition benefits, and not all populations may respond in the same way [8,9]. Nowadays, multicomponent training (MCT) programs are one of the most common interventions to improve health and body composition carried out in older people [10]. In this regard, a systematic review demonstrated that MCT positively impacts cardiorespiratory fitness, serum lipid profile, body composition, functional abilities, contributes to reduce the risk of falling and consequent hospitalizations [10]. Nevertheless, the effects of MCT on body composition of frail older adults have been investigated to a lesser extent and results are still controversial [11]. This fact may be partially explained by the wide differences in the methodologies followed among studies or by the mediation of important variables, such as those related with nutritional aspects. In this regard, energy imbalance and macronutrient distribution [12] induces changes in body composition [13] and, therefore, nutrition should be a factor to be considered in these studies in order to elucidate the real effects of this type of intervention on the body composition of frail older adults.

While many studies have focused on the effects of exercise in older people, it is still unclear if the interruption of training can reverse the health benefits obtained during the training program. Esain et al. reported an important decline in quality of life of older people following a 3-month detraining period [14]. In relation to body composition, there is no scientific evidence about the effects of a detraining period following a training program in this special population. Based on this scenario,

it may be interesting to design useful and plausible strategies to prevent or at least attenuate the return to pre-training conditions among elders.

Therefore, the objectives of this study were: (1) to analyze the effects of a 6-month MCT and 4 months of detraining on the body composition of frail and pre-frail older adults, within and between groups, and (2) to examine if nutritional intake is related to the changes observed after the training and detraining periods.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design and Participants

This experimental study was carried out between 2018 and 2020 on the framework of the EXERNET-Elder 3.0 project. The complete methodology of the intervention is described in detail by Fernandez-Garcia AI, et al. [15]. Participants were recruited from three healthcare centers and three nursing homes from the city of Zaragoza, Spain. The inclusion criteria were people above 65 years categorized as frail or pre-frail according to the cut-off points of the Short Physical Performance Battery (SPPB) [16]. Those who had cancer and/or dementia were excluded. In total, 169 elders were initially derived from the centers mentioned above, and finally 110 met the inclusion criteria and were included in the sample as showed in Figure 1.

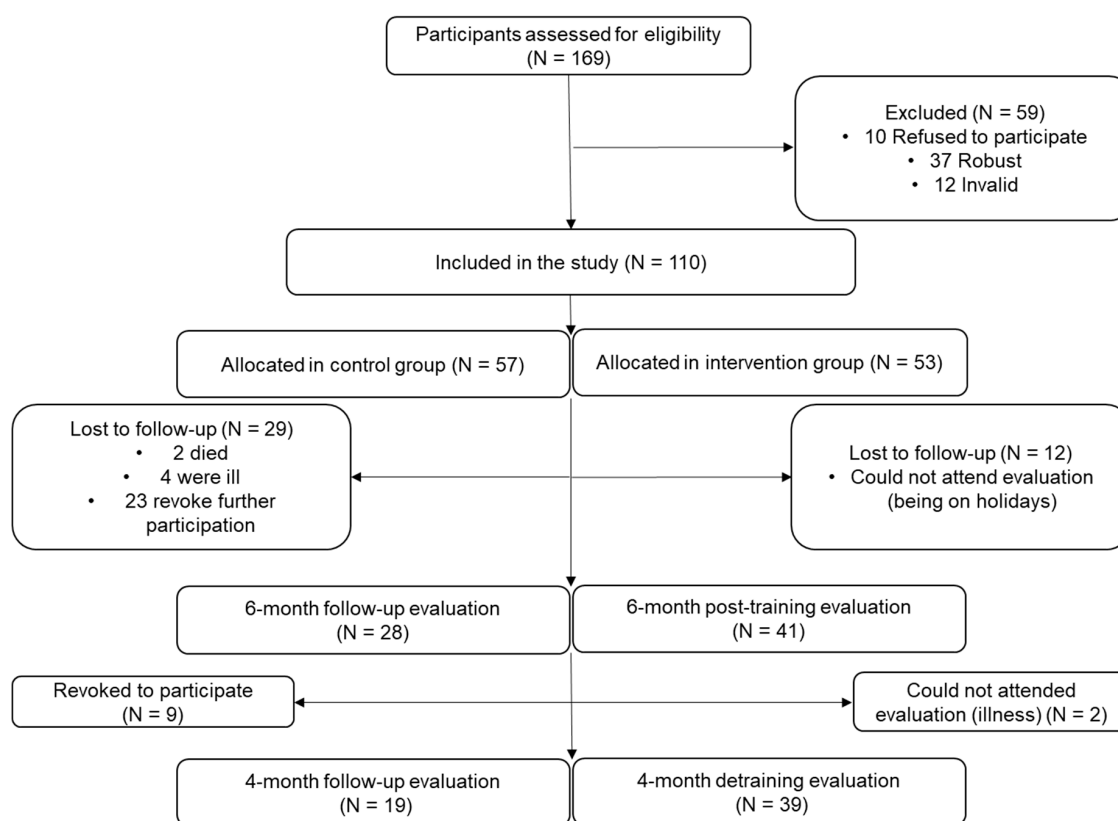


Figure 1. Flow chart of participant recruitment and follow-up.

Participants were then allocated by convenience into two groups, taking into account their preferences and availability: the control group (CON: $n = 57$; 43 females) and the training group (TRAIN: $n = 53$; 35 females). Both groups were followed at three particular occasions: after completing half MCT (3 months after the beginning), after the 6-month period lasting the MCT and 4 months later, for the evaluation of the detraining period. In this report, we have included data from the initial, the 6-month evaluation and the detraining, in order to study the final effect of MCT. Finally, 58 participants (39 TRAIN) completed the study protocol (Figure 1).

Participants of both groups (CON and TRAIN) received three talks related to healthy habits in order to improve the adherence to this study, especially in CON, during the 6-month training period. The topics of these talks were the following: “Functional capacity and frailty”, “Nutritional recommendation for older people”, “Physical exercise to improve health in older people”. Moreover, in order to encourage participation among the TRAIN group, those who attended to the highest percentage of sessions received sport equipment as an incentive.

Personal information and other health outcomes were collected through a structured questionnaire, the complete set of studied variables is available elsewhere [15]. Specifically, the variables included in this report were: mean of daily walking hours, mean of sitting daily hours [17], smoking habits, Instrumental Activities of Daily Living Scale [18], Barthel Index [19] and Mini Nutritional Assessment [20]. Afterwards, researchers performed body composition measurements and physical fitness assessments. All of these measurements were performed three times at pre-training, 6 months later at the post-training and 4 months later at the detraining. Dietary record was obtained once at the middle of the intervention timeline.

All potential participants received oral and written information about the aims, possible benefits and risks derived from participation in this study. Afterwards, written informed consent was obtained from all the included participants.

The study was performed in accordance with the Helsinki Declaration of 1961 revised in Fortaleza (2013) [21] and the current legislation of human clinical research of Spain (Law 14/2007). The study protocol was approved by the Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50). This study was registered in the electronic repository clinicaltrials.gov (reference number: NCT03831841).

2.2. The EXERNET Elder 3.0 Multicomponent Exercise Program

Detailed information about the training protocol is described elsewhere [15]. In brief, the training protocol carried out in this study consisted of an MCT of 6 months in duration. Sessions were performed on three days a week for one hour, combining exercises in order to improve endurance, strength, flexibility, balance, coordination and specific daily life activities. All sessions included 10 min of warm-up, 35–40 min of main part exercises and 10–15 min of cool down, involving flexibility, breaths control and a cognitive exercise. During the whole intervention period, there was a progression of the training load to ensure that the stimulus was appropriate to cause adaptations in the body. Moreover, each session was adapted to different levels in order to individualize exercises depending on participant’s characteristics and frailty status. Exercise groups were composed by 8–16 elders depending on the space available in the training center and all the sessions were supervised by specialized instructors complying a maximum ratio of 12 participants per instructor.

2.3. Short Physical Performance Battery (SPPB)

Physical performance and functional status were measured with the SPPB according with level of balance (ability to stand up for 10 s with feet positioned in three ways: together side-by-side, semi-tandem and tandem positions), usual gait speed (time to complete 4 m walk) and lower limb strength (time to rise 5 times from a chair). Each task was scored from 0 to 4, with 4 being the best, with a total battery score of 12 points (p) and four functional stages: dependent (<4 p), frail (4–6 p), pre-frail (7–9 p) and robust (>9 p) [16].

2.4. Anthropometric Measurements

Training workshops were organized to harmonize the assessment of anthropometric measurements before starting the study.

2.4.1. Height

A portable stadiometer with 2.10 m maximum capacity and 1 mm error margin (Seca, Hamburgo, Germany) was used to measure height. Subjects stood barefoot with their scapula, buttocks and heels resting against a wall; the neck was held in a natural non-stretched position; the heels were touching

each other with the toe tips spread to form a 45° angle; and the head was held straight with the inferior orbital border in the same horizontal plane as the external auditory tube (Frankfort's plane).

2.4.2. Waist and Hip Circumference

Waist circumference was taken at the level of the narrowest point between the lower costal border and the iliac crest. In case it was not appreciated, measure was taken between these points. Hip circumference was measured at the level of the greatest posterior protuberance of the buttocks. Both perimeters were taken using a flexible non-elastic measuring tape Rosscraft Anthrotape (Rosscraft Innovations Inc., Vancouver, BC, Canada). All anthropometrics were performed by International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) accredited researchers following its standards [22]. Measures were performed twice, and the mean was calculated. If there were incongruences between the first two evaluations, a third measure was done, and the median was calculated.

2.5. Body Composition Measurements

A body composition analyzer based on Bio-Electrical Impedance Analysis (BIA) with 200 kg maximum capacity and 50 g error margin (TANITA BC-418MA, Tanita Corp., Tokyo, Japan) was used to measure the body weight (kg) and to estimate the body FM, the percentage of body fat (BF%) and the fat-free mass (FFM). Participants removed their shoes and heavy clothes before weighing. Body mass index (BMI) was calculated dividing weight (kg) by squared height (m²). All measurements were performed at same hour and same conditions for all participants and evaluations.

2.6. Dietary Intake

A semiquantitative food-frequency questionnaire previously validated in Spain [23,24] was used to assess dietary intake. It was evaluated in the middle of the intervention timeline, just before the third month of intervention. The questionnaire included 137 items showing their typical portion size. Daily intake was calculated by multiplying the portion size by the frequency of consumption (nine options ranging from never/almost never to six times or more per day). Nutrient intake was estimated using Spanish food composition tables and other sources of information [25,26]. Variables considered in this study were the total consumption of kilocalories per day (Kcal/day) and carbohydrate, fat and protein percentages of the total intake (%).

2.7. Statistical Analysis

The Statistical Package for the Social Sciences v. 20.0 for Windows (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA) was used to analyze the data. Normality of the sampling distribution was proved using the Shapiro–Wilk test. Statistical significance was set at level $p < 0.05$ in all tests. As age was not correlated with any changes found in body composition, it was not used as a covariate in any of the analyses.

Descriptive data are reported as mean and standard deviation (SD), number of participants (n) or percentage (%), according to the nature of each variable.

Mixed effect model analyses were performed to compare differences in changes during training, de-training and between pre-training and de-training, within and between groups. As no sex by time interaction was found for any variable, these analyses were carried out with men and women pooled together. Changes in body composition variables were calculated by subtracting post-intervention values minus baseline values. The same process was done to obtain changes between post-intervention and post-detraining, and pre-intervention-and post-detraining for all variables.

Afterwards, simple linear regression analyses were performed to estimate the contribution of daily intake (independent variables) on body composition changes (dependent variables) during training and detraining periods in both groups. Specifically, one linear regression analysis was performed with each independent variable for each dependent variable.

3. Results

Adherence to training averaged $83.2 \pm 10.6\%$. There were no adverse effects and no health problems due to the MCT in the TRAIN group over the 6-month intervention period. The final sample included a total of 71 participants (28 CON (21 females) and 43 TRAIN (30 females)). Descriptive characteristics of the groups at baseline are shown in Table 1.

Table 1. Baseline descriptive characteristics of the sample.

Characteristic	Control (<i>n</i> = 57)	Training (<i>n</i> = 53)
Age (year)	80.4 ± 5.6	80.9 ± 6.1
Sex		
Male	14 (24.6)	18 (34.0)
Female	43 (75.4)	35 (66.0)
SPPB-Frailty status		
Frail	16 (28.1)	14 (26.4)
Pre-frail	41 (71.9)	39 (73.6)
Walking hours per day	1.13 ± 0.9	1.9 ± 1.4
Sitting hours	6.3 ± 2.3	6.2 ± 3.0
Smoke		
Yes	4 (7.0)	1 (1.9)
No	51 (89.5)	52 (98.1)
IADL groups		
Moderate dependence	10 (17.5)	5 (9.4)
Mild dependence	9 (15.8)	14 (26.4)
Completely autonomy	38 (66.6)	34 (64.1)
Barthel Index		
Moderate dependent	1 (1.7)	0 (0.0)
Mild dependent	28 (49.1)	20 (37.7)
Independent	28 (49.1)	33 (62.2)
MNA		
Malnourished	6 (11.3)	2 (4.0)
At risk of malnutrition	12 (22.6)	14 (28.0)
Normal nutritional status	35 (66.0)	34 (68.0)

Number of participants of the sample (*n*) and % per group for categorical variables; mean and standard deviation (S.D.) for continuous variables. SPPB: Short Physical Performance Battery; IADL: Lawton instrumental activities of daily living. MNA: Mini Nutritional Assessment.

Effects of the Exercise Program and the Detraining Period on Body Composition

Table 2 shows differences in changes between and within groups at the three evaluations.

Table 2. Body composition changes in control and training groups between pre-training, post-training and post-detraining periods.

	6 Months Training			4 Months Detraining			Total 10 Months		
	CON (n = 28)	TRAIN (n = 43)	<i>p</i> Value	CON (n = 19)	TRAIN (n = 39)	<i>p</i> Value	CON (n = 17)	TRAIN (n = 43)	<i>p</i> Value
Weight (kg)	-0.03 ± 0.40	-0.57 ± 0.33	0.278	0.26 ± 0.35	0.14 ± 0.24	0.691	0.14 ± 0.61	-0.61 ± 0.39	0.309
BMI (kg/m ²)	-0.07 ± 0.18	-0.29 ± 0.14 *	0.246	0.19 ± 0.15	0.06 ± 0.10	0.570	0.01 ± 0.29	-0.23 ± 0.18	0.496
FM (kg)	-0.20 ± 0.42	-0.86 ± 0.38 *	0.180	0.39 ± 0.53	1.07 ± 0.30 *	0.421	0.59 ± 0.53	0.11 ± 0.33	0.447
FFM (kg)	0.13 ± 0.38	0.43 ± 0.30	0.511	-0.64 ± 0.39	-0.90 ± 0.30 *	0.618	-0.40 ± 0.42	-0.75 ± 0.26 *	0.491
BF%	-0.18 ± 0.45	-0.98 ± 0.36 *	0.144	1.32 ± 0.47 *	1.43 ± 0.31 *	0.895	0.84 ± 0.56	0.50 ± 0.35	0.606
Waist Cir (cm)	3.20 ± 1.41 *	3.04 ± 1.15 *	0.787	0.51 ± 2.07	3.92 ± 1.38 *	0.184	4.08 ± 0.95	5.08 ± 1.04	0.487
Hip Cir (cm)	3.06 ± 1.22 *	1.66 ± 0.85	0.252	-0.50 ± 0.81	-1.06 ± 0.55	0.719	1.80 ± 1.38	1.26 ± 0.82	0.736

Mean differences and standard deviation reported for each body composition variable. Statistical significance was established at <0.05. BMI: body mass index, FM: fat mass, FFM: fat free mass, BF%: body fat mass percentage, Cir: circumference. * Statistical significance within groups over time. *p* values describe differences between groups.

CON group showed increase in time for hip circumference, from 103.0 to 107.0 cm and an increase in waist circumference from 92.5 to 95.8 cm during the first 6 months corresponding to the training period (both $p < 0.05$). Afterwards, during 4 months of detraining, this group showed a statistical increase in body fat mass percentage (BF%) (from 39.0 to 40.3% ($p > 0.05$)).

The TRAIN group showed statistical decreases for BMI (from 29.4 to 29.0), FM (from 28.8 to 27.8 kg), BF% (from 38.2 to 37.2%) (all $p < 0.05$). Moreover, this group also showed increases during the training period in waist circumference (from 94.4 to 97.1 cm; $p < 0.05$). The 4-month detraining period resulted in TRAIN group increases in FM (from 27.8 to 28.9 kg), BF% (from 37.2 to 38.7%) and in waist circumference (from 97.1 to 99.0 cm); as well as a decrease in FFM (from 45.9 to 45.0 kg; $p < 0.05$). When pre-training and post-detraining was compared, a decrease in TRAIN group for FFM was observed (from 45.6 to 45.0 kg). No other variables showed statistical significance when compared these last evaluations ($p > 0.05$).

No differences were found between groups neither at baseline nor in the post-training or post-detraining evaluations (all $p > 0.05$).

In CON, total energy was positively associated with hip circumference during the training period. In addition, total energy intake was negatively associated with changes observed in FM and BF% during detraining. Moreover, in this group, carbohydrates were also negatively associated with changes during detraining in BMI and FFM. In TRAIN, positive associations between total energy intake and FM and BF% were found. No other variables related to macronutrient distribution were related to the variation of any body composition parameters neither during the training period nor in the detraining for any of the groups, as shown in Table 3 (all $p > 0.05$).

Table 3. Energy and macronutrient intake body composition predictive values in control and training groups.

		CONTROL								TRAINING							
		Training (n = 28)				Detraining (n = 19)				Training (n = 41)				Detraining (n = 39)			
		Total Energy (kcal)	CH (%)	Fat (%)	Prot (%)	Total Energy (kcal)	CH (%)	Fat (%)	Prot (%)	Total Energy (kcal)	CH (%)	Fat (%)	Prot (%)	Total Energy (kcal)	CH (%)	Fat (%)	Prot (%)
Weigh (kg)	β standardized	−0.081	0.127	−0.122	0.046	−0.048	−0.377	0.321	0.022	−0.005	−0.104	0.149	−0.166	0.108	0.074	−0.220	0.269
	p value	0.653	0.482	0.499	0.801	0.824	0.069	0.127	0.918	0.974	0.495	0.328	0.275	0.506	0.649	0.172	0.093
BMI (kg/m²)	β standardized	−0.058	0.166	−0.166	0.012	−0.063	−0.513	0.395	0.166	0.108	−0.116	0.178	−0.190	0.029	0.090	−0.300	0.461
	p value	0.769	0.399	0.399	0.953	0.792	0.021	0.085	0.484	0.538	0.507	0.306	0.274	0.874	0.618	0.090	0.007
FM (kg)	β standardized	0.182	0.288	0.106	−0.023	−0.476	0.077	−0.125	0.017	−0.147	−0.202	−0.099	−0.169	0.338	−0.101	0.099	−0.070
	p value	0.327	0.116	0.571	0.904	0.019	0.719	0.561	0.938	0.347	0.194	0.526	0.278	0.035	0.542	0.550	0.671
FFM (kg)	β standardized	−0.252	−0.191	−0.209	−0.006	0.320	−0.459	−0.209	0.016	0.001	0.186	0.147	0.053	−0.204	0.068	−0.220	0.313
	p value	0.171	0.304	0.259	0.974	0.128	0.024	0.259	0.940	0.515	0.232	0.347	0.736	0.212	0.679	0.178	0.052
BF%	β standardized	0.182	−0.191	0.106	−0.203	−0.529	0.321	0.002	−0.341	−0.147	0.186	−0.099	−0.169	0.330	−0.136	0.187	−0.172
	p value	0.327	0.304	0.571	0.904	0.008	0.126	0.991	0.103	0.347	0.232	0.526	0.278	0.040	0.408	0.262	0.294
Waist Cir (cm)	β standardized	0.058	−0.018	0.063	−0.083	0.299	0.100	−0.089	−0.028	0.038	−0.107	0.210	−0.167	0.041	0.211	−0.236	0.098
	p value	0.780	0.930	0.761	0.688	0.166	0.649	0.687	0.901	0.832	0.533	0.242	0.353	0.798	0.184	0.138	0.543
Hip Cir (cm)	β standardized	−0.436	0.245	0.106	−0.093	0.113	−0.239	0.258	−0.132	0.074	0.303	−0.099	−0.093	−0.077	−0.226	0.184	0.138
	p value	0.048	0.284	0.571	0.688	0.617	0.285	0.245	0.557	0.670	0.072	0.526	0.590	0.643	0.166	0.262	0.401

BMI: body mass index; FM: fat mass; FFM; fat free mass; BF%: body fat mass percentage; Cir: circumference; CH: carbohydrates; Prot: protein. Statistical significance, established at <0.05.

4. Discussion

The main findings of this study are that: (1) the MCT led to a reduction in adiposity and a maintenance of fat-free mass after 6 months in frail and pre-frail older people while no significant changes were observed in body composition in the CON; (2) 4 months of detraining after the MCT led to increases in adiposity and decreases in fat-free mass compared to values observed after MCT; and (3) energy intake showed different associations with changes in FM and BF% in CON and TRAIN, while carbohydrate distribution had a negative relationship with changes in BMI and FFM during detraining in CON.

The effects of multicomponent exercise programs on physical function of pre-frail and frail people have been analyzed in depth through a specific systematic review [27]; however, possible improvements in body composition have been less studied, especially in this specific population. In our study, a 6-month MCT reduced BMI, FM and BF%. In line with these findings, other authors also found significant changes [28–30], while results of Sousa et al. did not observe any changes in these variables [31]. Even in our study, frail and pre-frail older adults did not improve significantly their muscle mass after the 6-month intervention period, they may experience some benefits in muscle strength and function (unpublished data), probably because MCT causes neuromuscular adaptations improving muscle quality but not muscle mass [32], at least at this intensity and program duration. Studies mentioned above found improvements in muscle mass after this type of intervention, but they used dual-energy x-ray absorptiometry or computed tomography devices that could be more sensitive than BIA in detecting muscle changes after short training periods. Specifically, changes observed with these techniques were in appendicular lean mass [28], cross sectional muscle area and muscle fat-infiltration [30,33]. Moreover, our MCT was not specifically designed to improve body composition as its main objective was to improve functional capacity. In this regard, the use of repetition maximum (RM) as the optimal method to improve muscle mass in frail participants has been established [34]. However, we considered that to measure RM for all specific muscles involved in each exercise would not be useful for the replication in a real setting.

Some other reasons are proposed to explain why we found changes within groups, although our MCT did not improve body composition in TRAIN when compared to CON. One reason for this similar trend in both groups was our health-related talks. They were specially performed to improve adherence in CON and could be useful in raising awareness about their lifestyles. Moreover, the fact of being evaluated approximately every 3 months could be also have influenced them. This maintenance in CON and TRAIN groups reveals the importance of developing this type of intervention in pre-frail and frail older populations in order to prevent their expected decline in body composition. Therefore, developing strategies of this nature could help improve health in older people reducing the risk of adverse events and hospitalizations. In addition, the fact of including pre-frail older adults, as in our study, could mask significant results, since frail subjects are supposed to have less muscle mass and more adiposity and, therefore, they could have greater improvements in both parameters. Moreover, other aspects such as the large differences in methodologies, sample sizes and intervention durations among studies may explain the differences found between studies, which make it difficult to draw clear conclusions about the efficiency of this type of intervention for improving body composition in this population.

Although the benefits of MCT in health-related parameters of older people have been described in recent years [10,35], it is still unknown what happens when they leave the exercise programs. To the best of our knowledge, there is no specific study about body composition parameters in detraining, so, to date, this study is pioneering. According to our results, four months are enough to induce increases in FM, BF% and waist circumference and decreases in FFM in TRAIN once the intervention is stopped. As it is well known, an excess of adiposity contributes to an array of negative health outcomes, leading to significant morbidity, disability, decreased quality of life and, in some cases, increased rates of mortality in this population [36]. Due to the latter, these findings are of great relevance.

Besides, TRAIN also showed significant decreases in fat free mass, while this change was not observed in CON. Although our MCT did not significantly increase fat-free mass after 6 months, there was a small trend of increase, which may be more appreciable with a larger intervention period or more specific strength training. Considering these results, it seems that when the exercise stimulus for muscle stops, the decreases happens faster. As preserving muscle mass during aging has been a challenge for improving health since the development of sarcopenia is highly related with poor physical function, dependence and mortality [37,38]; smaller breaks in these types of interventions should be encouraged. Moreover, when a training program is stopped, this detriment not only affects body composition, but also other values return to baseline levels such as physical function [39] and metabolic parameters [40], as other authors have stated. Adding this knowledge to the literature is necessary given that the elder population frequently stops their activities as a consequence of illness and because exercise programs often stopped for 3 months following school calendars. Moreover, the current world situation due to the global pandemic caused by COVID-19 has led to a sudden stop in exercise programs; therefore, these findings are of great interest. In order to avoid reversibility, public institutions should give more opportunities and promote regular and continued physical activity practice and specific exercise programs for elders. In addition to this, further research regarding the optimal retraining time for regaining losses might be an interesting line to improve knowledge in this area.

It should be highlighted that aging-related physiological changes in body composition are complex and are not influenced only by exercise. Factors such as time spent in sedentary activities, diet or pharmacological intake may play an important role in these changes. In this study, we aimed to examine if nutritional intake is related to the changes observed after MCT and detraining periods, as it has been related to body composition changes and physiopathologies previously named [13,41]. Parameters included in this study were total energy intake and macronutrient distribution because of their contribution in energy imbalance, their consequent effects on body composition and the relation with frailty [42]. In this way, we found that energy intake is related to an increase in FM and BF% in TRAIN during detraining. Probably it could be due to a positive energy balance which could had been compensated with a higher energy expenditure during the exercise period. Opposite, in CON this energy balance seems to have a negative association; however, other variables not considered in the analyses such as daily physical activity could be influencing the results. Quality of diet or even different distribution in macronutrients intake could also be affecting this relationship. For instance, a small consumption of carbohydrates may lead to an increase in other macronutrients such as protein intake which may be increasing FFM and consequently BMI.

Nevertheless, no associations were found with protein and other nutritional parameters with changes in body composition variables in our frail and pre-frail seniors as other authors have previously shown in a large population [43]. Thus, other dietary aspects such as food quality or dietary patters could be influential in some of these changes and should be studied in detail. In addition, it should be studied if the effects of MCT on body composition could be improved or if detrimental changes during detraining periods could be slowed down by dietary control, as new investigations are being performed combining exercise and dietary intervention or even supplementation [44]. In fact, effects of multidisciplinary strategies including nutritional education have been demonstrated that could be effective for improving not only body composition-related diseases but also costs [45].

Some limitations of this study should be mentioned. Firstly, a randomization of the sample was not possible as it was difficult to change older adult routines and some participants refused to participate in TRAIN group. Therefore, the sample was divided into CON and TRAIN groups according to the volunteers' preferences/availability in order to maximize training attendance, which is needed to elucidate the effectiveness of this MCT protocol. Analysis was not conducted under the intention to treat framework which may lead to time bias or survival bias. Even though our study has one of the largest sample sizes related to the effects on MCT in body composition of frail and pre-frail older people, it is still reduced, which could lead to a lack of statistical power, especially in dietary

intake-related analyses. Therefore, studies with larger number of participants should be developed to establish deeper conclusions. Body composition measurements in this study were made using BIA and although we have tried to standardize all measurements to avoid possible bias, this method has been criticized and its accuracy is under discussion [46]. Regarding diet, institutionalized participants follows a standardized diet, which could be hiding different results. It should be highlighted that to the best of our knowledge, our MCT is the one with the longest intervention in this topic. Even though no one in TRAIN revoked their participation and the percentage of attendance was high, it was difficult to encourage attendance for CON, which may lead to bias. Moreover, all participants (both in CON and TRAIN groups) have requested to participate again in a new phase of the project. Thus, MCT may be an effective strategy to increase exercise adherence in this population.

5. Conclusions

Our 6-month MCT seems to reduce adiposity and maintain muscle mass of frail and pre-frail older people. A detraining period of 4 months leads to an increase in adiposity and a decrease in muscle mass. Moreover, total energy intake seems to have a negative association on FM and BF% changes in TRAIN, opposite to CON. A higher percentage of carbohydrate seems to have a negative contribution in CON in FFM and BMI during the detraining. The MCT should continue as long as possible to keep the positive changes because after detraining, some of the positive changes reversed. The fact that similar results were found in CON and TRAIN groups, highlights the importance for implementing and promoting interventions including MCT in frail and pre-frail elders, as both seem to be effective to preserve body composition. Future research including nutritional interventions or focusing on the maximum period of detraining without detrimental effects on body composition could help to prevent pathologies, dependence, or the need of care and improve not only quality of life in this population but also individual and social sustainability.

Author Contributions: Conceptualization, A.M., J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R.; data curation, A.M. and J.M.-P.; formal analysis, A.M., J.M.-P. and A.G.-C.; funding acquisition, I.A., J.A.C. and G.V.-R.; investigation, A.M., D.N.-V., Á.I.F.-G., L.S.-R., J.M.-P. and A.G.-C.; methodology, A.M., J.M.-P., J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R.; project administration, J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R.; resources, A.M., D.N.-V., Á.I.F.-G., L.S.-R. and A.G.-C.; supervision, J.A.C., A.G.-C. and G.V.-R.; validation, J.P.-G., E.G. and I.A.; visualization, A.M., L.S.-R., J.P.-G., E.G. and I.A.; writing—original draft, A.M. and A.G.-C.; writing—review and editing, D.N.-V., Á.I.F.-G., L.S.-R., J.M.-P., J.P.-G., E.G., I.A., J.A.C. and G.V.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was funded by “Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza” (UZCUD2017-BIO-01) and “Ministerio de Economía, Industria y Competitividad” (DEP2016-78309-R). Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES) and FEDER funds from the European Union (CB16/10/00477).

Acknowledgments: The authors are grateful to all the collaborators, nursing homes, health centers and participants whose cooperation and dedication made this study possible. A.M. received a PhD grant from “Gobierno de Aragón” (2016–2021). D.N.-V. received a grant from “Gobierno de Aragón” (DGAIU/1/20). Á.I.F.-G received a grant from the Spanish Government (BES-2017-081402).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Gómez-Cabello, A.; Vicente-Rodríguez, G.; Vila-Maldonado, S.; Casajús, J.A.; Ara, I. Aging and body composition: The sarcopenic obesity in Spain. *Nutr. Hosp.* **2012**, *27*, 22–30. [[PubMed](#)]
2. Goodpaster, B.H.; Krishnaswami, S.; Harris, T.B.; Katsiaras, A.; Kritchevsky, S.B.; Simonsick, E.M.; Nevitt, M.; Holvoet, P.; Newman, A.B. Obesity, Regional Body Fat Distribution, and the Metabolic Syndrome in Older Men and Women. *Arch. Intern. Med.* **2005**, *165*, 777–783. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Hajek, A.; Bock, J.-O.; Saum, K.-U.; Matschinger, H.; Brenner, H.; Holleczeck, B.; Haefeli, W.E.; Heider, D.; König, H.-H. Frailty and healthcare costs—longitudinal results of a prospective cohort study. *Age Ageing* **2018**, *47*, 233–241. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

4. Xue, Q.-L. The Frailty Syndrome: Definition and Natural History. *Clin. Geriatr. Med.* **2011**, *27*, 1–15. [[CrossRef](#)]
5. Reinders, I.; Visser, M.; Schaap, L. Body weight and body composition in old age and their relationship with frailty. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **2017**, *20*, 11–15. [[CrossRef](#)]
6. São-Romão-Preto, L.; Conceição, M.D.C.D.; Figueiredo, T.M.; Mata, M.A.P.; Preto, P.M.B.; Aguilár, E.M. Frailty, body composition and nutritional status in non-institutionalised elderly. *Enfermería Clínica. (Engl. Ed.)* **2017**, *27*, 339–345. [[CrossRef](#)]
7. Kelaiditi, E.; van Kan, G.A.; Cesari, M. Frailty: Role of nutrition and exercise. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **2014**, *17*, 32–39. [[CrossRef](#)]
8. Toraman, N.F.; Şahin, G. Age responses to multicomponent training programme in older adults. *Disabil. Rehabil.* **2004**, *26*, 448–454. [[CrossRef](#)]
9. Marques, M.C.; Zajac, A.; Pereira, A.; Costa, A.M. Strength Training and Detraining in Different Populations: Case Studies. *J. Hum. Kinet.* **2011**, *29*, 7–14. [[CrossRef](#)]
10. Bouaziz, W.; Lang, P.O.; Schmitt, E.; Kaltenbach, G.; Geny, B.; Vogel, T. Health benefits of multicomponent training programmes in seniors: A systematic review. *Int. J. Clin. Pr.* **2016**, *70*, 520–536. [[CrossRef](#)]
11. De Labra, C.; Guimaraes-Pinheiro, C.; Maseda, A.; Lorenzo, T.; Millán-Calenti, J.C. Effects of physical exercise interventions in frail older adults: A systematic review of randomized controlled trials. *BMC Geriatr.* **2015**, *15*, 1–16. [[CrossRef](#)]
12. Hill, J.O.; Wyatt, H.R.; Peters, J.C. Energy Balance and Obesity. *Circuits* **2012**, *126*, 126–132. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. San-Cristobal, R.; Navas-Carretero, S.; Martínez-González, M.A.; Ordovás, J.M.; Martínez, J.A. Contribution of macronutrients to obesity: Implications for precision nutrition. *Nat. Rev. Endocrinol.* **2020**, *16*, 305–320. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Esain, I.; Rodriguez-Larrad, A.; Bidaurrezaga-Letona, I.; Gil, S.M. Health-related quality of life, handgrip strength and falls during detraining in elderly habitual exercisers. *Health Qual. Life Outcomes* **2017**, *15*, 226. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Fernández-García, Á.I.; Gómez-Cabello, A.; Moradell, A.; Navarrete-Villanueva, D.; Pérez-Gómez, J.; Ara, I.; Pedrero-Chamizo, R.; Subías-Perié, J.; Muniz-Pardos, B.; Casajús, J.A.; et al. How to Improve the Functional Capacity of Frail and Pre-Frail Elderly People? Health, Nutritional Status and Exercise Intervention. The EXERNET-Elder 3.0 Project. *Sustainability* **2020**, *12*, 6246. [[CrossRef](#)]
16. Treacy, D.; Hassett, L. The Short Physical Performance Battery. *J. Physiother.* **2018**, *64*, 61. [[CrossRef](#)]
17. López-Rodríguez, C.; Laguna, M.; Gómez-Cabello, A.; Gusi, N.; Espino, L.; Villa, G.; Pedrero-Chamizo, R.; Casajús, J.; Ara, I.; Aznar, S. Validation of the self-report EXERNET questionnaire for measuring physical activity and sedentary behavior in elderly. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2017**, *69*, 156–161. [[CrossRef](#)]
18. Lawton, M.P.; Brody, A.E.M. Assessment of Older People: Self-Maintaining and Instrumental Activities of Daily Living. *Gerontologist* **1969**, *9*, 179–186. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Mahoney, F.I.; Barthel, D.W. Functional Evaluation: The Barthel Index. *Md. State Med. J.* **1965**, *14*, 61–65. [[PubMed](#)]
20. Guigoz, P.Y.; Vellas, M.B.; Garry, P.P.J. Assessing the Nutritional Status of the Elderly: The Mini Nutritional Assessment as Part of the Geriatric Evaluation. *Nutr. Rev.* **2009**, *54*, S59–S65. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
21. World Medical Association. World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA* **2013**, *310*, 2191–2194. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
22. Marfell-Jones, M.; Olds, T.; Stewart, A.; Carter, L.T. *International Standards for Anthropometric Assessment*; International Society for the Advancement of Kinanthropometry: Potchefstroom, South Africa, 2011.
23. Martín-Moreno, J.M.; Boyle, P.; Gorgojo, L.; Maisonneuve, P.; Fernandez-Rodriguez, J.C.; Salvini, S.; Willett, W.C. Development and Validation of a Food Frequency Questionnaire in Spain. *Int. J. Epidemiol.* **1993**, *22*, 512–519. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Fernandez-Ballarh, J.D.; Pinol, J.L.; Zazpe, I.; Corella, D.; Carrasco, P.; Toledo, E.; Perez-Bauer, M.; Martinez-Gonzalez, M.; Salas-Salvado, J.; Martin-Moreno, J. Relative validity of a semi-quantitative food-frequency questionnaire in an elderly Mediterranean population of Spain. *Br. J. Nutr.* **2010**, *103*, 1808–1816. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

25. Moreiras, O.; Carbajal, A.; Cabrera, L.; Cuadrado, C. *Tablas de Composición de Los Alimentos. GUÍA de Prácticas*; Pirámide, E., Ed.; Pirámide: Madrid, Spain, 2015.
26. Mataix, J. *Tabla de Composición de Alimentos*, 5th ed.; Universidad de Granada: Granada, Spain, 2009.
27. Cadore, E.L.; Rodríguez-Mañas, L.; Sinclair, A.; Izquierdo, M. Effects of Different Exercise Interventions on Risk of Falls, Gait Ability, and Balance in Physically Frail Older Adults: A Systematic Review. *Rejuvenation Res.* **2013**, *16*, 105–114. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
28. Villareal, D.T.; Smith, G.I.; Sinacore, D.R.; Shah, K.; Mittendorfer, B. Regular Multicomponent Exercise Increases Physical Fitness and Muscle Protein Anabolism in Frail, Obese, Older Adults. *Obesity* **2011**, *19*, 312–318. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Garcia-Molina, R.; Ruíz-Grao, M.C.; García, A.N.; Reig, M.M.; Víctor, M.E.; Izquierdo, M.; Abizanda, P.; Redín, M.I.; Abizanda, P. Benefits of a multicomponent Falls Unit-based exercise program in older adults with falls in real life. *Exp. Gerontol.* **2018**, *110*, 79–85. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
30. Cadore, E.L.; Casas-Herrero, A.; Zambom-Ferraresi, F.; Idoate, F.; Millor, N.; Gómez, M.; Rodríguez-Mañas, L.; Izquierdo, M. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *AGE* **2014**, *36*, 773–785. [[CrossRef](#)]
31. Sousa, N.; Mendes, R. Effects of Resistance Versus Multicomponent Training on Body Composition and Functional Fitness in Institutionalized Elderly Women. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2013**, *61*, 1815–1817. [[CrossRef](#)]
32. Aagaard, P.; Simonsen, E.B.; Andersen, J.L.; Magnusson, P.; Dyhre-Poulsen, P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J. Appl. Physiol.* **2002**, *93*, 1318–1326. [[CrossRef](#)]
33. Kim, H.; Suzuki, T.; Kim, M.; Kojima, N.; Ota, N.; Shimotoyodome, A.; Hase, T.; Hosoi, E.; Yoshida, H. Effects of Exercise and Milk Fat Globule Membrane (MFGM) Supplementation on Body Composition, Physical Function, and Hematological Parameters in Community-Dwelling Frail Japanese Women: A Randomized Double Blind, Placebo-Controlled, Follow-Up Trial. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0116256. [[CrossRef](#)]
34. Cadore, E.L. Strength and Endurance Training Prescription in Healthy and Frail Elderly. *Aging Dis.* **2014**, *5*, 183–195. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Theou, O.; Stathokostas, L.; Roland, K.P.; Jakobi, J.M.; Patterson, C.; Vandervoort, A.A.; Jones, G.R. The Effectiveness of Exercise Interventions for the Management of Frailty: A Systematic Review. *J. Aging Res.* **2011**, *2011*, 1–19. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Starr, K.N.P.; McDonald, S.R.; Bales, C.W. Obesity and Physical Frailty in Older Adults: A Scoping Review of Lifestyle Intervention Trials. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2014**, *15*, 240–250. [[CrossRef](#)]
37. Brown, J.C.; Harhay, M.O. Appendicular lean mass and mortality among prefrail and frail older adults. *J. Nutr. Health Aging* **2017**, *21*, 342–345. [[CrossRef](#)]
38. Kelly, O.J.; Gilman, J.C.; Boschiero, D.; Ilich, J.Z. Osteosarcopenic Obesity: Current Knowledge, Revised Identification Criteria and Treatment Principles. *Nutrients* **2019**, *11*, 747. [[CrossRef](#)]
39. Cadore, E.L.; Moneo, A.B.B.; Mensat, M.M.; Muñoz, A.R.; Casas-Herrero, A.; Rodríguez-Mañas, L.; Izquierdo, M. Positive effects of resistance training in frail elderly patients with dementia after long-term physical restraint. *AGE* **2013**, *36*, 801–811. [[CrossRef](#)]
40. Ratel, S.; Gryson, C.; Rance, M.; Penando, S.; Bonhomme, C.; Le Ruyet, P.; Duclos, M.; Boirie, Y.; Walrand, S. Detraining-induced alterations in metabolic and fitness markers after a multicomponent exercise-training program in older men. *Appl. Physiol. Nutr. Metab. Physiol. Appl. Nutr. Metab.* **2012**, *37*, 72–79. [[CrossRef](#)]
41. Anton, S.D.; Hida, A.; Mankowski, R.; Layne, A.; Solberg, L.M.; Mainous, A.G.; Buford, T. Nutrition and Exercise in Sarcopenia. *Curr. Protein Pept. Sci.* **2018**, *19*, 649–667. [[CrossRef](#)]
42. Cruz-Jentoft, A.J.; Kiesswetter, E.; Drey, M.; Sieber, C.C. Nutrition, frailty, and sarcopenia. *Aging Clin. Exp. Res.* **2017**, *29*, 43–48. [[CrossRef](#)]
43. Vergnaud, A.-C.; Norat, T.; Mouw, T.; Romaguera, D.; May, A.M.; Bueno-De-Mesquita, H.B.; Van Der A, D.; Agudo, A.; Wareham, N.; Khaw, K.-T.; et al. Macronutrient Composition of the Diet and Prospective Weight Change in Participants of the EPIC-PANACEA Study. *PLoS ONE* **2013**, *8*, e57300. [[CrossRef](#)]
44. Kang, L.; Gao, Y.; Liu, X.; Liang, Y.; Chen, Y.; Liang, Y.; Zhang, L.; Chen, W.; Pang, H.; Peng, L.-N. Effects of whey protein nutritional supplement on muscle function among community-dwelling frail older people: A multicenter study in China. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2019**, *83*, 7–12. [[CrossRef](#)]

45. Sun, Y.; You, W.; Almeida, F.A.; Estabrooks, P.; Davy, B.M. The Effectiveness and Cost of Lifestyle Interventions Including Nutrition Education for Diabetes Prevention: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J. Acad. Nutr. Diet.* **2017**, *117*, 404–421. e36. [[CrossRef](#)]
46. Safer, U.; Tasci, I.; Safer, V.B.; Doruk, H. Is segmental bioelectrical impedance analysis a valid tool to assess muscle mass in the elderly? *Geriatr. Gerontol. Int.* **2013**, *13*, 1085–1086. [[CrossRef](#)]

Publisher’s Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.









© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

5.5. Artículo V



Does nutritional status influence the effects of a multicomponent exercise programme on body composition and physical fitness in older adults with limited physical function?

Ana Moradell ^{a,b,c,d}, Ángel I. Fernández-García^{a,b,c,d}, David Navarrete-Villanueva^{a,b,c,e}, Jorge Pérez-Gómez ^{c,f}, Eva Gesteiro^{c,g}, Ignacio Ara Royo ^{h,i}, Jose Antonio Casajús ^{a,b,c,e,i}, Alba Gómez-Cabello ^{a,b,c,d,i,j} and Germán Vicente-Rodríguez ^{a,b,c,d,i}

^aGENUD (Growth, Exercise, Nutrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain; ^bAgrifood Research and Technology Centre of Aragón -IA2-, CITA-Universidad de Zaragoza, Zaragoza, Spain; ^cExercise and Health in Special Population Spanish Research Net (EXERNET), Spain; ^dDepartment of Physiatry and Nursing, Faculty of Health and Sport Science FCSD, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain; ^eDepartment of Physiatry and Nursing, Faculty of Health, University of Zaragoza, Zaragoza, Spain; ^fHEME Research Group, University of Extremadura, Cáceres, Spain; ^gImFINE Research Group, Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences-INEF, Polytechnic University of Madrid, Madrid, Spain; ^hCIBER of Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), Madrid, Spain; ⁱBiomedical Research Net in Physiopatology, Obesity and Nutrition (CIBERObn) Madrid, Spain; ^jDefense University Center, Zaragoza, Spain

ABSTRACT

Physical exercise effects and ageing on fitness may be influenced by nutritional status. This study investigates the effects of a 6-month multicomponent exercise training (MCT) on nutritional status and evaluates if this type of exercise could affect differently body composition and physical fitness depending on the nutritional status of older adults with decreased functional capacity. Ninety-three participants (80.4 ± 6.0 y) were divided into control ($n = 45$) and intervention ($n = 48$) groups. The intervention consisted of a 6-month multicomponent training. Comparisons between changes in body composition and fitness during the 6-months were performed between individuals at risk of malnutrition and those well-nourished, according to the Mini Nutritional Assessment. Model mixed-effect analyses were used to investigate differences after the 6 months of MCT between groups. Well-nourished participants compared with those at risk of malnutrition had higher: arm (13.4 ± 3.5 vs 14.3 ± 33.6 repetitions) and leg strength (9.0 ± 3.0 vs 11.1 ± 3.3 repetitions), maximum walking speed (31.6 ± 13.1 vs 23.7 ± 6.3 s), agility (11.9 ± 5.8 vs 8.3 ± 2.1 s), and aerobic capacity (31.6 ± 13.1 vs 23.7 ± 6.3 m), at baseline. After the training, those without risk of malnutrition in CON decreased their nutritional status (-1.7 ± 0.7 points). Those well-nourished that performed the intervention decreased total fat mass (-1.0 ± 0.3 kg) and body fat percentage ($-1.2 \pm 0.4\%$). Both groups of training improved similarly in all tests, except for balance, in which the well-nourished showed improvements of 6.3 ± 1.9 s. These results underline the usefulness of MCT in improving physical fitness regardless of nutritional status and preventing nutritional status detriment in well-nourished older adults, who are fitter and benefit more, in terms of body composition.



Trial registration: ClinicalTrials.gov identifier: NCT03831841.


Highlights

- Multicomponent exercise programme seems to be effective in delaying detriments in the nutritional status of well-nourished people.
- Well-nourished older people obtain more benefits in body composition from the multicomponent exercise than those at risk of malnutrition, decreasing adiposity.
- The positive effect of multicomponent exercise was observed in physical fitness independently of nutritional status.

KEYWORDS

Ageing; fat mass; malnutrition; muscle strength

CONTACT Germán Vicente-Rodríguez  gervicen@unizar.es  GENUD (Growth, Exercise, Nutrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; Agrifood Research and Technology Centre of Aragón -IA2-, CITA-Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; Exercise and Health in Special Population Spanish Research Net (EXERNET); Department of Physiatry and Nursing, Faculty of Health and Sport Science FCSD, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; Biomedical Research Net in Physiopatology, Obesity and Nutrition (CIBERObn), 28029 Madrid, Spain

 Supplemental data for this article can be accessed online at <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2092426>.

© 2022 European College of Sport Science

1. Introduction

Multiple physiological changes occurring with ageing lead to an important decline in physical function, subsequent increased risk of vulnerability and loss of autonomy (Fulop et al., 2010). Some of the most remarkable changes occur in body composition in which there is an increase in fat mass (FM) and a reduction in muscle mass, which are related to important diseases such as sarcopenia and obesity (Gomez-Cabello, Vicente-Rodriguez, Vila-Maldonado, Casajus, & Ara, 2012). Meanwhile, the implications of these changes also affect physical fitness showing an important reduction in strength, power, endurance or agility (Vopat, Klinge, McClure, & Fadale, 2014). Reversing these outcomes will facilitate older people to perform daily activities with autonomy and would have a positive impact on social and health systems sustainability (Hajek et al., 2018).

Other important environmental factors such as poor nutrition could also influence these ageing declines. Undernourished, energy deficiencies, low protein intake and vitamin D deficiency could aggravate losses in physical function as they are needed to maintain or improve muscle mass and strength (Shlisky et al., 2017). Moreover, poor nutritional status has been closely related to an increased risk of being frail (Soysal et al., 2019). In this way, to prevent and reverse this state has been established as a priority in the new emerging studies (Angulo, El Assar, Bustos, & Rodríguez-Mañas, 2020).

Physical activity and exercise have been proposed as the best strategies for active and healthy aging for the older population (Fiuza-Luces, Garatachea, Berger, & Lucia, 2013). In fact, a recent expert consensus proposes as a main challenge for the near future to include exercise prescription as a mandatory part of this population's care (Izquierdo et al., 2021). In general, multicomponent training exercise programs (MCT) have been demonstrated to be the most effective type of physical exercise for improving health in sarcopenia, osteoporosis, people with dementia and who have suffered falls and, especially in those at risk of being frail (Angulo et al., 2020; Izquierdo et al., 2021). Likewise, other beneficial effects of exercise are improvement in appetite, well-being, mood and behaviour disturbance (Anton et al., 2018; Michel, Cruz-Jentoft, & Cederholm, 2015). Thus, exercise could lead to a change and potential improvement in nutritional status as other authors previously reported relative to the strength training programme (Schreier et al., 2016). Additionally, it is common for a decline in food intake during ageing which could be related to nutritional deficiencies such as protein, vitamins, antioxidants or polyunsaturated fatty acids which

are involved in muscle synthesis (Moradell et al., 2021). For this reason, it could be reasonable to believe that differences in the effects of an exercise programme according to the nutritional status of this population could be found; thus, it is crucial to know how it affects and to establish the ideal nutritional levels to maximize the benefit of physical exercise. Despite this, very few studies comparing possible effects of MCT exercise programs between people with different nutritional status are scarce.

In this line, the EXERNET-Elder 3.0 study, was a project with the main objective of improving physical function and other health-related variables such as body composition in functional frail and pre-frail older adults (Fernández-García et al., 2020). Until now, several benefits due to this programme have been reported in relation to FM (Moradell et al., 2020b), bone mass structure (Moradell et al., 2020a) and fitness (pending of publication). Nevertheless, the relationship between nutritional status and these previous health-related outcomes has been well described in the literature and the prevalence of poor nutritional status is common in this population (Soysal et al., 2019). To elucidate the possible difference in the effects of these types of exercise interventions on malnourished older population could provide relevant information to move towards individualized, precision exercise prescription to improve the prevention and treatment of functional disability and frailty. Thus, the main aims of the present study were: (1) to compare body composition and physical fitness between older adults with limited physical function at risk and without risk of being malnourished, (2) to study if our MCT exercise programme could improve nutritional status, and (3) to study if the MCT exercise programme has the same effects in those at risk and without risk of malnutrition.

2. Material and methods

2.1. Study design and participants

This intervention study is a non-randomized control trial which was conducted in the framework of the EXERNET-Elder 3.0 project, which was carried out between 2018 and 2020. The intervention consisted of a 6-months MCT programme for frail and pre-frail older adults, and its main aim was to improve physical function of this population. Participants were recruited from four health care centres and three nursing homes in the city of Zaragoza, Spain. People above 65 years were screened according to their functionality with the Short Physical Performance Battery (SPPB) (Guralnik et al., 1994), and those scoring as moderate and slightly

limitation (>4, <10 points) (Izquierdo, 2019) were selected to participate in the exercise programme. Those who had cancer and/ or dementia were excluded. The whole methodology of this project has been described elsewhere (Fernández-García et al., 2020).

Preferences and availability for the initial sample (110 participants) were considered to create the following groups: control group (CON) and training group (TRAIN). For the present study, TRAIN and CON groups were also subdivided at baseline into the following groups: with risk of being malnourished and or without risk of being malnourished. From the initial sample of 110 participants, only 93 older adults (45 CON and 48 TRAIN) completed information about risk of being malnourished (questionnaire described below) and could be included in this report.

Although it was non-randomized trial, groups were homogeneous. No baseline differences between CON and TRAIN could be seen in Supplementary 1. Additionally, according to ROBINS-I tool for assessing the risk of bias in a non-randomized study (*Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions version 6.2. Chapter 25, 2021*), the risk of bias is low to moderate for the present research.

Personal information and other health outcomes were collected through a structured questionnaire. Specifically, the variables included in this article were as follows: mean of self-reported daily walking hours and sitting hours (Lopez-Rodriguez et al., 2017), adherence to Mediterranean diet (Schroder et al., 2011) and Mini Mental Examination (for cognitive status) (Folstein, Folstein, & McHugh, 1975; Folstein et al., 1999). Body composition measurements and physical fitness tests were performed in both groups at baseline and after 6-month MCT (Consejo Superior de Deportes, 1992; Rikli & Jones, 2013). Fasting blood sample tests were obtained to measure vitamin D.

The study was approved by the Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50) (Alcorcón, Spain) and was registered in *clinicaltrials.gov* (reference number: NCT03831841). All participants of the study signed an informed consent to be included. The study was developed in accordance with the Helsinki Declaration of 1961, revised in Fortaleza (2013) and the current legislation of human clinical research in Spain (Law 14/2007).

2.2. The EXERNET Elder 3.0 multicomponent exercise programme

Exercise groups consisted of 8–16 older adults and all sessions were supervised by specialized instructors complying with a maximum ratio of 12 participants per instructor. Participants trained three days a week for 1

h. All sessions were organized with the following structure: 10 min of warm-up, 35–40 min of main part exercises and 10–15 min of cooldown. Exercises were focused on endurance, strength, flexibility, balance, coordination and functional capacity in daily life activities. All the interventions had a progression of the training load to ensure appropriate stimulus and to developed adaptations. The intensity of all exercises was also adapted to each participant's characteristics and functional status. The training protocol has been described in detail elsewhere (Fernández-García et al., 2020). Meanwhile, to improve CON attendance, monthly speeches about healthy lifestyles were developed for all participants.

2.3. Mini Nutritional Assessment (MNA)

Nutritional risk was determined using the MNA questionnaire, which consists of 18 questions: the type of living accommodation, the use of regular medication, acute diseases, mobility, neuropsychological problems, pressure sores or skin ulcers, number of whole meals consumed and choice of food, daily fluid intake, possible requirement for help in eating, the perceived adequacy of food intake, weight loss during the past three months and self-perception of health. It also included measurements of body mass index (BMI) and circumferences of the mid-upper arm and calf.

According to the score obtained, the subjects were classified as “malnourished” (< 17 p), “at risk of malnutrition” (17–23.5 p), or “well-nourished” (> 23.5 p) (Vellas et al., 1999). None of the participants scored as “malnourished” so only two groups were considered: “At risk of malnutrition” and “well-nourished”.

2.4. Anthropometric and body composition measurements

Anthropometric measurements were performed twice, and the mean was calculated. In cases where the difference between both measurements exceeded 0.5 cm, a third measurement was performed, and the median was calculated. A portable stadiometer with 2.10 m maximum capacity and 1 mm error margin (Seca, Hamburgo, Germany) was used to measure height. Hip, waist, mid-upper arm and calf circumferences were all taken using a flexible non-elastic measuring tape Rosscraft Anthrotape (Rosscraft Innovations Inc, Vancouver, Canada). Anthropometrics measurements were performed by International Society for the Advancement of Kinanthropometry accredited researchers following its standards (Tim Olds Arthur Stewart, 2011).

A body composition analyser based on Bio-Electrical Impedance Analysis (BIA) with 200 kg maximum capacity and 50 g error margin (TANITA BC-418MA, Tanita Corp., Tokyo, Japan) was used to obtain body weight (kg), FM (kg), percentage of body fat and fat-free mass. BMI was calculated. Participants came to the research centre fasting and with an empty bladder. They were barefoot and wearing light clothes during the body composition measurements. All measurements were performed at same hour and conditions for all participants and evaluations.

2.5. Physical fitness assessment

The tests were always performed in the same order to ensure that all participants performed the fitness evaluations under the same conditions. Test performed were: Balance test (Flamingo's test) (Consejo Superior de Deportes, 1992), Strength of upper extremities (Arm Curl Test) (Rikli & Jones, 2013), Lower-body strength test (Chair Stand test) (Rikli & Jones, 2013), Flexibility of the upper extremities (Back Scratch Test) (Rikli & Jones, 2013), Flexibility of the lower extremities (Chair Sit-and-Reach test) (Rikli & Jones, 2013), Agility/ dynamic balance (8-Foot Up-and-Go test) (Rikli & Jones, 2013), Maximum walking speed (Brisk Walking test) (Consejo Superior de Deportes, 1992), Aerobic capacity (6-Minute Walk test) (Rikli & Jones, 2013), Handgrip Strength (Takei TKK 5401, Tokyo, Japan). Whole description of the tests is described in detail elsewhere (Fernández-García et al., 2020).

Relative Sit to stand muscle power test was calculated using the subject's body mass and height, chair height and the time needed to complete five sit-to-stand tests repetitions in 30 min (Alcazar et al., 2018).

2.6. Statistical analysis

Statistical analyses were completed using The Statistical Package for the Social Sciences v. 20.0 for Windows (SPSS, Inc, Chicago, IL, USA). The normality of the sampling distribution was studied using Shapiro-Wilk tests. The level of statistical significance of all tests was set at $p < 0.05$.

Descriptive data are reported as mean \pm standard deviation, number of participants (n) or percentage (%), according to the nature of each variable. One factor Analysis of Variance (ANOVA) was used to study differences; firstly, between control and train groups in order to assess the homogeneity of groups and secondly, between those participants at risk of being malnourished and those without risk.

Model Mixed Effect Analyses were performed to compare firstly, differences in changes in the MNA score and secondly, changes in body composition and physical fitness during the 6-month MCT between groups at risk of malnutrition and those well-nourished status in CON and TRAIN separately. Changes in variables were calculated by subtracting post-intervention values minus baseline values. Three different models were performed to study changes during 6 months of training in physical fitness and body composition variables; (1) adjusted by age, sex and baseline value, (2) adjusted by age, sex, baseline value, sitting and walking hours, and (3) adjusted by age, sex, baseline value and Mini Mental Examination score (cognitive status). Power analyses were also reported ($1-\beta$) for all comparisons.

3. Results

3.1. Descriptive differences

Supplementary material 1 showed the homogeneity of CON and TRAIN groups. No differences were found in the main variables of the study: Short Physical Performance Battery and Mini Nutritional Assessment score.

Differences at baseline between participants at risk of malnutrition and those well-nourished are shown in Table 1.

The initial sample of 93 participants (68 females) was divided into those at risk of malnutrition (34 individuals, 21 females) and those well-nourished (59 individuals, 47 females). Those at risk of malnutrition showed lower score in the SPPB, higher score in Mini Mental and lower sitting time than the well-nourished ones (all $p < 0.05$). No significant differences were observed in body composition. However, the group at risk of malnutrition had fewer arm curl repetitions and chair stands in strength tests, as well as low relative power (all $p < 0.05$). They also present less agility and lower maximum walking speed and fewer metres covered in endurance test in comparison to well-nourished participants (all $p < 0.05$).

3.2. Changes in MNA after 6-month MCT

Adherence measured as percentage of assistance from the total sessions ranged from 71.2–97.1% for those at risk of malnutrition and from 52.9 to 98.5% those without risk. Table 2 shows changes in the MNA total score. No differences were found between CON and TRAIN when the whole group was analysed and neither within groups ($1-\beta = 0.108$ (10.8%) and $1-\beta = 0.329$ (32.9%), respectively). When analyses were

Table 1. Descriptive differences between those at risk of malnutrition and those well-nourished at the beginning of the study.

	Whole sample	Risk of malnutrition (n = 33)	Well-nourished (n = 60)	p-Value
Age (y.)	80.4 ± 6.0	80.1 ± 6.7	80.6 ± 5.6	.737
SPPB (points)	7.5 ± 1.5	6.9 ± 1.6	7.8 ± 1.4	.006
Frail	25 (27%)	13 (40%)	12 (20%)	.073
Pre-frail	67 (72%)	20 (60%)	47 (80%)	
ADM (points)	7.5 ± 1.8	7.4 ± 1.9	7.5 ± 1.7	.712
Walking (h/day)	1.5 ± 1.2	1.2 ± 1.1	1.7 ± 1.3	.740
Sitting time (h/day)	6.3 ± 2.7	7.0 ± 2.8	5.8 ± 2.5	.044
Mini mental (points)	26.1 ± 3.2	25.0 ± 3.8	26.7 ± 2.6	.018
Vit D (ng/mL)	26.7 ± 13.9	25.6 ± 11.9	27.4 ± 15.0	.568
Body composition measurements				
Weight (kg)	73.1 ± 14.7	74.4 ± 18.9	72.4 ± 11.9	.547
BMI (kg/m ²)	29.7 ± 5.6	29.9 ± 7.3	29.7 ± 4.4	.886
BF%	37.2 ± 7.3	35.3 ± 8.3	38.1 ± 6.7	.098
FM (kg)	27.6 ± 9.0	27.1 ± 11.7	27.8 ± 7.5	.742
FFM (kg)	45.5 ± 9.1	47.3 ± 11.3	44.7 ± 7.8	.203
Waist Cir (cm)	94.0 ± 13.0	95.3 ± 17.2	93.0 ± 13.0	.526
Hip Cir (cm)	104.5 ± 10.1	104.8 ± 11.2	104.4 ± 9.7	.899
Physical fitness assessment				
Balance (s)	7.0 ± 6.7	6.2 ± 8.1	7.6 ± 7.5	.425
Arm strength (rep)	11.9 ± 2.7	13.4 ± 3.5	14.3 ± 3.6	.001
Arm flexibility (cm)	-14.8 ± 10.9	-16.4 ± 14.0	-13.9 ± 8.8	.280
Leg strength (rep)	10.4 ± 3.4	9.0 ± 3.0	11.1 ± 3.3	.003
Mean power (W)	155.4 ± 65.7	141.1 ± 60.1	162.9 ± 67.7	.135
Relative power (W·kg ⁻¹)	212.5 ± 68.6	186.4 ± 56.2	226.2 ± 70.9	.008
Leg flexibility (cm)	-13.3 ± 11.3	-15.6 ± 12.5	-12.1 ± 10.5	.160
Agility 2.45 m (s)	9.6 ± 4.1	11.9 ± 5.8	8.3 ± 2.1	<.001
Maximum Walking speed in 30 m (s)	26.5 ± 9.9	31.6 ± 13.1	23.7 ± 6.3	<.001
Endurance (m)	357.7 ± 104.8	307.7 ± 119.1	383.9 ± 86.4	.001
Handgrip strength (kg)	21.3 ± 8.3	21.0 ± 9.0	21.4 ± 7.9	.835

Notes: SPPB: Short Physical performance Battery, ADM: adherence to Mediterranean diet; Vit D: Vitamin D; BMI: Body Mass Index, BF%: Body Fat Percentage, FM: Fat Mass, FFM: Fat-Free Mass, rep: repetition, Cir: Circumference. *p*-value describes differences between groups. All statistical significance was established at *p*<0.05 and are presented in bold letters.

Table 2. Differences in MNA score changes between control and training groups and among subgroups created by nutritional status (model mixed effect).

	Control		Train		<i>p</i> -value	1-β
Change in MNA (whole group)	-0.6 ± 0.6		0.3 ± 0.6		.302	.117
	Risk of malnutrition (n = 7)	Well- nourished (n = 18)	Risk of malnutrition (n = 10)	Well- nourished (n = 28)	<i>p</i> -value	1-β
Change in MNA (by groups)	2.8 ± 1.4	-1.7 ± 0.7*	-0.7 ± 1.4	0.6 ± 0.7	.520	.175

Notes: MNA: mini nutritional assessment; *Statistical significance within groups over time; *P*-value describes differences between groups. All statistical significance was established at *p*<0.05.

performed, dividing these groups by nutritional status, those older adults without risk of malnutrition in the CON showed a worse nutritional status with a significant decrease of the total score (-1.7 ± 0.7; *p* < 0.05), but no significant differences were found the group at risk. Statistical differences were found in changes after 6 months between these both groups (1-β = 0.641, 64%). Statistical power for all these previous non-significant analyses ranged from 0.175 to 0.578 (17.5-57.8%).

3.3. Changes in body composition after 6-month MCT

Changes in body composition between pre-training and post-training adjusted by sex, age and baseline values are shown in Table 3.

Significant decreases were observed in FM and percentage of body fat and significant increases in hip and waist circumferences only within those without risk of malnutrition from the TRAIN (*p* < 0.050), with a statistical power ranging from 0.543 and 0.820 (54.3–82%). No changes were found within CON groups in those at risk of malnutrition and in those well-nourished. No significant differences between groups were observed neither in CON nor in TRAIN. The statistical power for non-significant analyses for comparisons within group ranged from 0.052 to 0.332 (5.2–33.2%).

Model 2 (adjusted by sex, age, time spent sitting and time spent walking), compared to model 1, showed the same results for body composition.

When cognitive status was added to adjust the analyses (Model 3), some differences were observed. A

Table 3. Body composition changes in older adults at risk of malnutrition and well-nourished in control and training groups between pre- and post-training periods, adjusted by baseline values, sex and age.

	CONTROL				TRAIN			
	Risk of malnutrition (n = 11)	Well-nourished (n = 21)	p-Value	1-β	Risk of malnutrition (n = 12)	Well-nourished (n = 33)	p-Value	1-β
Weight (kg)	0.4 ± 0.8	-0.7 ± 0.6	.303	.210	-0.3 ± 0.7	-0.5 ± 0.4	.825	.051
BMI (kg/m ²)	0.2 ± 0.4	-0.5 ± 0.3	.192	.244	-0.5 ± 0.3	-0.2 ± 0.2	.386	.154
FM (kg)	0.2 ± 0.8	-0.4 ± 0.5	.528	.419	0.2 ± 0.6	-1.0 ± 0.3*	.104	.309
FFM (kg)	0.2 ± 0.6	-0.2 ± 0.4	.669	.064	-0.4 ± 0.7	0.6 ± 0.4	.211	.295
BF% (%)	0.2 ± 0.8	-0.3 ± 0.5	.595	.208	0.4 ± 0.7	-1.2 ± 0.4*	.138	.078
Waist Cir.(cm)	3.8 ± 2.7	2.2 ± 2.3	.660	.112	5.1 ± 2.4*	3.3 ± 1.1*	.529	.083
Hip Cir.(cm)	3.7 ± 2.9	3.6 ± 1.9	.976	.067	1.4 ± 1.7	1.7 ± 0.7*	.873	.051

Notes: Mean differences and standard deviation were reported for each body composition variable. BMI: Body Mass Index, FM: Fat Mass, FFM: Fat-Free Mass, BF%: Body Fat Percentage, Cir: Circumference. *Statistical significance within groups over time. *p*-Value describes differences between groups. All statistical significance was established at $p < 0.05$.

new statistically significant change was observed for weight, which decreased significantly in those well-nourished in TRAIN ($p < 0.05$).

3.4. Changes in physical fitness after 6-month MCT

Table 4 shows changes in physical fitness between pre- and post-training for Model 1 (adjusted by sex, age, and baseline values).

Both groups in TRAIN (at-risk malnutrition and well-nourished) showed significant improvements in leg flexibility, arm curls, chair stands, relative power, agility and maximum walking speed (all $p < 0.05$). However, no significant changes were observed in arm flexibility within the group at risk of malnutrition and neither within the group of well-nourished. For balance and handgrip strength tests, only those without risk of malnutrition showed an improvement ($p < 0.05$). No statistical differences between well-nourished and risk of malnutrition groups were observed in any of the tests. The statistical power of the analyses that lead to significant results

ranged from 0.640 to 1.000 (64–100%) while those non-significant ranged from 0.140 to 0.540 (14–54%).

In CON, those well-nourished showed statistical improvements in leg flexibility, leg strength and hand-grip strength while they spent more time spent in the agility test (all $p < 0.05$, 1-β ranged from 0.591–0.892, 59.1–89.2%). Those at risk did not show statistically significant changes (1-β ranged from 0.057–0.173, 5.7–17.3%). Only statistical differences between those at risk of malnutrition and those well-nourished were observed for agility ($p < 0.05$).

Model 2 (adjusted by sex, age, time spent sitting and time spent walking), compared to Model 1, showed the same results for body composition while there were slight differences for physical fitness. There were no statistically significant changes in those at risk of malnutrition in the TRAIN. However, an improvement was observed in the balance test in this group ($6.6 ± 2.1$ s; $p < 0.05$). In addition, those well-nourished increased their aerobic capacity ($31.5 ± 13.1$ m; $p < 0.05$). The significant differences mentioned in model 1 were maintained. No differences were found for CON compared

Table 4. Fitness changes in older adults at risk of malnutrition and well-nourished in control and training groups between pre- and post-training, adjusted by baseline values, sex and age.

	CONTROL				TRAIN			
	Risk of malnutrition (n = 11)	Well-nourished (n = 21)	p-value	1-β	Risk of malnutrition (n = 12)	Well-nourished (n = 33)	p-value	1-β
Balance (s)	4.6 ± 3.1	1.9 ± 2.2	.495	.061	5.5 ± 3.0	6.3 ± 1.9*	.819	.108
Arms Flexibility (cm)	0.8 ± 2.6	3.1 ± 2.0	.523	.054	1.9 ± 1.7	1.6 ± 1.1	.890	.050
Legs Flexibility (cm)	2.3 ± 2.6	8.5 ± 2.0*	.087	.324	5.7 ± 2.6*	4.5 ± 1.7*	.705	.064
Arms strength (rep)	0.9 ± 1.2	-0.1 ± 0.9	.536	.161	3.7 ± 1.1*	5.6 ± 0.6*	.108	.229
Legs strength (rep)	-0.5 ± 0.9	1.5 ± 0.7*	.112	.277	1.9 ± 0.7*	3.6 ± 0.5*	.082	.369
Mean power strength (W)	-7.9 ± 13.8	11.7 ± 11.1	.297	.341	34.8 ± 13.4*	52.2 ± 7.6*	.285	.322
Relative power strength (W.kg ⁻¹)	-0.1 ± 0.2	0.3 ± 0.1	.123	.250	0.4 ± 0.2*	0.7 ± 0.1*	.212	.174
Agility (s)	-0.4 ± 0.6	1.4 ± 0.4*	.028	.641	-2.0 ± 0.4*	-2.2 ± 0.2*	.602	.077
Maximum walking speed (s)	1.7 ± 1.7	1.2 ± 1.3	.826	.052	-3.4 ± 1.0*	-4.6 ± 0.6*	.316	.153
Endurance (m)	1.2 ± 26.0	-9.1 ± 18.6	.757	.060	15.4 ± 24.1	25.7 ± 14.9	.733	.061
Handgrip strength (kg)	0.2 ± 1.2	1.9 ± 0.9*	.281	.329	1.4 ± 1.0	2.0 ± 0.6*	.597	.177

Mean differences and standard deviation reported for each body composition variable. Rep: repetitions. *Statistical significance within groups over time. *p*-value describes differences between groups and those statistically significant are presented in bold letters. All statistical significance was established at $p < 0.05$.

to model 1. The table describing these data is shown in Supplementary 2.

When cognitive status was added as a covariable (Model 3), well-nourished in TRAIN increased their aerobic capacity (29.6 ± 14.2 m), while those at risk of malnutrition in TRAIN showed an increase in balance (5.6 ± 2.0 s) (as Model 2) (all $p < 0.05$). Moreover, the statistically significant differences observed in leg strength and handgrip strength in those well-nourished in CON disappeared (compared with Model 1). The table describing these data is shown in Supplementary 3.

4. Discussion

The main results obtained from the present study are as follows: (1) older people at risk of malnutrition have lower physical fitness performance than those without risk of being malnourished while there are no differences in body composition, (2) the MCT exercise programme used seems to be effective in delaying detriments in nutritional status of well-nourished people, (3) well-nourished older people obtain more benefits in body composition from the MCT than those at risk of malnutrition, as they show a decrease in adiposity, and (4) it appears that the benefits of MCTs are independent of nutritional status as there was a similar and positive effect for both TRAIN groups (those well-nourished and those at risk of malnutrition).

Nutrition is an important modifiable factor, which may influence the ageing process. A poor nutritional status with energy and nutrient deficiencies could alter the physiological system and subsequently the physical function of the older adults (O'Connell, Coppinger, & McCarthy, 2020). As it is common that frailty would be accompanied by malnutrition (Soysal et al., 2019), important differences between those at risk of malnutrition and those well-nourished were expected to be found in this study.

First of all, MCT programs have been studied deeply in last few years in order to improve health and physical function in people at risk of frailty (Angulo et al., 2020). It seems to be the most effective exercise to prevent and treat some of the most important morbidities and adverse events that occur in older people, as described in the International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR) (Izquierdo et al., 2021). Concretely, the effects of the MCT used in this study have been previously studied in body composition (Moradell et al., 2020a; Moradell et al., 2020b) and physical fitness (pending publication), showing positive results in this sample. In addition, the present study also demonstrates prevention in the decline of MNA scores in the TRAIN group. At least, it seems to happen for well-nourished

older adults, as their pairs in CON showed a significant decrease in the MNA score. Two similar articles reported different results about nutritional status; Maltais et al. did not find maintenance in a sample with dementia (2018); however, Echevarria et al. found improvements with a guided MCT (2020). Nonetheless, they did not compare possible differences between individuals who were initially at risk of malnutrition or well-nourished as in the present study. Despite they revealed slightly different results, it is reasonable to think of a relationship between exercise effects and nutritional status. However, a longer intervention would be needed to know if those at risk of malnutrition finally manage to avoid the development of malnutrition and whether the exercise intervention is effective to stop its progression as we expected.

Concerning body composition, no initial differences were observed between participants at risk of malnutrition and well-nourished. In this regard, differences in body composition showing worse values in FM and lean mass in those at risk of malnutrition, found in a sample of nonagenarians (Pereira da Silva et al., 2016). The age of participants and the fact of including malnourished individuals may explain the different results. Being at risk of malnutrition is likely to be associated with a gradual deterioration during aging, so their body composition and poor nutritional status may be changed strongly as they aged leading to set malnourished (Cuervo et al., 2009).

An inadequate nutrient intake followed by a weight loss, low muscle mass and low muscle synthesis is common in malnourished people and could compromise MCT effects. The present study shows a decrease in adiposity in well-nourished elderly but not in those at risk of malnutrition in the TRAIN. These results could be explained by an increase in inflammation (Dalle, Rossmeislova, & Koppo, 2017; Ticinesi et al., 2016) and could suggest that people at risk of being malnourished may need to combine this intervention with adequate nutrition in order to reach enough nutritional requirements, allowing them to achieve same results as their pairs. However, no comparable studies to contrast our results were found, as the vast majority of them do not focus on physical exercise alone, nor compare people with and without risk of being malnourished, which could be a critical previous step to determine how to prevent the onset of malnutrition. Moreover, it has not to be missed that those at risk of malnutrition also presented longer time of sitting hours, which could be related to the different baseline fitness levels as well as the different effects of MCT on body composition, as well as with the different baseline fitness levels.

Nevertheless, while no changes were found in muscle mass during the intervention, significant improvements were observed in most of the physical performance tests due to the MCT used in both groups (well-nourished and those at risk of malnutrition). Concretely, improvements were found in agility, maximum walking speed, upper and lower limb strength, relative power, and leg flexibility. No significant difference was found in aerobic capacity. It can be thought that there have not occurred important metabolic and cardiovascular adaptations, such as increased VO_2 or mitochondrial biogenesis. It could happen because the exercise was more focused on daily activities and time spent on improving endurance was not enough. However, no published results reveal that when all sample was considered, the training group showed improvements in this variable. For balance, at first, it seemed to improve only in well-nourished individuals, but when cognitive status was considered, it increased significantly in both groups highlighting the relationship between balance and cognitive status (Mahoney & Verghese, 2020). Similarly, another study concluded that dynamic balance, but not static balance, was associated with malnutrition (Ramsey et al., 2020), which could explain why in Model 1, those at risk do not improve results in the Flamingo's test, and also why initial differences were not observed initial differences (Ramsey et al., 2020). Moreover, it seems that although it was not significant, leg strength increased more in the well-nourished than in the group at risk, which is in line with the results found by Kamo, Ishii, Suzuki, and Nishida (2019). These authors revealed that malnutrition was a negative factor that affects functional fitness changes after resistance training (Kamo et al., 2019). Despite that, our results support the idea that MCT produces neuromuscular adaptations without an increased muscle mass, and thus, those at risk of being malnourished could need more time to obtain the same effects than well-nourished. However, it is reasonable to think that an adequate nutritional intake could also improve results in the group at risk, although they seemed to be similar. In this line, lower intakes of proteins have been observed in the group at risk of malnutrition (Moradell et al., 2021). On the other hand, in CON, significant changes were observed only in those at no risk, which seem to be more susceptible to ageing at least in agility, showing a significant difference with the group at risk. Nevertheless, the well-nourished group reported improvements in leg strength and flexibility, which could be influenced by the fact that they were under a middle evaluation for these six months. As their pairs at risk of malnutrition did not present the same changes, a possible explanation for these fluctuations is their good nutritional status

which suggests that they meet the recommended nutrient intakes for having muscle adaptations.

Some limitations of this study should be mentioned. First, a randomization of the sample was not possible as it was difficult to change older adult routines, and some participants refused to participate in the TRAIN group. Therefore, groups were created according to the volunteers' preferences/availability in order to maximize attendance. Despite this fact, the groups formed were homogeneous and the risk of bias assessed for this study was between low to moderate. Groups according to the MNA were created specifically for this study so important differences were observed in the number of participants in each subgroup (well-nourished and at risk of malnutrition). Analysis was not conducted under the intention to treat frame, which may lead to time bias or survival bias. Even though, sample sizes were similar in other studies. Therefore, studies with a larger number of participants should be developed to establish deeper conclusions as the statistical power of our analyses was very low in some comparisons. Besides, adherence apparently did not affect the final results. Body composition measurements in this study were performed using BIA and even when all measurements were standardized to avoid possible bias (Safer, Tasci, Binay Safer, & Doruk, 2013). Other confounders not considered, such as pharmacology and nutrient intake or dietary quality, may be interfering in the results. It should be highlighted that from the best of our knowledge, the MCT used is the one with the longest intervention period in this topic. Even though no one in TRAIN revoked their participation and the percentage of attendance was high, it was difficult to encourage attendance for CON, which may lead to bias. Moreover, all participants (both in CON and in TRAIN) have requested to participate in an intervention group again in a new phase of the project.

5. Conclusion

To sum up, some differences between older adults at risk of malnutrition and well-nourished are observed in relation to physical fitness. The implementation of an MCT programme seems to prevent a decrease in the nutritional status of well-nourished older adults. Moreover, although both groups seem to increase their physical performance similarly, the well-nourished seemed to obtain more benefits from the MCT as they present additionally, a decrease in their adiposity and an increase in balance which are not observed in those at risk. For all these reasons, future research focusing on the nutritional status of participants,

maximizing the training period or including nutritional interventions that lead to positive effects on nutritional status could help to prevent pathologies, dependence, or the need for care and improve not only quality of life in this population but also individual and social sustainability.

Acknowledgments

The authors are grateful to all the collaborators, nursing homes, health centres and participants whose cooperation and dedication made this study possible.

Disclosure statement

No potential conflict of interest was reported by the author(s).

Funding

This study was funded by Ministerio de Economía, Industria y Competitividad, Gobierno de España (DEP2016-78309-R), Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza (UZCUD2017-BIO-01), Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES) and FEDER funds from the European Union (CB16/10/00477). A. M. F. received a PhD grant from “Gobierno de Aragón” [grant number 2016-2021]. D. N. received a grant from “Gobierno de Aragón” [grant number DGAIU/1/20]. A. F. G. received a grant from the Spanish Government [grant number BES-2017-081402].

ORCID

Ana Moradell  <http://orcid.org/0000-0003-0330-5558>
 Jorge Pérez-Gómez  <http://orcid.org/0000-0002-4054-9132>
 Ignacio Ara Royo  <http://orcid.org/0000-0002-2854-6684>
 Jose Antonio Casajús  <http://orcid.org/0000-0002-7215-6931>
 Alba Gómez-Cabello  <http://orcid.org/0000-0001-6492-2512>
 Germán Vicente-Rodríguez  <http://orcid.org/0000-0002-4303-4097>

References












- Alcazar, J., Losa-Reyna, J., Rodriguez-Lopez, C., Alfaro-Acha, A., Rodriguez-Mañas, L., Ara, I., ... Alegre, L. M. (2018). The sit-to-stand muscle power test: An easy, inexpensive and portable procedure to assess muscle power in older people. *Experimental Gerontology*, 112, 38–43.
- Angulo, J., El Assar, M., Bustos, AÁ, & Rodríguez-Mañas, L. (2020). Physical activity and exercise: Strategies to manage frailty. *Redox Biology*, 35, 101513.
- Anton, S. D., Hida, A., Mankowski, R., Layne, A., Solberg, L. M., Mainous, A. G., & Buford, T. (2018). Nutrition and exercise in sarcopenia. *Current Protein & Peptide Science*, 19(7), 649–667.
- Consejo Superior de Deportes. (1992). *Ministerio de Educación y Ciencia*. Madrid: Eurofit : test europeo de aptitud física.
- Cuervo, M., García, A., Ansorena, D., Sánchez-Villegas, A., Martínez-González, M. A., Astiasarán, I., & Martínez, J. A. (2009). Nutritional assessment interpretation on 22 007 Spanish community-dwelling elders through the Mini Nutritional Assessment test. *Public Health Nutrition* 2019/08/19, 12(1), 82–90.
- Dalle, S., Rossmeislova, L., & Koppo, K. (2017). The role of inflammation in age-related Sarcopenia. *Frontiers in Physiology*, 8, 1045.
- Echeverría, I., Amasene, M., Urquiza, M., Labayen, I., Anaut, P., Rodríguez-Larrad, A., ... Besga, A. (2020). Multicomponent physical exercise in older adults after hospitalization: A randomized controlled trial comparing short- vs. long-term group-based interventions. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2), 666.
- Fernández-García, ÁI, Gómez-Cabello, A., Moradell, A., Navarrete-Villanueva, D., Pérez-Gómez, J., Ara, I., ... Vicente-Rodríguez, G. (2020). How to improve the functional capacity of frail and pre-frail elderly people? Health, nutritional status and exercise intervention. The EXERNET-Elder 3.0 project. *Sustainability*, 12(15), 6246.
- Fiuza-Luces, C., Garatachea, N., Berger, N. A., & Lucia, A. (2013). Exercise is the real polypill. *Physiology*, 28, 330–358.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). “Minimal state”: a practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198.
- Fulop, T., Larbi, A., Witkowski, J. M., McElhaney, J., Loeb, M., Mitnitski, A., & Pawelec, G. (2010). Aging, frailty and age-related diseases. *Biogerontology*, 11(5), 547–563.
- Gomez-Cabello, A., Vicente-Rodríguez, G., Vila-Maldonado, S., Casajús, J. A., & Ara, I. (2012). Aging and body composition: The sarcopenic obesity in Spain. *Nutricion Hospitalaria*, 27(1), 22–30.
- Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G., ... Wallace, R. B. (1994). A short physical performance battery assessing lower extremity function: Association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *Journal of Gerontology*, 49(2), M85–M94.
- Hajek, A., Bock, J.-O., Saum, K.-U., Matschinger, H., Brenner, H., Holleczer, B., ... König, H. H. (2018). Frailty and healthcare costs-longitudinal results of a prospective cohort study. *Age and Ageing*, 47(2), 233–241.
- Izquierdo, M. (2019). Prescripción de ejercicio físico. El programa Vivifrail como modelo. *Nutricion Hospitalaria*, 36, 50–56.
- Izquierdo, M., Merchant, R. A., Morley, J. E., Anker, S. D., Arahamian, I., Arai, H., ... Chen, L. K. (2021). International exercise recommendations in older adults (ICFSR): expert consensus guidelines. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 25.
- Kamo, T., Ishii, H., Suzuki, K., & Nishida, Y. (2019, January). The impact of malnutrition on efficacy of resistance training in community-dwelling older adults. *Physiotherapy Research International*, 24(1), e1755.
- Lobo, A., Saz, P., Marcos, G., Día, JL, De la Cámara, C, Ventura, T, Morales Asín, F, et al. (1999). Revalidation and standardization of the cognition mini-exam (first Spanish version of the mini-mental status Examination) in the general geriatric population. *Med Clin (Barc)*, 112(20), 767–774.
- Lopez-Rodriguez, C., Laguna, M., Gomez-Cabello, A., Gusi, N., Espino, L., Villa, G., ... Aznar, S. (2017, March). Validation of the self-report EXERNET questionnaire for measuring

- physical activity and sedentary behavior in elderly. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 69, 156–161.
- Mahoney, J. R., & Verghese, J. (2020). Does cognitive impairment influence visual-somatosensory integration and mobility in older adults? *The Journals of Gerontology: Series A*, 75(3), 581–588.
- Maltais, M., Rolland, Y., Hajj, P.-E., Armaingaud, D., Cestac, P., Rouch, L., & de Souto Barreto, P. (2018). The effect of exercise and social activity interventions on nutritional status in older adults with dementia living in nursing homes: A randomised controlled trial. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 22(7), 824–828.
- Michel, J. P., Cruz-Jentoft, A. J., & Cederholm, T. (2015). Frailty, exercise and nutrition. *Clin Geriatr Med*, 31, 375–387.
- Moradell, A., Fernández-García, ÁI, Navarrete-Villanueva, D., Sagarra-Romero, L., Gesteiro, E., Pérez-Gómez, J., ... Gómez-Cabello, A. (2021). Functional frailty, dietary intake, and risk of malnutrition. Are nutrients involved in muscle synthesis the key for frailty prevention? *Nutrients*, 13.
- Moradell, A., Navarrete-Villanueva, D., Fernández-García, ÁI, Marín-Puyalto, J., Gómez-Bruton, A., Pedrero-Chamizo, R., ... Vicente-Rodríguez, G. (2020a). Role of dietary intake and serum 25(OH)D on the effects of a multicomponent exercise program on bone mass and structure of frail and Pre-frail older adults. *Nutrients*, 12(10), 3016.
- Moradell, A., Navarrete-Villanueva, D., Fernández-García, ÁI, Sagarra-Romero, L., Marín-Puyalto, J., Pérez-Gómez, J., ... Vicente-Rodríguez, G. (2020b). Effects of a multicomponent exercise program, a detraining period and dietary intake prediction of body composition of frail and pre-frail older adults from the exernet elder 3.0 study. *Sustainability*, 12(23), 9894–9894.
- O'Connell, M. L., Coppinger, T., & McCarthy, A. L. (2020). The role of nutrition and physical activity in frailty: A review. *Clinical Nutrition ESPEN*, 35, 1–11.
- Pereira da Silva, A., Matos, A., Valente, A., Gil, Â, Alonso, I., Ribeiro, R., ... Gorjão-Clara, J. (2016). Body composition assessment and nutritional status evaluation in men and women Portuguese centenarians. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 20(3), 256–266.
- Ramsey, K. A., Meskers, C. G. M., Trappenburg, M. C., Verlaan, S., Reijnierse, E. M., Whittaker, A. C., ... Maier, A. B. (2020). Malnutrition is associated with dynamic physical performance. *Aging Clinical and Experimental Research*. 2019/08/19, 32(6), 1085–1092.
- Rikli, R. E., & Jones, C. J. (2013). Senior fitness test manual. *Gerontologist*, 53(2), 255–267.
- Safer, U., Tasci, I., Binay Safer, V., & Doruk, H. (2013). Is segmental bioelectrical impedance analysis a valid tool to assess muscle mass in the elderly?. *Geriatr Gerontol Int.*, 13, 1085–1086.
- Schreier, M. M., Bauer, U., Osterbrink, J., Niebauer, J., Iglseder, B., & Reiss, J. (2016). Fitness training for the old and frail. Effectiveness and impact on daily life coping and self-care abilities. *Zeitschrift fuer Gerontologie und Geriatrie*, 49(2), 107–114.
- Schroder, H., Fito, M., Estruch, R., Martinez-Gonzalez, M. A., Corella, D., Salas-Salvado, J., ... Lapetra, J. (2011). A short screener is valid for assessing Mediterranean diet adherence among older Spanish men and women. *The Journal of Nutrition*, 141(6), 1140–1145.
- Shlisky, J., Bloom, D. E., Beaudreault, A. R., Tucker, K. L., Keller, H. H., Freund-Levi, Y., ... Meydani, S. N. (2017). Nutritional considerations for healthy aging and reduction in age-related chronic disease. *Advances in Nutrition: An International Review Journal*, 8(1), 17–26.
- Soyсал, P., Veronese, N., Arik, F., Kalan, U., Smith, L., & Isik, A. T. (2019). Mini nutritional assessment scale-short form can be useful for frailty screening in older adults. *Clinical Interventions in Aging*, 14, 693–699.
- Ticinesi, A., Meschi, T., Lauretani, F., Felis, G., Franchi, F., Pedrolli, C., ... Maggio, M. (2016, March 29). Nutrition and inflammation in older individuals: Focus on vitamin D, n-3 polyunsaturated fatty acids and whey proteins. *Nutrients*, 8(4), 186.
- Tim Olds Arthur Stewart. (2011). Lindsay Carter Mike M-JAS. International Standards for Anthropometric Assessment. Internatio.
- Vellas, B., Guigoz, Y., Garry, P. J., Nourhashemi, F., Bennahum, D., Lauque, S., ... Albaredo, J. L. (1999). The Mini Nutritional Assessment (MNA) and its use in grading the nutritional state of elderly patients. *Nutrition*, 15(2), 116–122.
- Vopat, B. G., Klinge, S. A., McClure, P. K., & Fadale, P. D. (2014, September). The effects of fitness on the Aging process. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 22(9), 576–585.

5.6. Artículo VI

Article

Functional Frailty, Dietary Intake, and Risk of Malnutrition. Are Nutrients Involved in Muscle Synthesis the Key for Frailty Prevention?

Ana Moradell ^{1,2,3,4} , Ángel Iván Fernández-García ^{1,2,3,4} , David Navarrete-Villanueva ^{1,2,3,5} ,
Lucía Sagarra-Romero ⁶ , Eva Gesteiro ^{3,7} , Jorge Pérez-Gómez ⁸ , Irene Rodríguez-Gómez ^{9,10} ,
Ignacio Ara ^{9,10} , Jose A. Casajús ^{1,2,3,5,11} , Germán Vicente-Rodríguez ^{1,2,3,4,11} 
and Alba Gómez-Cabello ^{1,2,3,4,11,12,*} 

- ¹ GENUD (Growth, Exercise, Nutrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain; amoradell@unizar.es (A.M.); angelivanfg@unizar.es (Á.I.F.-G.); dnavarrete@unizar.es (D.N.-V.); joseant@unizar.es (J.A.C.); gervicen@unizar.es (G.V.-R.)
- ² Agrifood Research and Technology Centre of Aragón -IA2-, CITA-Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
- ³ Exercise and Health in Special Population Spanish Research Net (EXERNET), 50009 Zaragoza, Spain; eva.gesteiro@upm.es
- ⁴ Faculty of Health and Sport Science (FCSD), Department of Physiatry and Nursing, University of Zaragoza, Ronda Misericordia 5, 22001 Huesca, Spain
- ⁵ Department of Physiatry and Nursing, Faculty of Health, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain
- ⁶ Faculty of Health Sciences, San Jorge University, Villanueva de Gállego, 50830 Zaragoza, Spain; lsagarra@usj.es
- ⁷ ImFINE Research Group, Department of Health and Human Performance, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences-INEF, Polytechnic University of Madrid, 28040 Madrid, Spain
- ⁸ HEME (Health, Economy, Motricity and Education) Research Group, Faculty of Sport Science, University of Extremadura, 10003 Cáceres, Spain; jorgepg100@unex.es
- ⁹ GENUD Toledo Research Group, University of Castilla-La Mancha, 45071 Toledo, Spain; irene.rodriguez@uclm.es (I.R.-G.); ignacio.ara@uclm.es (I.A.)
- ¹⁰ Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), 28029 Madrid, Spain
- ¹¹ Centro de Investigación Biomédica en Red de Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición (CIBEROBn), 28029 Madrid, Spain
- ¹² Centro Universitario de la Defensa, 50090 Zaragoza, Spain
- * Correspondence: agomez@unizar.es; Tel.: +34-876-553-756



Citation: Moradell, A.; Fernández-García, Á.I.; Navarrete-Villanueva, D.; Sagarra-Romero, L.; Gesteiro, E.; Pérez-Gómez, J.; Rodríguez-Gómez, I.; Ara, I.; Casajús, J.A.; Vicente-Rodríguez, G.; et al. Functional Frailty, Dietary Intake, and Risk of Malnutrition. Are Nutrients Involved in Muscle Synthesis the Key for Frailty Prevention?. *Nutrients* **2021**, *13*, 1231. <https://doi.org/10.3390/nu13041231>

Academic Editors:
Emiliana Giacomello and
Luana Toniolo

Received: 1 March 2021
Accepted: 3 April 2021
Published: 8 April 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Frailty is a reversible condition, which is strongly related to physical function and nutritional status. Different scales are used to screened older adults and their risk of being frail, however, Short Physical Performance Battery (SPPB) may be more adequate than others to measure physical function in exercise interventions and has been less studied. Thus, the main aims of our study were: (1) to describe differences in nutritional intakes by SPPB groups (robust, pre-frail and frail); (2) to study the relationship between being at risk of malnourishment and frailty; and (3) to describe differences in nutrient intake between those at risk of malnourishment and those without risk in the no-frail individuals. One hundred one participants (80.4 ± 6.0 year old) were included in this cross-sectional study. A validated semi-quantitative food frequency questionnaire was used to determine food intake and Mini Nutritional Assessment to determine malnutrition. Results revealed differences for the intake of carbohydrates, *n*-3 fatty acids (*n*3), and saturated fatty acids for frail, pre-frail, and robust individuals and differences in vitamin D intake between frail and robust (all $p < 0.05$). Those at risk of malnutrition were approximately 8 times more likely to be frail than those with no risk. Significant differences in nutrient intake were found between those at risk of malnourishment and those without risk, specifically in: protein, PUFA *n*-3, retinol, ascorbic acid, niacin equivalents, folic acid, magnesium, and potassium, respectively. Moreover, differences in alcohol were also observed showing higher intake for those at risk of malnourishment (all $p < 0.05$). In conclusion, nutrients related to muscle metabolism showed to have different intakes across SPPB physical function groups. The intake of these specific nutrients related with risk of malnourishment need to be promoted in order to prevent frailty.

Keywords: performance; frailty; nutritional status; vitamin D; protein

1. Introduction

Frailty is characterized by a loss of strength, endurance, and physical ability and cognitive function, which results in an increased risk of vulnerability to disease, dependence, and death [1,2]. Previously to this state and subsequently to a physiological decline, a pre-frail stage identifies a subset of high risk and potentially reversible condition before onset of established frailty [2]. Evidence shows that those in an intermediate stage between robust and frailty, namely, pre-frail, present an increased risk of becoming frail within just 3 years [3].

The most common method to assess frailty and pre-frailty stages is the Fried Phenotype [3]; however, the Short Physical Performance Battery (SPPB) is also frequently used [4] as a screening tool. Although the Fried phenotype has been widely used as a frailty scale, its applicability in the routine clinical practice is questionable because of the complexity of some measurements such as a handgrip dynamometer. Pre-disability condition of frailty can indeed be captured using the SPPB as a comprehensive measure of physical functioning impairment [5]. Even this first scale is the most widely cited [6], both have been widely used across the literature. However, components of the assessments differ, which may have implications on the feasibility of incorporating these assessments into clinical practice. For example, Pritchard et al. found different results when both scales were used to determine pre-frail and frail stages [7], and Lim et al. have recently suggested not overlapping the scales [8]. Nevertheless, the use of SPPB is increasing as it evaluates not only physical function but also physical performance through a mobility domain that could be of a higher interest in rehabilitation, physical exercise, and physical activity-related interventions.

Variety of health conditions contribute to the development of frailty, including environmental factors such as physical activity [9] or poor nutrition [10,11]. In addition, diseases as sarcopenia, defined as a generalized skeletal muscle mass disorder, often overlap with frailty and led to this detriment [12]. However, it implies not only muscle in limbs but also those involve in chewing and swallowing [13], which affects negatively food consumption. Optimal nutritional intake could delay frailty by avoiding chronic diseases such as cardiovascular diseases, obesity, and diabetes [14], increasing muscle mass and physical function, and even improving immune system [15]. In this regard, multiple studies have associated frailty, assessed by Fried phenotype, with different nutritional parameters such as low energy and low protein intake, vitamin B12 and vitamin D deficiency, or a higher risk of malnourishment [10,16]. However, to the best of our knowledge, a few studies differ between nutritional intake in these three-frailty stages determined by Fried [17–19], while no studies have been published reporting neither these dietary intake differences in frailty stages assessed by SPPB. This relationship could be interesting to design and implement more accurate strategies involving exercise and nutritional supplementation. There are existing exercise interventions including older adults and considering frail Fried phenotypes, which combine nutritional supplements and exercise in order to improve functional capacity [15,16,20]; they considered each nutrient's attributed effect without considering differences in dietary intakes between SPPB stages and taking these results into account could improve their outcomes. Thus, it should be of high importance to investigate which nutrients differ in frailty stages in order to design appropriate interventions according to the stage of frailty.

In light of the above, authors from the present study hypothesize to find deficiencies and lower intakes in nutrients that are strongly related to skeletal muscle synthesis in those people classified as frail or even in pre-frail compared with robust (according to SPPB). We also hypothesize that being at risk of malnutrition increases the likelihood of being frail.

Thus main purposes of this study were: (1) to investigate the differences in dietary intake between the different stages measured by SPPB (robust, frail, and pre-frail); (2) to

describe the proportion of frail, pre-frail, and robust who meet the EFSA dietary references values in older adults; (3) to study the relationship between the risk of malnourishment and the development of functional frailty (measured by SPPB); and (4) to assesses possible key nutrients associated to possible development of frailty when there is a risk of malnutrition.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design and Participants

This cross-sectional study was carried out in the framework of the EXERNET Elder 3.0 project. Participant recruitment was done in three health care centers and three nursing homes from the city of Zaragoza, Spain during 2018. Briefly, this study aims to implement a 6-month multicomponent exercise program in frail and pre-frail older adults in order to improve physical function and physical performance. Data for this report correspond to the evaluation previous to the intervention phase. This report also includes robust individuals who came to the recruitment phase. Inclusion criteria for the study were: (1) to be older than 65 years old, (2) not suffering from dementia and/or cancer, and (3) not being invalid (<4 points scored by SPPB). Participants with missing information of the food frequency questionnaire or mini nutritional assessment score were also excluded for the present study.

All methodology was described carefully elsewhere [21]. Information about functional capacity and other health/lifestyle outcomes such as daily walking and sitting hours, smoking, cognitive status (measured by Mini Mental State Examination [22]), or sleeping hours were collected through a structured questionnaire. The dietary information (food frequency questionnaire) was obtained once, in a separated day [23].

2.2. Ethics Statement

Oral and written information and possible benefits and risks derived from participation in this study were given to participants during the first day of attendance. Afterwards, from all the included participants, a written informed consent was obtained. National and European legislation related to data protection was followed rigorously.

The study was performed according to the Helsinki Declaration of 1961 revised in Fortaleza (2013) and the current legislation of human clinical research of Spain (Law 14/2007). The Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50) approved the study protocol.

2.3. Short Physical Performance Battery

The Short Physical Performance Battery (SPPB) was performed in order to evaluate the physical performance and functional status of the participants. Three tests composed the SPPB; balance (to stand up for 10 s with feet positioned in three ways: together side-by-side, semi-tandem, and tandem positions), usual gait speed (time to complete 4 m walking), and lower limb strength (time to rise 5 times from a chair) [24].

The total battery score from 0 to 12 points. Four functional stages were created in order to classify participants: dependent (<4 points), frail (4–6 points), pre-frail (7–9 points), and robust (>9 points) [4].

2.4. Anthropometrics and Body Composition Measurements

A portable stadiometer of 2.10 m (SECA, Hamburg, Germany) was used to measure height. To measure body weight (kg) and to estimate body total fat mass (TFM), percentage of body fat (FM%), and fat free mass (FFM), a portable bioelectrical impedance analyzer (BIA) (TANITA BC 418-MA Tanita Corp., Tokyo, Japan) was used. To standardize and avoid bias in the process, all participants had to come to the research center early in the morning with fasting. They were also advised to empty their bladder before the measurements. Older individuals had to remove shoes and heavy clothes. Body mass index (BMI) was calculated dividing weight (in kg) by the height in meters squared ((BMI = weight/height²; kg/m²).

Mid-arm (relaxed) and calf circumferences were evaluated according to the International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK) protocol. A Rosscraft Anthrotape (Rosscraft Innovations Inc, Vancouver, BC, Canada) was used for this purpose.

2.5. Mediterranean Diet Adherence

The 14-point Mediterranean Diet Adherence questionnaire consist of 12 questions about food intake and 2 questions about food habits considered as characteristic from the Mediterranean diet. The result allows knowing the adherence to this diet [25]. Maximal score possibly obtain is 14, as each item point 0 or 1 depending on if the habit asked is complying each item. Results from the Mediterranean Diet Adherence were categorized as low adherence (<9 points) and high adherence (≥ 9 points).

2.6. Mini Nutritional Assessment

The Mini Nutritional Assessment (MNA) consists of 18-items 15 questions about diet, self-perception of nutritional and health state, and functional or independence and three anthropometric parameters (BMI, calf circumference and mid-arm circumference). All the items were specific for geriatric assessment. The final score classifies the participant as; well-nourished (>23.5 points), at risk of malnourishment (17–23.5 points), or malnourished (<17 points) [26,27].

2.7. Food Frequency Questionnaire

To assess dietary intake, a semiquantitative food frequency questionnaire, previously validated in Spain was used [23,28]. Information collected was relative to the last year. Moreover, 137 items accompanied by their typical portion size was complete. Participants selected the frequency of consumption between nine options ranging from never/almost never to six or more times per day. To obtain the daily intake, the portion size was multiplied by the frequency of consumption. Spanish food composition tables and other sources of information [29,30] were used to estimated nutrient intake. Data extracted from this questionnaire were total mean energy intake (kcal/day), macronutrients (protein, fat, and carbohydrates in g/day and % kcal of the total macronutrient energy distribution), alcohol (g and % kcal of the total macronutrient energy distribution), types of fatty acids (g/day), types of polyunsaturated fatty acids (PUFA) (*n*-3 and *n*-6) (g/day), vitamins and minerals (mg or ug/day as corresponding to the nutrient referred). Moreover, for each food item, we estimated the average amount of food consumed in grams and grouped them according to their nutrient contribution.

Dietary Reference Values were used in the study according to EFSA recommendations (2017) for adults [31].

2.8. Statistical Analysis

Calculations were performed using The Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) v. 20.0 for Windows (SPSS, Inc., Chicago, IL, USA). Normality of the data was ensuring for the variables in three SPPB groups (robust, pre-frail, and frail). Differences between descriptive characteristics were assessed by analysis of variance (ANOVA) of one factor for continuous variables and chi-squared test for categorical variables. An additional ANOVA analysis was performed to describe differences between food group consumption. Groups according to dietary recommendations were created in order to describe how much people meet recommendations in each group and to show differences between SPPB groups by a chi-squared test. Moreover, an analysis of covariance (ANCOVA) adjusted by energy intake was performed to study differences in nutrient intake between the three groups. Further analyses were used to show differences in frail and pre-frail compared with robust as the reference group.

Additionally, a binary logistic regression analysis was used to study if being at risk of malnutrition was a predictor of being frailty. For this analysis, a non-frailty group was created including robust and pre-frail participants together and separated from frail, as a different group to compare them. The reason for this grouping was to increase the number of subjects and thus, the power of the analyses when comparing against frailty. Finally, differences in nutrient intake between those at risk of malnutrition and those with no risk in non-frail group were investigated by another ANOVA in order to elucidate possible key nutrients, which

could influence frailty development in those no-frail, between those at risk of malnutrition, and those without risk. Statistical significance for all the analyses was set at $p < 0.05$.

3. Results

A total of 101 participants (78 females) with a mean age of 80.4 years met the inclusion criteria and were included in this report. Descriptive characteristics and differences between robust, pre-frail, and frail participants are shown in Table 1. Statistical differences between groups were observed for age, weight, and MNA.

Table 1. Descriptive characteristics of the participants of the study.

	Whole Sample ($n = 101$)	Robust ($n = 13$)	Pre-Frail ($n = 68$)	Frail ($n = 20$)	p Value
Sex					0.317
Males	23 (22.8)	1 (7.7)	18 (26.5)	4 (20.0)	
Females	78 (77.2)	12 (92.3)	50 (73.5)	16 (80.0)	
Age (years)	80.4 \pm 6.0	77.3 \pm 5.4	80.0 \pm 5.8	83.0 \pm 5.7	0.005
BMI (kg/m ²)	29.4 \pm 5.4	27.2 \pm 3.0	29.9 \pm 5.0	29.4 \pm 7.1	0.262
Weight (kg)	72.3 \pm 14.2	66.0 \pm 7.0	74.8 \pm 13.7	69.2 \pm 16.5	0.038
BF%	37.4 \pm 6.9	37.6 \pm 4.9	37.9 \pm 7.1	36.2 \pm 7.4	0.569
FFM (kg)	44.7 \pm 8.7	41.0 \pm 3.5	46.2 \pm 9.3	43.1 \pm 8.4	0.061
MNA	23.1 \pm 3.1	24.6 \pm 1.9	23.6 \pm 3.0	21.2 \pm 2.8	<0.001
Risk of malnutrition	42 (41.6)	3 (23.0)	23 (33.8)	16 (80.0)	<0.001
No risk of malnutrition	59 (58.4)	10 (77.0)	45 (66.2)	4 (20.0)	
ADM	7.6 \pm 0.95	8.3 \pm 2.4	7.5 \pm 1.2	7.5 \pm 2.7	0.363
Low ADM	78 (77.2)	7 (53.8)	54 (79.4)	17 (85.0)	
High ADM	23 (22.8)	6 (46.2)	14 (20.6)	3 (15.0)	
Smoking	3 (3.0)	0 (0.0)	3 (4.4)	0 (.055)	0.643
MMSE	26.6 \pm 2.8	27.0 \pm 3.0	26.8 \pm 2.6	25.5 \pm 2.8	0.134

BMI: body mass index, BF%: body fat percentage, FFM: fat free mass, SPPB: short physical performance battery, MNA: mini nutritional assessment, ADM: Adherence to Mediterranean Diet, MMSE: Mini mental state examination. n and (%) for categorical variables, mean and standard deviation for continuous variables. All statistical significance was set in $p < 0.05$.

Table 2 describes the intake of food group's consumption for each SPPB group. Differences were only observed for cheese between pre-frail and robust ($p < 0.05$).

Table 2. Differences of food group intakes between robust, pre-frail, and frail older adults.

	Robust ($n = 13$)	Pre-Frail ($n = 68$)	Frail ($n = 20$)	p Value
Yogurt (g/day)	71.2 \pm 64.0	77.6 \pm 62.0	88.2 \pm 90.5	0.735
Milk (g/day)	190.0 \pm 180.7	228.3 \pm 167.5	300.0 \pm 184.2	0.120
Cheese (g/day)	61.3 \pm 41.1	27.0 \pm 24.4 *	37.2 \pm 44.1 *	0.002
Eggs (g/day)	27.4 \pm 13.5	25.5 \pm 12.8	25.1 \pm 15.9	0.882
Red meat (g/day)	62.8 \pm 51.0	57.7 \pm 39.6	49.64 \pm 6	0.614
White meat (g/day)	81.2 \pm 71.7	64.6 \pm 32.4	61.3 \pm 41.1	0.331
Lean meat products (g/day)	32.6 \pm 23	23.8 \pm 20.9	19.1 \pm 16.2	0.161
Fat meat products (g/day)	14.3 \pm 19.5	11.4 \pm 11.7	13.2 \pm 12.6	0.671
White fish (g/day)	51.0 \pm 30.1	45.5 \pm 29.0	45.0 \pm 30.5	0.809
Oily fish (g/day)	36.2 \pm 41.1	25.2 \pm 25.7	15.8 \pm 17.5	0.079
Seafood (g/day)	25.3 \pm 29.4	22.9 \pm 28.6	30.4 \pm 35.9	0.490
Vegetables (g/day)	463.9 \pm 237.2	444.6 \pm 218.1	391.34 \pm 221.6	0.511
Fruit (g/day)	481.9 \pm 222.0	454.4 \pm 236.0	517.5 \pm 637.6	0.753
Nuts (g/day)	42.1 \pm 43.30	33.6 \pm 56.7	36.76 \pm 58.7	0.871
Legumes (g/day)	22.8 \pm 12.9	22.3 \pm 13.5	28.6 \pm 19.8	0.195
Cereals and potatoes (g/day)	169.9 \pm 95.7	210 \pm 106.6	200.5 \pm 81.0	0.402
Olive oil (g/day)	32.9 \pm 21.1	31.4 \pm 21.6	31.1 \pm 18.1	0.964
Fats and other oils (g/day)	4.5 \pm 5.5	5.0 \pm 6.7	3.86 \pm 5.4	0.728
Fruit juices and beverages (g/day)	84.5 \pm 91.9	67.3 \pm 97.4	90.8 \pm 127.3	0.964
Coffee and tea (g/day)	73.3 \pm 52.1	57.6 \pm 44.2	48.4 \pm 58.5	0.331
Savory snacks (g/day)	48.3 \pm 58.3	52.8 \pm 71.1	92.3 \pm 96.6	0.076
Sweet snacks (g/day)	92.1 \pm 74.3	100.1 \pm 75.6	107.6 \pm 62.9	0.817
Alcoholic consumers	($n = 10$)	($n = 54$)	($n = 15$)	
Beer (g/day)	65.7 \pm 101.9	77.5 \pm 169.0	13.8 \pm 36.4	0.337
Wine (g/day)	48.8 \pm 45.72	68.4 \pm 76.8	66.6 \pm 68.1	0.732

* differences between pre-frail and robust groups. p value established at <0.05 . Beer and wine intake differences were calculated with alcohol consumers.

Percentages of the sample covering the Spanish DRI for vitamins and minerals in each SPPB group are shown in Table 3.

Table 3. Adequate intake or population reference intake and percentage of the sample covering recommendation from EFSA (European Food Safety Authority) of vitamins and minerals by Short Physical Performance Battery (SPPB) groups.

Nutrient Intake	AI or PRI (M/F)	Robust (%)	Pre-Frail (%)	Frail (%)	p value
Retinol equivalents (ug/day)	750/650	100	97.1	95.0	0.710
Vitamin D (ug/day)	15	15.4	0.0	0.0	0.001
Vitamin E (mg/day)	13/11	53.8	47.1	40	0.730
Ascorbic acid (C) (mg/day)	110/95	100.0	100.0	100.0	NC
Thiamine (B1) (mg/day)	1/0.8	100.0	100.0	100.0	NC
Riboflavin (B2) (mg/day)	1.6	100.0	77.9	70.0	0.105
Niacin equivalents (B3) (mg/day)	15.4/12.5	100.0	100.0	100.0	NC
Pyridoxin (B6) (mg/day)	1.7/1.6	100.0	94.1	90.0	0.494
Folic acid (B9) (ug/day)	330	92.3	85.3	72.0	0.373
Cobalamin (B12) (ug/day)	4	100.0	95.6	70.0	0.001
Calcium (mg/day)	950	76.9	60.3	76.9	0.427
Iron (mg/day)	11	100.0	100.0	100.0	NC
Magnesium (mg/day)	300	100.0	91.2	90.0	0.519
Potassium (mg/day)	3500	100.0	92.6	90.0	0.528
Iodine (ug/day)	150	84.6	80.9	85.0	0.887
Selenium (ug/day)	70	92.3	83.8	92.3	0.417
Zinc (mg/day)	16.3/12.7	69.2	38.2	35.0	0.092
Phosphorus (mg/day)	550	100.0	100.0	100	NC

AI: adequate intake represented in ordinary type; PRI: Population Recommended Intake, presented in bold type; dietary recommended intakes; M/F: values of reference for males and females; SPPB short physical performance battery; NC: not calculated.

Differences in percentage of people who cover these recommendations were found for vitamin D and B12. Concretely, for vitamin D, a high proportion of robust people met the recommendations (15.4%), while anyone in the other group reach the reference values. For B12, the whole sample of robust met the recommendations (100.0%), followed by pre-frail (95.6%) and frail (70%).

Differences between the amount of nutrients consumed, adjusted by energy intake are presented in Table 4.

Table 4. Differences between SPPB groups in nutrients adjusted by energy intake.

Nutrient intake	Robust (n = 13)	Pre-Frail (n = 68)	Frail (n = 20)	p Value
	Mean (SD)	Mean (SD)	Mean (SD)	
Carbohydrates (g/day)	234.3 ± 12.8 ^a	261.1 ± 5.6	279.1 ± 10.3	0.027
Protein (g/day)	112.7 ± 4.6 ^a	101.6 ± 2.0 ^b	99.2 ± 3.7	0.062
Total fat (g/day)	114.9 ± 5.0	106.3 ± 2.2	101.9 ± 4.0	0.130
Alcohol (g/day)	4.1 ± 2.5	6.1 ± 1.1	2.9 ± 2.0	0.319
n-3 (g/day)	3.2 ± 0.3 ^a	2.8 ± 0.1	2.0 ± 0.2	0.018
n-6 (g/day)	14.2 ± 1.6	15.5 ± 0.7	13.3 ± 1.3	0.277
MUFA (g/day)	51.5 ± 3.5	48.8 ± 1.5	46.9 ± 2.8	0.591
PUFA (g/day)	18.0 ± 1.9	19.0 ± 0.8	16.2 ± 1.5	0.254
SFA (g/day)	36.1 ± 2.0 ^a	30.0 ± 0.9 ^b	29.6 ± 1.6	0.018
Retinol equivalents (ug/day)	1737.9 ± 189.3	1612.1 ± 82.6	1470.0 ± 152.2	0.530
Vitamin D (ug/day)	7.8 ± 1.0 ^a	6.0 ± 0.4	4.6 ± 0.8	0.054
Vitamin E (mg/day)	10.9 ± 0.8	11.5 ± 0.3	11.6 ± 0.6	0.745
Ascorbic acid (mg/day)	306.3 ± 32.7	273.0 ± 14.3	237.0 ± 26.3	0.246
Thiamine (B1) (mg/day)	2.8 ± 0.3	2.6 ± 0.1	2.6 ± 0.2	0.801
Riboflavin (B2) (mg/day)	2.4 ± 0.2	2.2 ± 0.7	2.1 ± 0.1	0.460
Niacin equivalents (B3) (mg/day)	48.5 ± 2.5	43.0 ± 1.1	41.1 ± 2.0	0.063
Pyridoxin (B6) (mg/day)	2.8 ± 0.2	2.6 ± 0.6	2.4 ± 0.1	0.076
Folic acid (B9) (ug/day)	461.1 ± 33.8	450.4 ± 14.7	405.1 ± 27.2	0.294
Cobalamin (B12) (ug/day)	11.2 ± 1.3	9.8 ± 0.6	8.9 ± 1.0	0.346
Calcium (mg/day)	1299.7 ± 98.2	1127.5 ± 42.8	1145.4 ± 78.9	0.278
Iron (mg/day)	18.1 ± 1.0	17.8 ± 0.4	17.75 ± 0.8	0.956
Sodium (mg/day)	2710.1 ± 157.6	2451.3 ± 68.7	2632.1 ± 126.7	0.204
Magnesium (mg/day)	446.3 ± 13.3	428.7 ± 10.2	427.8 ± 18.7	0.777
Potassium (mg/day)	5158.5 ± 288.8	5043.7 ± 126.0	4622.2 ± 32.2	0.227
Iodine (ug/day)	280.7 ± 44.2	312.7 ± 19.3	349.2 ± 35.6	0.467
Selenium (ug/day)	112.5 ± 6.9	103.1 ± 3.0	102.3 ± 5.6	0.431
Zinc (mg/day)	14.0 ± 0.6	13.0 ± 0.3	13.2 ± 0.5	0.389
Phosphorus (mg/day)	2152.1 ± 108.7	1886.7 ± 47.4	1914.4 ± 87.4	0.086

Omega n-3, n-6: alpha linoleic fatty acid, MUFA: monounsaturated fatty acid, PUFA: polyunsaturated fatty acid, SFA: saturated fatty acid, SPPB short physical performance battery. ^a statistical difference between robust and frail groups ^b statistical differences between frail and pre-frail groups. All statistical significance was established at $p < 0.05$.

Globally, differences were observed between groups for carbohydrates, n3 fatty acids, and saturated fatty acids (SFA) (all $p < 0.05$). Specifically, differences were observed between robust and frail for carbohydrates (234.3 ± 12.8 vs. 279.1 ± 10.3 g/day), protein (112.6 ± 4.6 vs. 99.2 ± 3.7 g/day), n3 (3.2 ± 0.3 vs. 2.0 ± 0.2 g/day), SFA (36.1 ± 2.0 vs. 29.6 ± 1.6 g/day), and vitamin D (7.8 ± 1.0 vs. 4.6 ± 0.8 $\mu\text{g/day}$) (all $p < 0.05$). In addition, differences were observed between pre-frail and frail, specifically for protein (101.6 ± 2.0 vs. 99.2 ± 3.7 g/day) and SFA (30.0 ± 0.9 vs. 29.6 ± 1.6 g/day) (both $p < 0.05$). No statistically significant differences were found between robust and pre-frail for any nutrient.

Moreover, Figures 1–4 show differences in dietary intakes between groups when referenced versus the robust group. Data about graphs is describe detailed in a supplementary file (Table S1). Figure 1 shows differences in macronutrient intake; frail presented a higher intake of carbohydrates ($\beta = 44.9 \pm 16.41$) when compared to robust and a lower consumption of protein ($\beta = -13.4 \pm 6.0$) and total fat ($\beta = -13.0 \pm 6.4$), while pre-frail group only showed differences in protein ($\beta = -11.0 \pm 5.1$) when compared to robust (all $p < 0.05$).

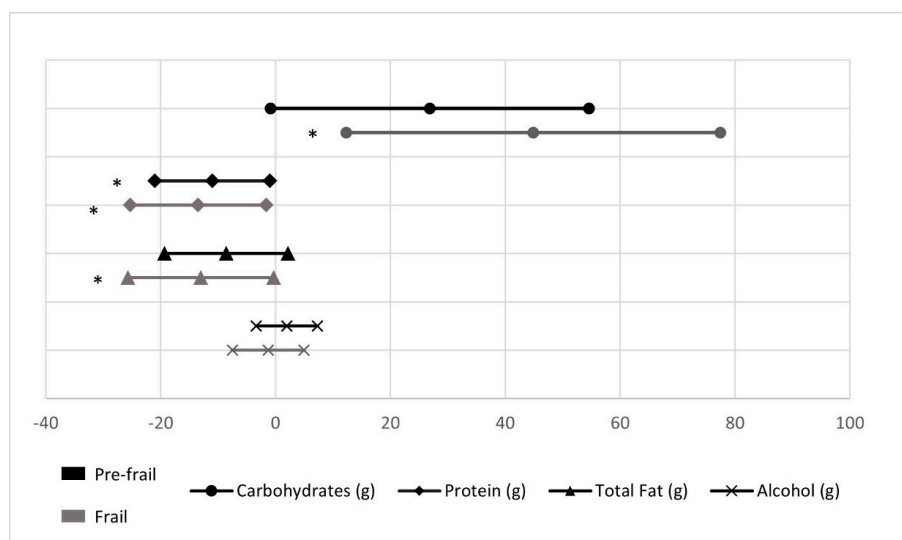


Figure 1. Macronutrient and alcohol intake in pre-frail and frail groups compared with robust (reference group). * Statistically significant differences (p value < 0.05).

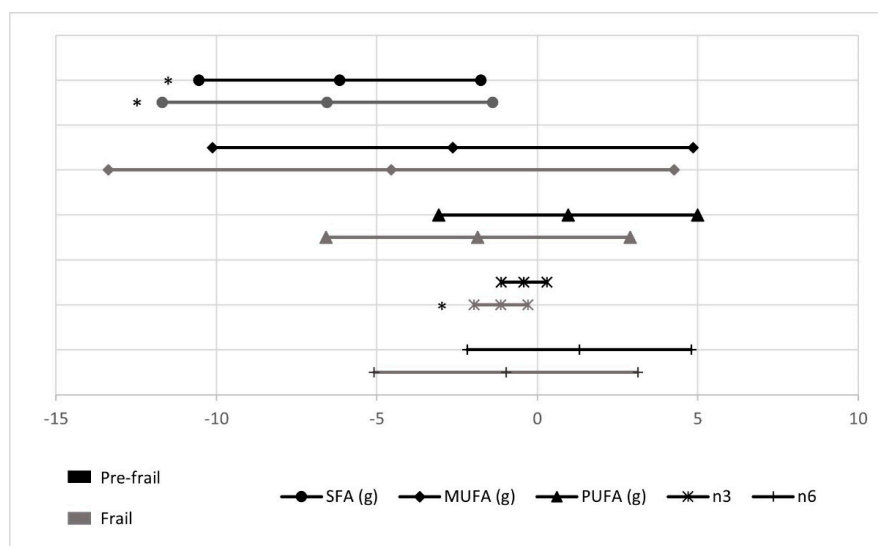


Figure 2. Fat type intake in pre-frail and frail groups compared with robust (reference group). * Statistically significant differences (p value < 0.05).

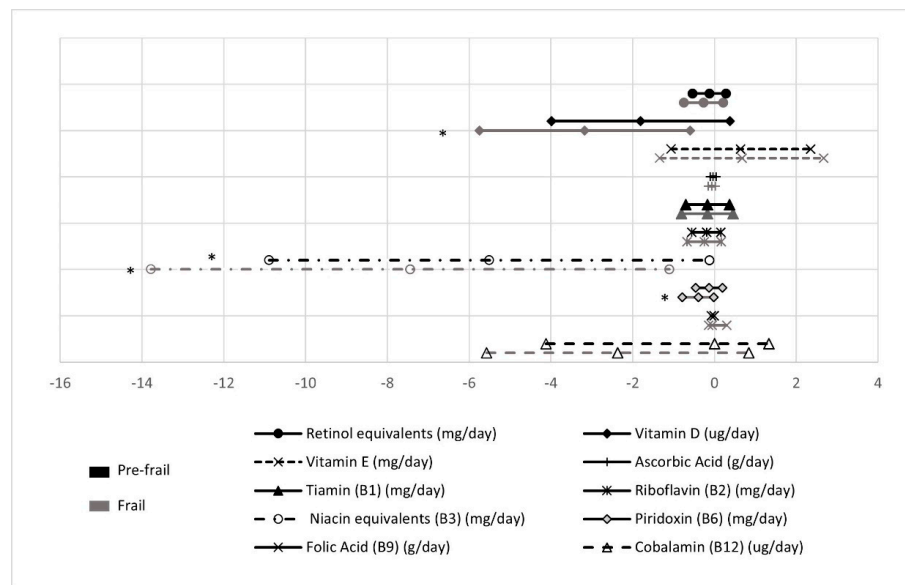


Figure 3. Vitamin intake in pre-frail and frail groups compared with robust (reference group). * Statistically significant differences (p value < 0.05).

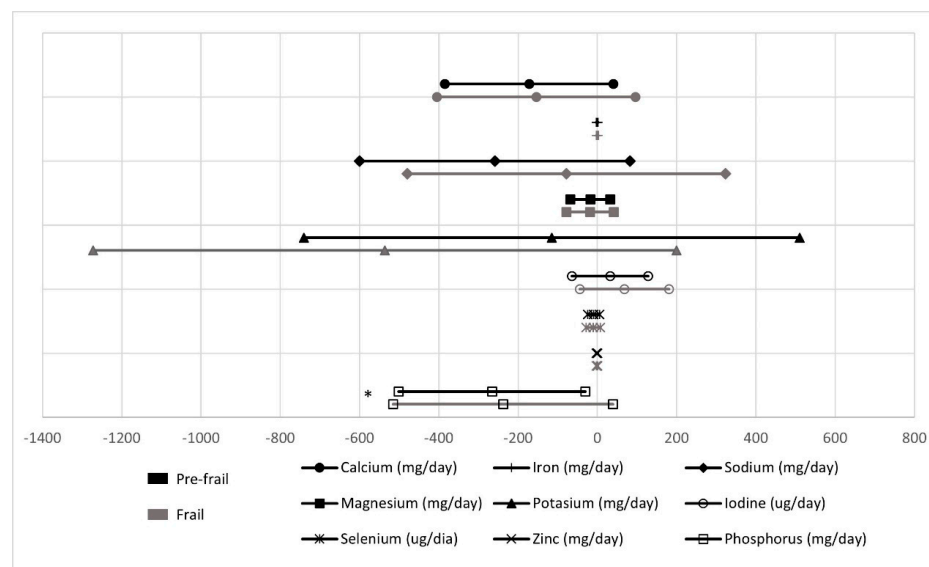


Figure 4. Mineral intake in pre-frail and frail groups compared with robust (reference group). * Statistically significant differences (p value < 0.05).

Data illustrating fat-type consumption are presented in Figure 2.

A lower consumption of SFA was observed in frail and pre-frail ($\beta = -6.6 \pm 2.6$ and $\beta = -6.2 \pm 2.2$, respectively) when considering robust as reference, and only frail presented a smaller intake of PUFA $n-3$ ($\beta = -1.1 \pm 0.4$) (all $p < 0.05$).

Regarding vitamins (Figure 3), frail group showed smaller intake for niacin equivalents ($\beta = -7.4 \pm 3.2$) and for pyridoxin ($\beta = -0.4 \pm 0.2$), while pre-frail only showed smaller intake for niacin equivalents ($\beta = -5.5 \pm 2.7$) when robust was taken as the reference (all $p < 0.05$; Figure 3).

For minerals (Figure 4), only pre-frail showed smaller intakes of phosphorus ($\beta = -265.5 \pm 118.7$) when compared with the reference group of robust ($p < 0.05$).

In addition, the binary logistic regression analysis was performed to predict the probability of being frail when there is a risk of malnourishment (adjusted by sex and age) and showed that those who were at risk of malnourishment were approximately 8 times

more likely of being frail in comparison to those who are not at risk of malnourishment ($\beta = 7.7$; $p < 0.05$).

Finally, differences in nutritional intake of non-frail comparing those at risk of malnutrition and those without risk are presented in Table 5.

Table 5. Differences in nutrients intake between malnutrition groups in non-frail participants.

Nutrient Intake	At Risk of Malnutrition (n = 26)	No Risk of Malnutrition (n = 55)	p Value
	Mean (SD)	Mean (SD)	
Energy (kcal)	2485.3 ± 619.0	2444.5 ± 557.0	0.767
Carbohydrates (%)	42.3 ± 7.7	42.2 ± 7.2	0.959
Protein (%)	15.9 ± 3.3	17.6 ± 2.5	0.013
Total fat (%)	39.2 ± 7.0	39.1 ± 6.9	0.939
Alcohol (g)	2.6 ± 3.6	1.1 ± 1.9	0.020
n-3 (mg/day)	2.3 ± 1.0	3.2 ± 1.7	0.016
n-6 (mg/day)	15.3 ± 7.8	15.4 ± 7.7	0.924
MUFA (%)	18.4 ± 4.8	17.7 ± 4.7	0.559
PUFA (%)	6.3 ± 2.0	7.0 ± 2.7	0.258
SFA (%)	11.3 ± 2.7	11.2 ± 3.0	0.846
Retinol equivalents (ug/day)	1386.1 ± 552.8	1751.1 ± 722.4	0.025
Vitamin D (µg/day)	5.8 ± 3.3	6.5 ± 4.1	0.478
Vitamin E (mg/day)	11.1 ± 3.4	11.6 ± 3.2	0.505
Ascorbic acid (C) (mg/day)	238.2 ± 107.9	297.3 ± 128.4	0.041
Thiamine (B1) (mg/day)	2.5 ± 1.0	2.7 ± 0.9	0.290
Riboflavin (B2) (mg/day)	2.1 ± 0.6	2.7 ± 0.9	0.095
Niacin equivalents (B3) (mg/day)	40.4 ± 10.5	45.6 ± 10.5	0.040
Pyridoxin (B6) (mg/day)	2.4 ± 0.6	2.8 ± 0.6	0.003
Folic acid (B9) (µg/day)	403.9 ± 90.5	475.0 ± 131.3	0.014
Cobalamin (B12) (µg/day)	8.8 ± 3.8	10.7 ± 4.9	0.096
Calcium (mg/day)	1067.6 ± 325.5	1200.3 ± 402.8	0.146
Iron (mg/day)	16.5 ± 3.8	18.5 ± 4.6	0.055
Sodium (mg/day)	2487.9 ± 688.7	2506.5 ± 907.0	0.931
Magnesium (mg/day)	392.2 ± 83.9	451.3 ± 111.6	0.019
Potassium (mg/day)	4591.9 ± 829.8	5293.8 ± 1302.0	0.014
Iodine (µg/day)	272.2 ± 155.1	325.1 ± 161.1	0.167
Selenium (ug/day)	95.1 ± 32.9	109.4 ± 31.4	0.061
Zinc (mg/day)	12.3 ± 3.5	13.6 ± 3.3	0.090
Phosphorus (mg/day)	1795.1 ± 440.6	1997.7 ± 513.5	0.087

Omega n-3: alpha linolenic fatty acid, n-6: alpha linoleic fatty acid, MUFA: monounsaturated fatty acids, PUFA: polyunsaturated fatty acids, SFA: saturated fatty acids. %: percentage of total energy intake. Statistical significance established at $p < 0.05$.

Those non-frail participants at risk of malnourishment showed significant lower intake for protein (15.9 ± 3.3 vs. 17.6 ± 2.5% from the total energy intake), PUFA n-3 (2.3 ± 1.0 vs. 3.2 ± 1.7 g/day), retinol (1386.1 ± 552.8 vs. 1751.1 ± 722.4 µg/day), ascorbic acid (238.2 ± 107.9 vs. 297.3 ± 128.4 mg/day), niacin equivalents (40.4 ± 10.5 vs. 45.6 ± 10.5 mg/day), folic acid (403.9 ± 90.5 vs. 475.0 ± 131.3 µg/day), magnesium (392.2 ± 83.9 vs. 451.3 ± 111.6 mg/day), and potassium (4591.9 ± 829.8 vs. 5293.8 ± 1302.0 mg/day) (all $p < 0.05$). Moreover, those at risk of malnutrition also had a higher alcohol intake compared to the well-nourished (2.6 ± 3.6 vs. 1.1 ± 1.9 g, $p < 0.05$).

4. Discussion

The main findings of this study are: (1) some differences exist in the nutritional intake (carbohydrates, protein, vitamin D, PUFA n-3, and SFA) between robust, pre-frail, and frail older people but not for food groups; (2) vitamin D recommendations were met in higher proportions in robust group, while none of the pre-frail and pre-frail participants reached recommendations; (3) those older adults at risk of malnutrition were 7.7 times more likely to being frail compared to those without risk of malnutrition, (4) differences in intakes of protein, alcohol, PUFA n-3, retinol equivalents, ascorbic acid, niacin, pyridoxin,

folic acid, magnesium, and phosphorus were observed between those non-frails at risk of malnourishment suggesting their important role in frailty prevention.

Nutrient deficiencies, nutrient intake, and diet quality have been widely studied in frail people determined by Fried phenotype [10,32]. Nevertheless, although SPPB has emerged as a tool for the screening of frailty in recent years, no comparable studies using this instrument have been found in the literature and, consequently, results found in this report have been compared with other studies using Fried phenotype.

Regarding differences in groups created with SPPB, frail, and pre-frail older adults showed lower consumption of protein, vitamin D, and PUFA *n*-3. These nutrients related to frailty have an important role in muscle mass synthesis during aging, sarcopenia, and inflammation [33,34]. Larger sample sizes found similar results regarding protein and vitamin D, however, in contrast to our results [35,36], no differences have been observed between frail and no-frail in other Spanish populations for PUFA *n*-3 [37]. However, it should be considered the ratio of PUFA *n*-3:*n*-6 as their assimilation depends on each other. In our study, not only frail groups presented lower consumption but also these ratios seemed to be unbalanced for those groups. Moreover, other differences such as higher intakes in carbohydrates and lower in SFA in the frail group also were found. Nevertheless, higher intakes of protein could be compensated by lower intakes of carbohydrates in robust, and the higher consumption of SFA in the robust group could be related to the quality of that protein source. If protein is obtained mainly from meat, it would lead to an increased consumption of SFA.

In addition to differences in nutrient intakes between frail, pre-frail, and robust individuals, most of our population did not meet the vitamin D recommended intakes (only 15% of the robust). This result and all the initials suggested the prioritization for the role of nutrition in frailty development, specially, when physical function is measured, or it is attempting to improve it. Thus, future exercise strategies with the main aim of improve physical function should consider all these nutrients.

Muscle mass and strength reduction due to aging may lead to muscle weakness and/or an impairment in physical function as well as physical activity, which may result in the reduction in total energy expenditure and also energy requirements [38]. Collectively, those factors could lead to complicate decrease in appetite, which is strongly related with risk of malnourishment [38]. Prior studies reveal that nutritional status could be helpful to screen frailty previously to the assessment by Fried [39]. Similarly, our study reveals that those at risk of malnutrition are approximately 8 times more likely to be frail than those without risk. Nutritional status and frailty have been also associated with quality of life [40,41]. Consequently, our results highlight even more the importance of ensure an adequate nutritional intake in this population.

Additionally, some nutrients' levels need to be remarkable for the prevention of frailty when nutritional status is considered. Differences were observed between those at risk and those without risk of being malnourished in the non-frail group. We observed higher intakes of protein, PUFA *n*-3, retinol equivalents, ascorbic acid, niacin, pyridoxin, folic acid, magnesium, and phosphorus in those without risk of malnourishment, while higher intakes of alcohol were observed in those at risk. Once more, PUFA *n*-3 and protein intake show their importance in these physiological statuses. Meanwhile, other nutrients such as vitamin A and ascorbic acid appear related to the risk of malnourishment and have been previously suggested to mediate in frailty due to their antioxidant effect, which may facilitate muscle mass synthesis [42]. Likewise, the importance of B group vitamins for their role in blood cell formation, macronutrient metabolism, and cognitive function, among others, has been also widely studied. Despite pyridoxin and vitamin B12 have been more associated in literature with frailty [43], folic acid and niacin seem also to be relevant in our sample. Furthermore, minerals such as magnesium and potassium, which appear to be significant in our sample, have been also associated with frailty and sarcopenia [44,45].

Globally, our results led us to focus not only on nutrients related to muscle mass synthesis but also on protein intake when approaching the dietary side of frailty. More-

over, future interventions using supplements, as those developed during last years with PUFA *n*-3 [46], vitamin D [47], or protein [48] and which have been demonstrated to be effectiveness to prevent frailty, should consider differently frailty stages. Interestingly, recent studies have reported different responses to protein intake between those stages [49], supporting our recommendation.

Limitations of this study should be highlighted. The present study has a cross-sectional design, reflecting associations but not revealing causality. Further research including larger sample sizes is required to verify these results in representative populations. Comparable groups with equal number of participants from both sexes need also to be performed. Although food frequency questionnaire is a validated method, this population could be over or underestimating their intakes as it is shown in the table of food group intake. Moreover, it could be also influenced by a possible cognitive impairment, however, no participants with these problems were included in this study as shown in the cognitive assessment. Some strengths like harmonized assessments and well instructed researchers should be considered as well as the novelty and practical potential of the topic. Finally, other variables such as quality of diet and nutrient food sources should be taken into account for future analyses.

5. Conclusions

In summary, our results showed lower intakes of protein, PUFA *n*-3, and vitamin D in frail group, while revealing higher intakes of carbohydrates. Moreover, those at risk of malnutrition have almost 8 times more probabilities to develop frailty. To prevent frailty, higher intakes in protein, PUFA *n*-3, retinol, ascorbic acid, folic acid, pyridoxin, niacin, magnesium, and potassium should be promoted in those at risk of malnutrition. Thus, it is an important role of nutritionists and dietitians to ensure healthy and specific diets in age populations and to stablish nutritional guidelines according to their functional capacity.

Supplementary Materials: The following are available online at <https://www.mdpi.com/article/10.3390/nu13041231/s1>, Table S1: Data about graphs; an analysis of covariance (ANCOVA) considering robust as reference group.

Author Contributions: Conceptualization, A.M., J.A.C., G.V.-R., and A.G.-C.; data curation, A.M.; formal analysis, A.M. and A.G.-C.; funding acquisition, I.A., J.A.C., and G.V.-R.; investigation, A.M., Á.I.F.-G., D.N.-V., L.S.-R., I.R.-G., and A.G.-C.; methodology, A.M., L.S.-R., J.A.C., and G.V.-R.; project administration, J.A.C., G.V.-R., and A.G.-C.; resources, Á.I.F.-G., D.N.-V., L.S.-R., and A.G.-C.; supervision, J.A.C., G.V.-R., and A.G.-C.; validation, E.G., J.P.-G., and I.A.; visualization, E.G., J.P.-G., I.R.-G., and I.A.; writing—original draft, A.M. and A.G.-C.; writing—review and editing, Á.I.F.-G., D.N.-V., E.G., J.P.-G., I.R.-G., I.A., J.A.C., and G.V.-R. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This study was funded by “Ministerio de Economía, Industria y Competitividad” (DEP2016-78309-R) and “Centro Universitario de la Defensa de Zaragoza” (UZCUD2017-BIO-01), Biomedical Research Networking Centre on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES) and FEDER funds from the European Union (CB16/10/00477).

Institutional Review Board Statement: The study was conducted according to the guidelines of the Declaration of Helsinki, and approved by the Ethics Committee of Hospital Universitario de Alcorcón (protocol code: 16/50, date: 30/06/16).

Informed Consent Statement: Informed consent was obtained from all subjects involved in the study.

Data Availability Statement: The data are not publicly available due to privacy.

Acknowledgments: The authors are grateful to all the collaborators, nursing homes, health centers, council social services, and participants whose cooperation and dedication made this study possible. A.M.F. received a PhD grant from “Gobierno de Aragón” (2016-2021). D.N.V. received a grant from “Gobierno de Aragón” (DGAIU/1/20). A.F.G. received a grant from the Spanish Government (BES-2017-081402). I.R.-G. received a postdoctoral contract from the Government of Castilla-La Mancha (2019/9601).

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript; or in the decision to publish the results.

References

- Klein, B.E.; Klein, R.; Knudtson, M.D.; Lee, K.E. Frailty, morbidity and survival. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2005**, *41*, 141–149. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Xue, Q.-L. The Frailty Syndrome: Definition and Natural History. *Clin. Geriatr. Med.* **2011**, *27*, 1–15. [[CrossRef](#)]
- Fried, L.P.; Tangen, C.M.; Walston, J.D.; Newman, A.B.; Hirsch, C.; Gottdiener, J.S.; E Seeman, T.; Tracy, R.P.; Kop, W.J.; Burke, G.L.; et al. Frailty in Older Adults: Evidence for a Phenotype. *J. Gerontol. Ser. A Boil. Sci. Med. Sci.* **2001**, *56*, M146–M157. [[CrossRef](#)]
- Treacy, D.; Hassett, L. The Short Physical Performance Battery. *J. Physiother.* **2018**, *64*, 61. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Ramírez-Vélez, R.; De Asteasu, M.L.S.; Morley, J.E.; Cano-Gutierrez, C.A.; Izquierdo, M. Performance of the Short Physical Performance Battery in Identifying the Frailty Phenotype and Predicting Geriatric Syndromes in Community-Dwelling Elderly. *J. Nutr. Health Aging* **2021**, *25*, 209–217. [[CrossRef](#)]
- Buta, B.J.; Walston, J.D.; Godino, J.G.; Park, M.; Kalyani, R.R.; Xue, Q.-L.; Bandeen-Roche, K.; Varadhan, R. Frailty assessment instruments: Systematic characterization of the uses and contexts of highly-cited instruments. *Ageing Res. Rev.* **2016**, *26*, 53–61. [[CrossRef](#)]
- Pritchard, J.M.; Kennedy, C.C.; Karampatos, S.; Ioannidis, G.; Misiaszek, B.; Marr, S.; Patterson, C.; Woo, T.; Papaioannou, A. Measuring frailty in clinical practice: A comparison of physical frailty assessment methods in a geriatric out-patient clinic. *BMC Geriatr.* **2017**, *17*, 264. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
- Lim, Y.J.; Ng, Y.S.; Sultana, R.; Tay, E.L.; Mah, S.M.; Chan, C.H.N.; Latib, A.B.; Abu-Bakar, H.M.; Ho, J.C.Y.; Kwek, T.H.H.; et al. Frailty Assessment in Community-Dwelling Older Adults: A Comparison of 3 Diagnostic Instruments. *J. Nutr. Health Aging* **2020**, *24*, 582–590. [[CrossRef](#)]
- De Labra, C.; Guimaraes-Pinheiro, C.; Maseda, A.; Lorenzo, T.; Millán-Calenti, J.C. Effects of physical exercise interventions in frail older adults: A systematic review of randomized controlled trials. *BMC Geriatr.* **2015**, *15*, 154. [[CrossRef](#)]
- Lorenzo-López, L.; Maseda, A.; De Labra, C.; Regueiro-Folgueira, L.; Rodríguez-Villamil, J.L.; Millán-Calenti, J.C. Nutritional determinants of frailty in older adults: A systematic review. *BMC Geriatr.* **2017**, *17*, 108. [[CrossRef](#)]
- Cruz-Jentoft, A.J.; Kiesswetter, E.; Drey, M.; Sieber, C.C. Nutrition, frailty, and sarcopenia. *Ageing Clin. Exp. Res.* **2017**, *29*, 43–48. [[CrossRef](#)]
- Cruz-Jentoft, A.J.; Bahat, G.; Bauer, J.; Boirie, Y.; Bruyère, O.; Cederholm, T.; Cooper, C.; Landi, F.; Rolland, Y.; Sayer, A.A.; et al. Sarcopenia: Revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing* **2019**, *48*, 16–31. [[CrossRef](#)]
- Azzolino, D.; Passarelli, P.C.; De Angelis, P.; Piccirillo, G.B.; D’Addona, A.; Cesari, M. Poor Oral Health as a Determinant of Malnutrition and Sarcopenia. *Nutrients* **2019**, *11*, 2898. [[CrossRef](#)]
- Starr, K.N.P.; McDonald, S.R.; Bales, C.W. Obesity and Physical Frailty in Older Adults: A Scoping Review of Lifestyle Intervention Trials. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2014**, *15*, 240–250. [[CrossRef](#)]
- Kelaiditi, E.; van Kan, G.A.; Cesari, M. Frailty: Role of nutrition and exercise. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **2014**, *17*, 32–39. [[CrossRef](#)]
- O’Connell, M.L.; Coppinger, T.; McCarthy, A.L. The role of nutrition and physical activity in frailty: A review. *Clin. Nutr. ESPEN* **2020**, *35*, 1–11. [[CrossRef](#)]
- Coelho-Júnior, H.J.; Calvani, R.; Picca, A.; Gonçalves, I.O.; Landi, F.; Bernabei, R.; Cesari, M.; Uchida, M.C.; Marzetti, E. Protein-Related Dietary Parameters and Frailty Status in Older Community-Dwellers across Different Frailty Instruments. *Nutrients* **2020**, *12*, 508. [[CrossRef](#)]
- Bollwein, J.; Diekmann, R.; Kaiser, M.J.; Bauer, J.M.; Uter, W.; Sieber, C.C.; Volkert, D. Distribution but not amount of protein intake is associated with frailty: A cross-sectional investigation in the region of Nürnberg. *Nutr. J.* **2013**, *12*, 109. [[CrossRef](#)]
- Das, A.; Cumming, R.G.; Naganathan, V.; Blyth, F.; Ribeiro, R.V.; Le Couteur, D.G.; Handelsman, D.J.; Waite, L.M.; Simpson, S.J.; Hirani, V. Prospective Associations Between Dietary Antioxidant Intake and Frailty in Older Australian Men: The Concord Health and Ageing in Men Project. *J. Gerontol. Ser. A Boil. Sci. Med. Sci.* **2019**, *75*, 348–356. [[CrossRef](#)]
- Morante, J.J.H.; Martínez, C.G.; Morillas-Ruiz, J.M. Dietary Factors Associated with Frailty in Old Adults: A Review of Nutritional Interventions to Prevent Frailty Development. *Nutrients* **2019**, *11*, 102. [[CrossRef](#)]
- Fernández-García, Á.I.; Gómez-Cabello, A.; Moradell, A.; Navarrete-Villanueva, D.; Pérez-Gómez, J.; Ara, I.; Pedrero-Chamizo, R.; Subías-Perié, J.; Muniz-Pardos, B.; Casajús, J.A.; et al. How to Improve the Functional Capacity of Frail and Pre-Frail Elderly People? Health, Nutritional Status and Exercise Intervention. The EXERNET-Elder 3.0 Project. *Sustainability* **2020**, *12*, 6246. [[CrossRef](#)]
- Folstein, M.F.; Folstein, S.E.; McHugh, P.R. “Mini-mental state”: A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J. Psychiatr. Res.* **1975**, *12*, 189–198. [[CrossRef](#)]
- Fernandez-Ballart, J.D.; Pinol, J.L.; Zazpe, I.; Corella, D.; Carrasco, P.; Toledo, E.; Perez-Bauer, M.; Martinez-Gonzalez, M.; Salas-Salvado, J.; Martin-Moreno, J. Relative validity of a semi-quantitative food-frequency questionnaire in an elderly Mediterranean population of Spain. *Br. J. Nutr.* **2010**, *103*, 1808–1816. [[CrossRef](#)]

24. Guralnik, J.M.; Simonsick, E.M.; Ferrucci, L.; Glynn, R.J.; Berkman, L.F.; Blazer, D.G.; Scherr, P.A.; Wallace, R.B. A Short Physical Performance Battery Assessing Lower Extremity Function: Association With Self-Reported Disability and Prediction of Mortality and Nursing Home Admission. *J. Gerontol.* **1994**, *49*, M85–M94. [\[CrossRef\]](#)
25. Trichopoulou, A.; Martínez-González, M.; Tong, T.Y.; Forouhi, N.G.; Khandelwal, S.; Prabhakaran, D.; Mozaffarian, D.; De Lorgeril, M. Definitions and potential health benefits of the Mediterranean diet: Views from experts around the world. *BMC Med.* **2014**, *12*, 112. [\[CrossRef\]](#)
26. Vellas, B.; Guigoz, Y.; Garry, P.J.; Nourhashemi, F.; Benaïm, D.; Lauque, S.; Albaredo, J.L. The Mini Nutritional Assessment (MNA) and its use in grading the nutritional state of elderly patients. *Nutrition* **1999**, *15*, 116–122. [\[CrossRef\]](#)
27. Bauer, J.M.; Kaiser, M.J.; Anthony, P.; Guigoz, Y.; Sieber, C.C. The Mini Nutritional Assessment®—Its History, Today’s Practice, and Future Perspectives. *Nutr. Clin. Pr.* **2008**, *23*, 388–396. [\[CrossRef\]](#)
28. Martín-Moreno, J.M.; Boyle, P.; Gorgojo, L.; Maisonneuve, P.; Fernández-Rodríguez, J.C.; Salvini, S.; Willett, W.C. Development and validation of a food frequency questionnaire in Spain. *Int. J. Epidemiol.* **1993**, *22*, 512–519. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
29. Moreiras, O.; Carbajal, A.; Cabrera, L.C.C. *Tablas de Composición de los Alimentos. GUÍA de Prácticas*; Ed. Pirámide: Madrid, Spain, 2015.
30. Mataix, J. *Tabla de Composición de Alimentos*, 5th ed.; Universidad de Granada: Granada, Spain, 2009.
31. EFSA. *Dietary Reference Values for Nutrients Summary Report*; Wiley Online Library: Hoboken, NJ, USA, 2017.
32. Michel, J.P.; Cruz-Jentoft, A.J.; Cederholm, T. Frailty, Exercise and Nutrition. *Clin. Geriatr. Med.* **2015**, *31*, 375–387. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
33. Dupont, J.; Dedeigne, L.; Dalle, S.; Koppo, K.; Gielen, E. The role of omega-3 in the prevention and treatment of sarcopenia. *Aging Clin. Exp. Res.* **2019**, *31*, 825–836. [\[CrossRef\]](#) [\[PubMed\]](#)
34. Gray, S.R.; Mittendorfer, B. Fish oil-derived n-3 polyunsaturated fatty acids for the prevention and treatment of sarcopenia. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care* **2018**, *21*, 104–109. [\[CrossRef\]](#)
35. Balboa-Castillo, T.; A Struijk, E.; Lopez-Garcia, E.; Banegas, J.R.; Rodríguez-Artalejo, F.; Guallar-Castillon, P. Low vitamin intake is associated with risk of frailty in older adults. *Age Ageing* **2018**, *47*, 872–879. [\[CrossRef\]](#)
36. Schoufour, J.D.; Franco, O.H.; Jong, J.C.K.-D.; Trajanoska, K.; Stricker, B.; Brusselle, G.; Rivadeneira, F.; LaHousse, L.; Voortman, T. The association between dietary protein intake, energy intake and physical frailty: Results from the Rotterdam Study. *Br. J. Nutr.* **2019**, *121*, 393–401. [\[CrossRef\]](#)
37. Sandoval-Insausti, H.; Pérez-Tasigchana, R.F.; López-García, E.; García-Esquinas, E.; Rodríguez-Artalejo, F.; Guallar-Castillón, P. Macronutrients Intake and Incident Frailty in Older Adults: A Prospective Cohort Study. *J. Gerontol. Ser. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2016**, *71*, 1329–1334. [\[CrossRef\]](#)
38. Morley, J.E.; Vellas, B.; Van Kan, G.A.; Anker, S.D.; Bauer, J.M.; Bernabei, R.; Cesari, M.; Chumlea, W.; Doehner, W.; Evans, J.; et al. Frailty Consensus: A Call to Action. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2013**, *14*, 392–397. [\[CrossRef\]](#)
39. Soysal, P.; Veronese, N.; Arik, F.; Kalan, U.; Smith, L.; Isik, A.T. Mini Nutritional Assessment Scale-Short Form can be useful for frailty screening in older adults. *Clin. Interv. Aging* **2019**, *14*, 693–699. [\[CrossRef\]](#)
40. Salminen, K.S.; Suominen, M.H.; Kautiainen, H.; Pitkälä, K.H. Associations Between Nutritional Status, Frailty and Health-Related Quality of Life Among Older Long-Term Care Residents in Helsinki. *J. Nutr. Health Aging* **2020**, *24*, 319–324. [\[CrossRef\]](#)
41. Rizzoli, R.; Reginster, J.-Y.; Arnal, J.-F.; Bautmans, I.; Beaudart, C.; Bischoff-Ferrari, H.; Biver, E.; Boonen, S.; Brandi, M.-L.; Chines, A.; et al. Quality of Life in Sarcopenia and Frailty. *Calcif. Tissue Int.* **2013**, *93*, 101–120. [\[CrossRef\]](#)
42. Welch, A.A.; Jennings, A.; Kelaiditi, E.; Skinner, J.; Steves, C.J. Cross-Sectional Associations Between Dietary Antioxidant Vitamins C, E and Carotenoid Intakes and Sarcopenic Indices in Women Aged 18–79 Years. *Calcif. Tissue Int.* **2020**, *106*, 331–342. [\[CrossRef\]](#)
43. Behrouzi, P.; Grootswagers, P.; Keizer, P.L.C.; Smeets, E.T.H.C.; Feskens, E.J.M.; De Groot, L.C.P.G.M.; A Van Eeuwijk, F. Dietary Intakes of Vegetable Protein, Folate, and Vitamins B-6 and B-12 Are Partially Correlated with Physical Functioning of Dutch Older Adults Using Copula Graphical Models. *J. Nutr.* **2020**, *150*, 634–643. [\[CrossRef\]](#)
44. Van Dronkelaar, C.; Van Velzen, A.; Abdelrazek, M.; Van Der Steen, A.; Weijs, P.J.; Tieland, M. Minerals and Sarcopenia; The Role of Calcium, Iron, Magnesium, Phosphorus, Potassium, Selenium, Sodium, and Zinc on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Older Adults: A Systematic Review. *J. Am. Med. Dir. Assoc.* **2018**, *19*, 6–11.e3. [\[CrossRef\]](#)
45. Arnaud, M.J. Update on the assessment of magnesium status. *Br. J. Nutr.* **2008**, *99*, S24–S36. [\[CrossRef\]](#)
46. Stocks, J.; Valdes, A.M. Effect of dietary omega-3 fatty acid supplementation on frailty-related phenotypes in older adults: A systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open* **2018**, *8*, e021344. [\[CrossRef\]](#)
47. De Koning, E.J.; Van Schoor, N.M.; Penninx, B.W.; Elders, P.J.; Heijboer, A.C.; Smit, J.H.; Bet, P.M.; Van Tulder, M.W.; Heijer, M.D.; Van Marwijk, H.W.; et al. Vitamin D supplementation to prevent depression and poor physical function in older adults: Study protocol of the D-Vitaal study, a randomized placebo-controlled clinical trial. *BMC Geriatr.* **2015**, *15*, 151. [\[CrossRef\]](#)
48. Oktaviana, J.; Zanker, J.; Vogrin, S.; Duque, G. The effect of protein supplements on functional frailty in older persons: A systematic review and meta-analysis. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2020**, *86*, 103938. [\[CrossRef\]](#)
49. Buhl, S.F.; Beck, A.M.; Christensen, B.; Caserotti, P. Effects of high-protein diet combined with exercise to counteract frailty in pre-frail and frail community-dwelling older adults: Study protocol for a three-arm randomized controlled trial. *Trials* **2020**, *21*, 637. [\[CrossRef\]](#)

5.7. Artículo VII

Multicomponent training program, a useful tool to improve the health-related quality of life of older adults with decreased functional capacity.

Ana Moradell^{1,2,3,4}, David Navarrete-Villanueva^{1,2,3,5}, Ángel Iván Fernández-García^{1,2,3,4}, Jorge Perez-Gómez^{3,6}, Marcela González-Gross^{3,7,8}, Ignacio Ara^{3,9,10}, José Antonio Casajús^{1,2,3,5,11}, Alba Gómez-Cabello^{1,2,3,4,12}, Germán Vicente-Rodríguez^{1,2,3,4,11*}.

¹GENUD (Growth, Exercise, NUtrition and Development) Research Group, Universidad de Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain.

²Agrifood Research and Technology Centre of Aragón -IA2-, CITA-Universidad de Zaragoza, 50009, Zaragoza, Spain.

³Exercise and Health in Special Population Spanish Research Net (EXERNET).

⁴ Department of Physiatry and Nursing, Faculty of Health and Sport Science FCSD, University of Zaragoza, 50009 Zaragoza, Spain.

⁵ Department of Physiatry and Nursing, Faculty of Health, University of Zaragoza, 50009, Zaragoza, Spain.

⁶ HEME Research Group, University of Extremadura, 10003 Cáceres, Spain.

⁷ImFINE Research Group. Universidad Politécnica de Madrid, 28040 Madrid, Spain Spain.

⁸Centro de Investigación Biomédica en Red de Fisiopatología de la Obesidad y Nutrición (CIBEROBN), Instituto de Salud Carlos III, 28040 Madrid, Spain

⁹GENUD-Toledo Research Group, Universidad de Castilla-La Mancha, 45071 Toledo, Spain.

¹⁰ Biomedical Research Networking Center on Frailty and Healthy Aging (CIBERFES), Instituto de Salud Carlos III, 28029 Madrid, Spain.

¹¹ Biomedical Research Net in Physiopatology, Obesity and Nutricition (CIBERObn), 28029 Madrid, Spain

¹² Defense University Center, 50090 Zaragoza, Spain.

* Correspondence: gervicen@unizar.es; Tel.: +34-876-55-37-56

ABSTRACT

The aims of this study were to evaluate the relationship between baseline values and variations in body composition, physical fitness and nutritional status on health-related quality of life (HRQoL), to describe the effects of a 6-month multicomponent training (MCT) and a 4-month detraining period on HRQoL.

One hundred and six participants were included in this study (80.8 ± 5.9 y, 74 females) scoring ≥ 4 and ≤ 9 in the Short Physical Performance Battery and were divided into control (CON) or intervention (TRAIN). HRQoL was measured with the total score of EQ-5D-3L questionnaire and its visual analogue scale (EQ-VAS). Information about body composition (by bioelectrical impedance) and a physical fitness was performed. Mediterranean diet adherence and mini nutritional assessment questionnaires were also collected. Multilinear regressions and model mixed effect analyses were performed.

Healthier baseline values in body composition, fitness and nutritional status were associated with better HRQoL (explaining from 23.7 to 55.4%). Group by time differences were observed between CON and TRAIN with the MCT in total score of EQ-5D-3L (-0.014 ± 0.025 vs 0.073 ± 0.021) and VAS (-3.10 ± 3.00 vs 10.60 ± 2.51). TRAIN increased during this 6-month MCT; and showed a deleterious effect of the detraining. Changes in weight, arm strength and aerobic capacity contributed up to explain a 36% in HRQoL changes obtained as a result of the MCT. (All $p < 0.05$).

This MCT improved HRQoL in older adults with limited physical function. However, it returned to baseline values after detraining. The study highlights the importance of performed ongoing programs in this population.

Key words: body composition, physical fitness, frailty, malnourishment, nutrition

INTRODUCTION

Older people life expectancy has increased during last decades (1). Changes accompanied ageing led to a physiological detriment that could be aggravated depending on lifestyles, diseases and other factors (1). The increased life expectancy in addition to aging changes lead to a higher rate of morbidity and loss of functional capacity with a subsequent decrease in quality of life (QoL) (2). For this reason, society has the challenge of ensuring an improvement in older population's QoL, preserving their functional capacity and maintaining their independence.

The term health-related QoL (HRQoL) refers to the self-perception focuses on the impact of health on a person's ability to live a fulfilling and it has been an extended used parameter to evaluate efficiency of interventions in healthcare (3). It has been widely associated to nutritional (4), social (5), physical (6) or cognitive factors (7), and overall, with healthy lifestyles behaviours. Specifically, physical activity has been well studied as one of the most important modifiable factors related to HRQoL (8). Probably, this is why the majority of interventions have been focused on physical activity (8) and physical exercise (9).

Regarding older adults, a critical group for improving their HRQoL is frail population (10). Frail people and older adults in a frailty process (pre-frail) have been described to have a lower HRQoL than their robust counterparts (9). Frailty is characterized by having a poor functional capacity, being more susceptible to vulnerability and have an increased risk of being dependent (11). Exercise in general and more specifically multicomponent training (MCT) programs have demonstrated to be the most efficient interventions to prevent and reverse this state of frailty (12,13). However, to the best of our knowledge, there are no specific studies investigating the

effects of a MCT in HRQoL and neither on each of the dimensions (specifically measured by Euroqol-5D) in older adults with high risk of being frail. From a preventive and treatment point of view, this could help us to use exercise more accurately and efficiently. Moreover, there is no knowledge about if improvements obtained with this type of exercise reverse after a detraining period as happens with physical fitness (14) or body composition (15). This information would be of high interest to design efficient and sustainable strategies, in which the resting periods do not determine an involution of gains obtained with exercise and therefore benefits could be maximized.

In addition, there is also a lack of information about the relationship between changes obtained in HRQoL and changes in body composition, physical fitness, and nutritional status in older adults with limited physical function. Thus, all these aspects should be clarified in order to design more specific interventions which ensure an increase in HRQoL.

Therefore, main objectives of this study were to: 1) analyse the relationship between body composition, physical fitness and nutritional status with HRQoL in older adults with limited physical function, 2) study the effect of a 6-month MCT and 4-month of detraining in HRQoL and its dimensions in older adults with decreased functional capacity, 3) investigate whether the changes in body composition, physical fitness or nutritional status are associated with the improvements in HRQoL obtained during the MCT.

METHODOLOGY

1. Study sample

The present study consists of an intervention with the main aim of improving physical function in older adults with decreased functional capacity. It was carried out in the framework of the EXERNET-Elder 3.0 project between 2018-2020 in the city of Zaragoza. 110 participants were recruited from four health centres and three nursing homes. Initially, four participants were excluded for not having enough descriptive information. Inclusion criteria were to be above 65 years, not having cancer or dementia, and to have limited physical function (to score from 4-9 in the Short Physical Performance Battery (SPPB)) (16). To score from 4 to 6 points in the SPPB, corresponds to “have severe limited physical functional capacity” and from 7 to 9 to “have moderate limited physical functional capacity” (17). Participants were allocated by convenience in two groups, control (CON) or training group (TRAIN). The non-randomization was performed in order to ensure the assistance. Despite this fact, both groups were homogeneous considering main variables of the study at baseline. Additionally, three health-related speeches were offered to both groups with the main aim of improving control adherence. The study protocol and sample calculation were explained in detail elsewhere by Fernández-García et al (18).

An interviewed structured questionnaire was performed for each participant to collect general information and other health outcomes. Specifically, the variables included in this article were as follows: smoking habits, mean of self-reported daily walking hours and sitting hours (19), adherence to Mediterranean diet (20), Mini-Nutritional assessment and Mini Mental Examination (21). All measurements were assessed on two different days, in the same order, to ensure all participants were under the same conditions. All participants were evaluated on three different occasions: at the beginning and the end of the 6-month MCT and 4month later, after a detraining period.

All participants were informed about the research and received an informed consent to sign before being included. The study was approved by the Hospital Universitario Fundación de Alcorcón (16/50), (Alcorcón, Spain) and it was registered in clinicaltrials.gov (reference number: NCT03831841). The study was developed in accordance with the Helsinki Declaration of 1964 revised in Fortaleza (2013) and the current legislation of human clinical research of Spain (Law 14/2007).

2. The EXERNET-Elder 3.0 MCT

The intervention consisted of a 6-month program with three weekly 1-hour training sessions. They were supervised by exercise professionals with a maximum ratio of 12 participants per instructor. Participants per group ranged from 8 to 16. All sessions were organized with the following structure: 10 min of warm-up, 35-40 min of main part exercises and 10-15 min of cool-down. Endurance, strength, flexibility, balance, coordination and functional capacity in daily life activities were included in the main part. Progression and intensity were adjusted along the 6-month for the purpose of ensuring an appropriate stimulus, developing adaptations. Additionally, some training variables were adapted to each participant according to their functional capacity at baseline. The whole training protocol according to the Consensus on Exercise Reporting Template (24) has been described in detail elsewhere (18).

3. HRQoL.

The Spanish version of the EQ-5D-3L was used to measure HRQoL (25). The EQ-5D-3L includes five dimensions: mobility, self-care, usual activities, pain/discomfort and anxiety/depression. Each dimension has three response options: no problems, some problems or several problems. Combining the results from these five dimensions a unique health state could be calculated to obtain an EQ-5D-3L index. The

overall index was calculate using the Spanish time trade-off tariffs (25). A score ranged from 0 (death) to 1 (fully functional QoL) estimates the HRQoL of participants.

The questionnaire also includes a visual analogue scale (EQ-VAS). Participants had to point from 0 to 100 what they thought their current health was in that moment, being 0 “worst imaginable health state” and 1 “best imaginable health state”.

The EQ-5D-3L has been used worldwide with available normative data for different ages (26).

4. Body composition measurements

Height was measured with a portable stadiometer of 2.10 m (SECA, *Hamburg, Germany*). Waist and hip circumferences were taken using a Rosscraft Anthrotape (*Rosscraft Innovations Inc, Vancouver, BC, Canada*). Anthropometric measurements were taken following the standardized procedures of the Society for the Advancement of Kinanthropometry. A standardized test using a bioelectrical impedance (TANITA BC 418-MA *Tanita Corp., Tokyo, Japan*) was performed to obtain weight, total fat mass, fat mass percentage and fat free mass. Once these measurements were taken, Body Mass Index (BMI) was calculated. To ensure the standardization of the measurements all participants had to come early in the morning with fasting, also micturated prior to the measurement and they had to remove their shoes, shocks, and heavy clothes. All measurements were performed by the same specialized researcher.

5. Physical fitness performance

The fitness battery was composed of six physical fitness tests adapted from the “Senior fitness test battery” (22) and handgrip. Tests were performed as follows: static balance (Flamingo’s test) (23), strength of upper extremities (Arm Curl Test) (22),

lower-body strength (Chair Stand test) (22), flexibility of the upper extremities (Back Scratch Test) (22), flexibility of the lower extremities (Chair Sit-and-Reach test) (22), agility/ dynamic balance (8-Foot Up-and-Go test) (22), maximum walking speed (30-m Walking test) (23), aerobic capacity (6-Minute Walk test) (22) and handgrip maximum strength (*Takei TKK 5401, Tokyo, Japan*).

6. Nutritional status and Mediterranean Diet Adherence

Mini nutritional assessment questionnaire was used to collect information about nutritional status. From the 18 items asked a total score was created from 0 to 31, being 31 the best score indicating a good nutritional status (28,29). According to the score obtained, the subjects were classified as “malnourished” (<17 points), “at risk of malnutrition” (17-23.5 points), or “well-nourished” (>23.5 points) (28,29).

Additionally, to obtain a global parameter about quality of diet, the Mediterranean Diet Adherence questionnaire of 14 items was also asked. Total score for this questionnaire ranged from 0-14 (20). Highest score indicates better adherence. The following categories were created according with the adherence; low (from 0 to 5 points), moderate (from 6 to 9 points) and high adherence (from 10 to 14 points) (30).

7. Statistical analyses

Statistical analyses were completed using The Statistical Package for the Social Sciences v. 20.0 for Windows (SPSS, Inc, Chicago, IL., USA). Normality of the sampling distribution was studied using Shapiro-Wilk tests. Parametric tests were used due to the normality of the sample. Data was reported as mean \pm standard deviation for continuous variables, and number (n) of participants and percentage (%) for categorical variables. The level of significance was established at p-value <0.05.

Differences in descriptive characteristics at baseline were analysed by a one factor ANOVA. A possible ceiling effect was described indicating the number of people with the maximum punctuation in de EQ-5D-3L overall index at baseline.

To analyse possible predicting factors of HRQoL level, simple linear regression analyses adjusted by sex and age were performed between body composition, physical fitness, and nutritional variables as independent variables, and EQ-5D-3L overall index and VAS as dependent variables. Specifically, one linear regression analysis was performed with each independent variable for each dependent variable.

Changes for the overall index EQ-5D-3L and EQ-VAS were calculated subtracting the result after the 6-month MCT minus the baseline, after the 4-month detraining minus the 6-month training and finally, after the 4-month detraining minus baseline to obtain an overall value. Model mixed effect was used to compare between and within changes during the 6-month MCT and the 4month of detraining. To perform the analyses, CON and TRAIN groups were established as a fixed factor, participants as a random factor and baseline values, sex and age as covariates. The models were calculated considering maximum likelihood estimation. Bonferroni corrections were applied for the post hoc pairwise comparisons. Moreover, several chi-squared tests were performed as a way to find differences between groups (CON and TRAIN) in the percentage of people who improve, deteriorate or maintain the punctuation in each of the dimensions of the EQ-5D-3L during training and detraining.

Then, to analyse if changes in independent variables determine changes in HRQoL variables, additional multilinear regression analyses were performed with body composition and physical fitness changes as independent variables, and total EQ-5D-3L overall index and EQ-VAS changes as dependent variables. All these changes were also

calculated subtracting 6-month detraining minus baseline values. Analyses were adjusted by sex and age and performed separated by CON and TRAIN groups.

RESULTS

1. Descriptive characteristics of the sample

Table 1 shows descriptive characteristics of the whole sample as well as the CON and TRAIN groups, separately. The study sample did not show statistically significant differences in SPPB, sex nor age ($p>0.05$). TRAIN spent more hours walking compared with CON. Higher values for weight, fat free mass and handgrip strength were also observed in TRAIN ($p<0.05$). No more statistically significant differences were observed for body composition, physical activity, and nutritional status variables between groups (all $p>0.05$).

Table 1. Descriptive characteristics of the sample at baseline

Characteristic	Whole sample	Control (n=55)	Training (n=51)	P-value
Age (y)	80.8±5.9	80.5±5.7	81.2±6.2	0.550
Sex				0.187
Male	32 (33)	14 (25)	18 (35)	
Female	74 (77)	41 (74)	33 (68)	
SPPB	7.5±1.6	7.5±1.6	7.5±1.5	0.991
Severe limited functional capacity	30 (31)	16 (29)	14 (27)	0.512
Moderate limited functional capacity	76 (79)	39 (71)	37 (73)	
EQ-5D-3L	0.793±0.186	0.773±0.192	0.816±0.178	0.236
Ceiling effect	15 (13.6)	6 (10.5)	9 (17.0)	0.240
EQ-VAS	62.9±18.5	61.1±19.1	64.8±17.8	0.301
Walking hours per day	1.5±1.2	1.13±0.9	1.9±1.4	0.001
Sitting hours per day	6.3±2.9	6.3±2.3	6.2±3.1	0.860
Smoke				
Yes	5 (5)	4 (7)	1 (2)	0.206
No	101 (95)	51 (93)	50 (98)	
Cognitive Status	26.2±3.1	26.1±2.9	26.3±3.0	0.713
MNA*	24.1±3.6	23.7±4.2	24.5±2.9	0.302

At risk of malnutrition	34 (36)	18 (39)	16 (33)	0.356
Normal nutritional status	60 (64)	28(61)	32 (67)	
ADM	7.5±1.9	7.5±1.9	7.5±1.9	0.913
Low adherence	12 (11.3)	8 (14.5)	4 (7.8)	0.522
Moderate adherence	77 (72.6)	37 (67.3)	40 (78.5)	
High adherence	17 (16.1)	10 (18.2)	7 (13.7)	
<i>Body composition variables</i>				
Weight (kg)	73.4±14.8	69.7±14.0	73.4±14.8	0.015
BMI (kg/cm ²)	29.8±5.6	29.2±6.0	30.3±5.2	0.378
FM (kg)	27.6±9.1	26.5±9.5	28.6±8.7	0.271
FFM (kg)	45.6±9.1	43.2±7.6	47.9±6.7	0.014
FM%	37.1±7.3	37.1±8.0	37.1±6.7	0.974
Waist circum. (cm)	94.4±13.2	96.0±12.0	94.4±13.2	0.303
Hip circum. (cm)	104.6±10.3	104.6±11.9	104.6±8.9	0.987
<i>Physical fitness variables</i>				
Balance (s)	6.8±7.4	7.5±8.8	6.0±5.7	0.344
Arm Flexibility (cm)	-9.1±9.8	-9.1±11.5	-9.1±8.5	0.979
Leg Flexibility(cm)	-12.4±3.8	-12.7±12.5	-15.0±10.0	0.308
Leg Strength (rep)	10.2±3.4	9.9±3.3	9.7±3.4	0.392
Arm Strength (rep)	12.4±3.8	11.9±4.0	12.9±3.5	0.164
Agility (s)	9.8±4.0	9.9±4.1	9.7±4.1	0.881
Walking speed (s)	26.9±9.7	27.6±9.4	26.1±10.1	0.431
Aerobic capacity (m)	354.2±106.4	337.4±113.2	370.6±97.6	0.117
Handgrip Strength (kg)	20.0±8.1	18.0±6.3	22.1±9.2	0.010

EQ-5D-3L: EuroQol 5 Dimensions 3 Levels, BMI: Body Mass Index, FM: Fat Mass, FFM: Fat Free Mass, FM%: Fat Mass Percentage, Circum: Circumference, MNA: Mini Nutritional Assessment, ADM: Adherence to Mediterranean Diet, rep: repetitions. Categorical variables are presented as n(%). Significant p-values were set as <0.05. *Some participants did not complete the Mini Nutritional Assessment questionnaire.

2. *Baseline relationships between EQ-5D-3L overall index, the EQ-VAS, body composition, physical fitness and nutritional variables.*

Table 2 shows the associations between body composition, physical fitness and nutritional factors with EQ-5D-3L overall index and EQ-VAS adjusted by sex and age.

Except for fat free mass, all body composition variables had a statistically significant association with the total EQ-5D-3L overall index. Less weight, BMI, total and fat mass percentage, waist and hip circumferences seem to predict a better HRQoL accounting from 36,5 to 51% of its variability (all $p < 0.05$).

For physical fitness parameters, better results in all tests (except for leg flexibility) seem to predict better scores in EQ-5D-3L overall index. Specifically, these variables account between 24% and 53% for arm flexibility and aerobic capacity, respectively (all $p < 0.05$).

Only total score of nutritional status measured with the mini nutritional assessment questionnaire seems to predict HRQoL accounting a 40% of the model.

For the EQ-VAS, no body composition variables seem to predict the results. However, better results in agility, walking speed and aerobic capacity seem to be related to a better score (all $p < 0.05$). Furthermore, a higher adherence to Mediterranean Diet seems to be associated with better values of EQ-VAS.

Table 2. Relationships between baseline body composition, physical fitness, nutritional variables values and total score in the EQ-5D-3L

	EQ-5D-3L overall index				EQ-VAS			
	r ²	Change r ²	Standardized β	p-value	r ²	Change r ²	Standardized β	p-value
<i>Body composition measurements</i>								
Weight(kg)	0.114	0.093	-0.372	0.002	0.019	0.001	-0.032	0.800
BMI (kg/cm ²)	0.185	0.168	-0.453	<0.001	0.032	0.013	-0.128	0.299
FM (kg)	0.223	0.174	-0.462	<0.001	0.040	0.003	-0.06	0.599
FFM (Kg)	0.019	0.003	-0.093	0.577	0.041	0.003	0.092	0.558
FM%	0.230	0.181	-0.514	<0.001	0.044	0.007	-0.101	0.431
Waist circum. (cm)	0.151	0.128	-0.421	0.005	0.045	0.021	-0.171	0.191
Hip circum. (cm)	0.120	0.119	-0.365	0.004	0.029	0.014	-0.125	0.329
<i>Physical fitness variables</i>								
Balance (s)	0.112	0.091	0.311	0.002	0.043	0.022	0.152	0.135
Arm Flexibility (cm)	0.076	0.055	0.241	0.016	0.042	0.021	0.148	0.143
Leg Flexibility(cm)	0.051	0.030	0.182	0.153	0.052	0.032	0.186	0.144
Leg Strength (rep)	0.148	0.127	0.363	<0.001	0.054	0.033	0.185	0.065
Arm Strength (rep)	0.074	0.050	0.237	0.022	0.048	0.027	0.172	0.100
Agility (s)	0.237	0.219	-0.499	<0.001	0.070	0.050	-0.231	0.025
Walking speed (s)	0.306	0.285	-0.550	<0.001	0.092	0.071	-0.276	0.006
Aerobic capacity (m)	0.269	0.254	0.532	<0.001	0.082	0.062	0.263	0.012
Handgrip Strength	0.089	0.049	0.339	0.024	0.054	0.015	0.209	0.209
<i>Nutritional Variables</i>								
MNA	0.135	0.072	0.274	0.004	0.051	0.008	-0.183	0.398
ADM	0.068	0.037	0.397	0.397	0.08	0.041	0.204	0.048

EQ-5D-3L: EuroQol 5 Dimensions 3 Levels, BMI: Body Mass Index, FM: Fat Mass, FFM: Fat Free Mass, FM%: Fat Mass Percentage, Circum: Circumference, MNA: Mini Nutritional Assessment, ADM: Adherence to Mediterranean Diet, rep: repetitions. Significant p-values were set as <0.05.

3. Effects of a MCT program and 4-month detraining period in HRQoL.

Possible ceiling effect in EQ-5D-3L was observed in a 10.5% of the CON and in a 17% of the TRAIN participants at baseline.

The effects of the training program and the detraining period are presented in **table 3**. Significant differences were observed between changes in CON and TRAIN during the 6-month MCT in both, EQ-5D-3L (-0.014 ± 0.025 vs 0.073 ± 0.02 , respectively) and EQ-VAS overall index (-3.10 ± 3.00 vs 10.60 ± 2.51 , respectively) (all $p < 0.05$). While CON decreased EQ-5D-3L overall index and EQ-VAS, TRAIN significantly improved these parameters. Changes within group were statistically significant only in TRAIN (all $p < 0.05$).

Table 3. Effects of 6-month multicomponent training and 4-month detraining.

	6 months training			4 months detraining			Total 10 months		
	CON (n=31)	TRAIN (n=45)	P- value	CON (n=16)	TRAIN (n=37)	P- value	CON (n=28)	TRAIN (n=48)	P- value
EQ-5D-3L	-0.14±.025	.073±.021*	.009	-0.11±.029	-.065±.021*	.146	-.013±.031	-.010±.023	.965
EQ-VAS	-3.10±3.00	10.60±2.51*	.001	3.33±3.41	-6.60±2.53*	.022	-.19±4.5	5.72±3.2	.318

EQ-5D-3L: EuroQol 5 Dimensions 3 Levels (Total score), EQ-VAS: EuroQol Visual Analog Scale. Statistical significance was established at <0.05.

*Statistical significance within groups over time. P-value describes differences between groups.

During the following 4 months of detraining, only changes between groups were statistically significant for EQ-VAS (3.33 ± 3.41 for CON vs -6.60 ± 2.53 for TRAIN). However, changes within groups showed statistically significant decreases in TRAIN for EQ-5D-3L overall index (-0.065 ± 0.021) and EQ-VAS (both $p<0.05$); meanwhile CON maintained these parameters through this period of time.

Overall, no significant changes were observed neither between nor within groups from baseline to the end of the project, 10 months later. However, it seems that only EQ-5D-3L overall score returned to baseline while EQ-VAS decrease only a half of the improvements achieve.

Figures 1 and 2 show in which of the dimensions of the EQ-5D-3L overall index the changes and differences between CON and TRAIN during training and detraining are observed. During training, significant differences were observed between CON and TRAIN in percentage of people who increased, maintained or deteriorated in dimension scores of anxiety or depression ($p<0.05$) and a significant trend in pain or discomfort. During detraining, significant changes were obtained in pain or discomfort dimension where a greater number of CON seems to improve, reporting less pain or discomfort ($p<0.05$).

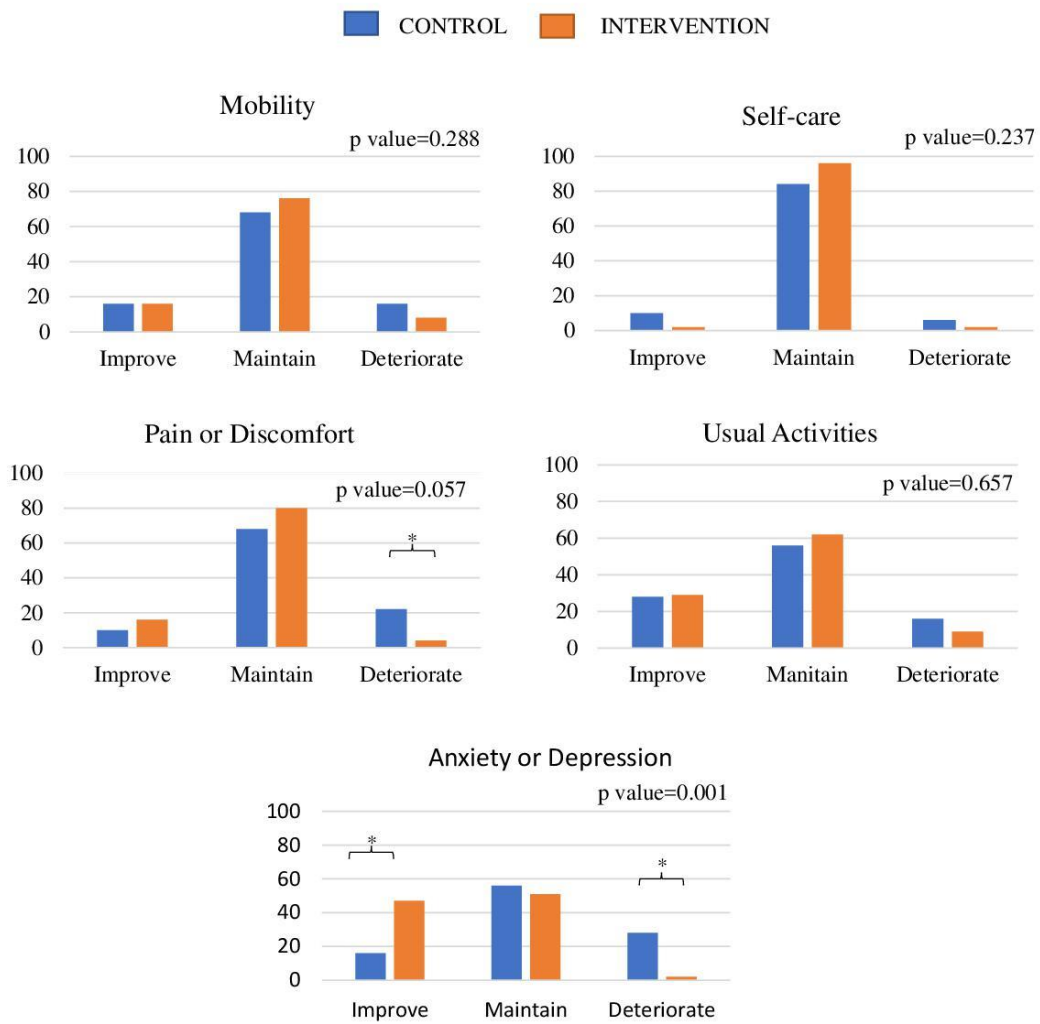


Figure 1. Percentage of people improving, maintaining, or deteriorating in different levels included in the EQ-5D-3L questionnaire, during the intervention *Significant differences between categories. P-value refers to the chi-squared test. All statistically significant differences were established at $p < 0.05$.

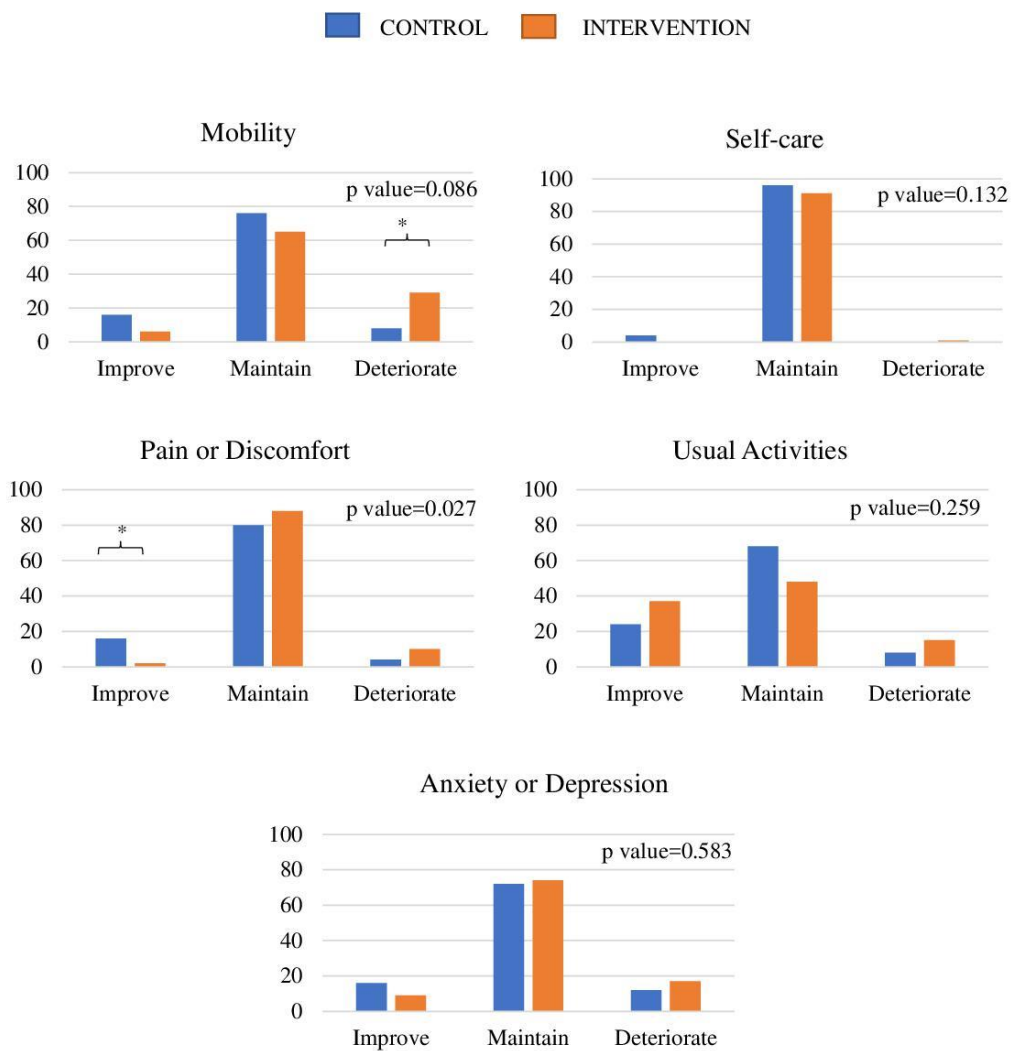


Figure 2. Percentage of people improving, maintaining, or deteriorating in different levels included in the EQ-5D-3L Questionnaire during the detraining period. *Significant differences between categories. P-value refers to the chi-squared test. All statistically significant differences were established at $p < 0.05$.

4. Influence of the changes in body composition and physical fitness caused by training and the changes in HRQoL.

Changes obtained in arms strength during MCT in TRAIN contribute in a 32% to the change in EQ-5D-3L overall index ($r^2=0.232$, change in $r^2=0.084$; $p<0.05$). Moreover, changes in aerobic capacity have a contribution of 36% ($r^2=0.205$, change in $r^2=0.128$; $p<0.05$).

For the EQ-VAS changes, only changes in weight have an inversely contribution of 33% to changes in EQ-5D-3L overall index ($r^2=0.113$ and change in $r^2=0.101$; $p<0.05$). All these results are included in Supplementary material 1.

DISCUSSION

The main findings of this study are: 1) There is a direct relationship between healthier body composition, better physical performance and higher HRQoL in older adults with limited physical function. 2) A 6-month MCT program improves HRQoL in this population while 4-month of detraining produce a reversibility of these benefits. 3) Improvements in weight, aerobic capacity and arm strength, due to the training program, are directly associated to a 36% increase in HRQoL.

Relationships between HRQoL, body composition, physical fitness and nutritional parameters have been widely explained in the literature in older population. As expected, results found are similar as in previous studies when baseline values are analysed. Authors such as Olivares et al. highlighted the importance of time up and go test and 6-min walk test despite these were data of a younger sample (above 55 years) (6). Moreover, another similar sample of older adults showed a correlation between strength and walking speed and EQ-VAS, but not with flexibility as we have observed

(31). Results suggest that independently of the functional status of people, fitness levels are always positively associated with HRQoL. Likewise, adiposity parameters, BMI (32) and waist circumferences (33) present similar relationships with QoL. However, the role of muscle mass is under discussion. While Verlaan et al. described this relationship considering sarcopenic and non-sarcopenic older adults (34), we did not find associations between this variable and HRQoL. Nevertheless, sarcopenia does not only depend on muscle mass as it also includes strength in its definition (35). Thus, more comparable methodologies should be used to confirm these results with different and more specific body composition measurements, such as dual X-ray absorptiometry. In addition, as it has been found in bigger sample studies, Mediterranean diet and nutritional status are correlated positively with HRQoL(36,37).

Probably, the most important and novel results of this study are the effects of the training and detraining periods. The MCT program does not only improve body composition (38,39) and physical fitness (pending of publishing), but it also improves QoL of older people described both with the overall EQ-5D-3L index and the self-reported EQ-VAS. Previous studies analysing the effects of different exercise types have obtained contradicting results. A meta-analysis evaluating the effects of all-type of exercise in HRQoL of frail older adults did not find a significant effect of type of exercise in HRQoL, but they used the Short Form Health Survey of 36 items (10). However, they ensured that studies with positive effect on functional capacity report an effect in HRQoL, suggesting a possible relationship between both parameters (10). In this line, a recent systematic review involving different types of exercise and questionnaires in frail population established this conclusion (40). Besides, they did not find a specific type of exercise strongly related with improvement in HRQoL (40). On the contrary, several studies found that multicomponent exercise improved EQ-5D-3L

in pre-frail or frail older adults (41,42) independently of the duration of the intervention. However, studies with comparable methodologies are scarce. Regarding EQ-5D-3L dimensions, other authors in line showed that anxiety and depression were the dimensions more influenced by fitness levels (6).

Taking into consideration all these results, to developed multicomponent programs seems not only to improve functional capacity in this population as it is well-known (13), but also, it seems to be a very convenient exercise for the improvement of HRQoL in older adults. Nevertheless, there is still a lack of information about the specific effect on each dimension. Therefore, as EQ-5D-3L is required in the cost-effectiveness calculation (43), the benefits obtained with this intervention would probably exceed the cost that suppose normally this population to healthcare institutions.

Detraining analysis is also a novelty of this report, as this is the first study evaluating its effect on HRQoL after a MCT program in people with limited physical function. In line with our results where TRAIN decreased in HRQoL, those Spanish habitual exercisers older adults participating in a two-week multicomponent program who stopped during 3 months in summer observed a similar decline (44). Moreover, the reversibility of exercise effects on QoL has also been observed during COVID-19 pandemic, in which there was a large population of older adults forced to stop their physical exercise activities (45). Declines in HRQoL in this period have been well-described in physically active older adults (46,47). Moreover, it seems that those with a decline in functional capacity are more susceptible to change their HRQoL, concretely the depressive dimension (46).

Finally, another important contribution of this study is the identification of specific improvements in parameters that are related with improvements in HRQoL. As we have mentioned above, several studies concluded that improvements in physical function and physical fitness are accompanied by an improvement in HRQoL (10,40). Concretely, the present study has identified arm strength, aerobic capacity, and weight loss as the most important contributors. A possible explanation could be their role in daily activities. For example, although leg strength is very important to be independent, higher aerobic capacity allows people to spend more time outside and be more active, which may improve QoL. Thus, despite more research in this field is needed, these parameters should be a priority when an intervention in this population is designed.

This study is not exempted of limitations that have been tried to be controlled along the methodological design. Firstly, a randomization of the sample was not possible as it was difficult to change older adult routines, and some participants refused to participate in TRAIN group. Additionally, a randomization of the sample was not performed for pragmatic and ethical reasons, since not prescribing exercise to older adults may be considered unethical (48). Therefore, the sample was divided into CON and TRAIN groups according to the volunteers' preferences/availability in order to maximize training attendance. Despite this fact, baseline characteristics were similar, and it may not be influencing the results. The EQ-5D-3L presents a ceiling effect in those participants that have a good health status. However, this is a widely used questionnaire in health economic research and, by its own, it easily describes the self-perception HRQoL and have a short extend to be interviewed to older population. Besides, as it has been presented, there is a scarce number of participants presenting this ceiling effect at baseline, which confer enough credibility to our positive results obtained with the exercise intervention. Although we tried to standardize all

measurements to avoid possible bias, BIA has been criticised and its accuracy is under discussion (49), future studies may use more precise methods. Therefore, as the study does not include a big sample, future studies with larger number of participants should be performed to establish deeper conclusions. Among others, an important strength of this study is the in depth description of the training protocol as trial descriptions of exercise interventions are often suboptimal and leaves practitioners or trainers unclear about the content of effective programs (18).

CONCLUSION

Healthier values in physical fitness, body composition and nutritional parameters in older adults with limited physical function are associated with higher HRQoL. It has been proved that our MCT program improved HRQoL in this population and that if exercise is stopped, this self-perception of health declined till basal values. In addition, it has been found that changes in HRQoL during the exercise intervention seem to be determined by an improvement in arm strength, aerobic capacity and a weight loss. Thus, there is no doubt that MCT program is a useful type of organising exercise to improve QoL in people with limited physical function. The study highlights the importance of performed ongoing programs in this population for a sustainable and long effective benefit. Furthermore, these physical fitness parameters and weight loss should be prior when these exercise strategies will be designed. Future research should be focused on evaluate the cost-effectiveness of these interventions.

Regional Development Fund, and CIBER -Consortio Centro de Investigación Biomédica en Red- (CB12/03/30038), Instituto de Salud Carlos III, Ministerio de Ciencia e Innovación and Unión Europea – European Regional Development Fund.

Acknowledgments: The authors are grateful to all the collaborators, nursing homes, health centers and participants whose cooperation and dedication made this study possible. A. M. F. received a PhD grant from “Gobierno de Aragón” (2016-2021). D. N. received a grant from “Gobierno de Aragón” (DGAIU/1/20). A. F. G. received a grant from the Spanish Government (BES-2017-081402).

Declaration of Interest: The authors declare no conflict of interest.

REFERENCES

1. World Health Organization. World report on Ageing And Health. 2015.
2. Makovski TT, Schmitz S, Zeegers MP, Stranges S, van den Akker M. Multimorbidity and quality of life: Systematic literature review and meta-analysis. *Ageing Res Rev.* 2019 Aug;53:100903.
3. CDC. Health-Related Quality of Life (HRQOL). 2020.
4. Amarantos E, Martinez A, Dwyer J. Nutrition and Quality of Life in Older Adults. *Journals Gerontol Ser A.* 2001 Oct 1;56(suppl_2):54–64.
5. Park HK, Chun SY, Choi Y, Lee SY, Kim SJ, Park E-C. Effects of social activity on health-related quality of life according to age and gender: an observational study. *Health Qual Life Outcomes.* 2015;13(1):140.
6. Olivares PR, Gusi N, Prieto J, Hernandez-Mocholi MA. Fitness and health-related quality of life dimensions in community-dwelling middle aged and older adults. *Health Qual Life Outcomes.* 2011 Dec;9:117.
7. León-Salas B, Ayala A, Blaya-Nováková V, Avila-Villanueva M, Rodríguez-Blázquez C, Rojo-Pérez F, et al. Quality of life across three groups of older adults differing in cognitive status and place of residence. *Geriatr Gerontol Int.* 2015 May;15(5):627–35.

8. Koolhaas CM, Dhana K, van Rooij FJA, Schoufour JD, Hofman A, Franco OH. Physical activity types and health-related quality of life among middle-aged and elderly adults: The Rotterdam Study. *J Nutr Health Aging*. 2018;22(2):246–53.
9. Kojima G, Iliffe S, Jivraj S, Walters K. Association between frailty and quality of life among community-dwelling older people: a systematic review and meta-analysis. *J Epidemiol Community Health*. 2016 Jul;70(7):716–21.
10. Chou C-H, Hwang C-L, Wu Y-T. Effect of exercise on physical function, daily living activities, and quality of life in the frail older adults: a meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012 Feb;93(2):237–44.
11. Xue Q-L. The frailty syndrome: definition and natural history. *Clin Geriatr Med*. 2011;27(1):1–15.
12. de Labra C, Guimaraes-Pinheiro C, Maseda A, Lorenzo T, Millan-Calenti JC. Effects of physical exercise interventions in frail older adults: a systematic review of randomized controlled trials. *BMC Geriatr*. 2015 Dec;15:154.
13. Izquierdo M, Merchant RA, Morley JE, Anker SD, Aprahamian I, Arai H, et al. International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR): Expert Consensus Guidelines. *J Nutr Health Aging*. 2021;
14. Carvalho MJ, Marques E, Mota J. Training and detraining effects on functional fitness after a multicomponent training in older women. *Gerontology*. 2009;55(1):41–8.
15. Moradell A, Navarrete-Villanueva D, Fernández-García ÁI, Sagarra-Romero L, Marín-Puyalto J, Pérez-Gómez J, et al. Effects of a multicomponent exercise program, a detraining period and dietary intake prediction of body composition of frail and pre-frail older adults from the exernet elder 3.0 study. *Sustainability*. 2020 Nov 26;12(23):9894.
16. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, Glynn RJ, Berkman LF, Blazer DG, et al. A Short Physical Performance Battery Assessing Lower Extremity Function: Association With Self-Reported Disability and Prediction of Mortality and Nursing Home Admission. *J Gerontol*. 1994 Mar 1;49(2):M85–94.

17. Treacy D, Hassett L. The Short Physical Performance Battery. *J Physiother.* 2018;64(1):61.
18. Fernández-García ÁI, Gómez-Cabello A, Moradell A, Navarrete-Villanueva D, Pérez-Gómez J, Ara I, et al. How to Improve the Functional Capacity of Frail and Pre-Frail Elderly People? Health, Nutritional Status and Exercise Intervention. The EXERNET-Elder 3.0 Project. *Sustainability.* 2020 Aug 3;12(15):6246.
19. Lopez-Rodriguez C, Laguna M, Gomez-Cabello A, Gusi N, Espino L, Villa G, et al. Validation of the self-report EXERNET questionnaire for measuring physical activity and sedentary behavior in elderly. *Arch Gerontol Geriatr.* 2017 Mar; 69:156–61.
20. Schroder H, Fito M, Estruch RR, Martinez-Gonzalez MA, Corella D, Salas-Salvado J, et al. A short screener is valid for assessing Mediterranean diet adherence among older Spanish men and women. *J Nutr.* 2011 Jun;141(6):1140–5.
21. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR, Lobo A, Saz P, Marcos G, et al. Revalidation and standardization of the cognition mini-exam (first Spanish version of the Mini-Mental Status Examination) in the general geriatric population. *Med Clin (Barc).* 1999;112(20):767–74.
22. Rikli RE, Jones CJ. *Senior Fitness Test Manual.* Human Kinetics; 2013.
23. Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Educación y Ciencia. Eurofit : test europeo de aptitud física. Madrid. 1992.
24. Slade SC, Dionne CE, Underwood M, Buchbinder R. Consensus on Exercise Reporting Template (CERT): Explanation and Elaboration Statement. *Br J Sports Med.* 2016 Dec 1;50(23):1428 LP – 1437.
25. Badia X, Roset M, Montserrat S, Herdman M, Segura A. [The Spanish version of EuroQol: a description and its applications. European Quality of Life scale]. *Med Clin (Barc).* 1999;112 Suppl:79–85.

26. Szende A, Janssen B, Cabases J, editors. *Self-Reported Population Health: An International Perspective based on EQ-5D*. Dordrecht (NL): Springer Netherlands; 2014.
27. Morales S, Gómez-Cabello A, González-Agüero A, Casajús JA, Ara I, Vicente-Rodríguez G. Sedentarismo y condicion física en mujeres postmenopáusicas. *Nutr Hosp*. 2013;28(4):1053–9.
28. Vellas B, Guigoz Y, Garry PJ, Nourhashemi F, Bennahum D, Lauque S, et al. The Mini Nutritional Assessment (MNA) and its use in grading the nutritional state of elderly patients. *Nutrition*. 1999 Feb;15(2):116–22.
29. Guigoz Y, Vellas B, Garry PJ. Assessing the nutritional status of the elderly: The Mini Nutritional Assessment as part of the geriatric evaluation. *Nutr Rev*. 1996 Jan;54(1 Pt 2):S59-65.
30. Martínez-González MA, García-Arellano A, Toledo E, Salas-Salvadó J, Buil-Cosiales P, Corella D, et al. A 14-item Mediterranean diet assessment tool and obesity indexes among high-risk subjects: the PREDIMED trial. *PLoS One*. 2012;7(8):e43134.
31. Pedrero-Chamizo R, Gomez-Cabello A, Melendez A, Vila-Maldonado S, Espino L, Gusi N, et al. Higher levels of physical fitness are associated with a reduced risk of suffering sarcopenic obesity and better perceived health among the elderly: the EXERNET multi-center study. *J Nutr Health Aging*. 2015 Feb;19(2):211–7.
32. Søltoft F, Hammer M, Kragh N. The association of body mass index and health-related quality of life in the general population: data from the 2003 Health Survey of England. *Qual Life Res*. 2009;18(10):1293.
33. Wang L, Crawford JD, Reppermund S, Trollor J, Campbell L, Baune BT, et al. Body mass index and waist circumference predict health-related quality of life, but not satisfaction with life, in the elderly. *Qual Life Res*. 2018;27(10):2653–65.
34. Verlaan S, Aspray TJ, Bauer JM, Cederholm T, Hemsworth J, Hill TR, et al. Nutritional status, body composition, and quality of life in community-dwelling sarcopenic and non-sarcopenic older adults: A case-control study. *Clin Nutr*. 2017 Feb;36(1):267–74.

35. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing*. 2019 Jan;48(1):16–31.
36. Galilea-Zabalza I, Buil-Cosiales P, Salas-Salvadó J, Toledo E, Ortega-Azorín C, Díez-Espino J, et al. Mediterranean diet and quality of life: Baseline cross-sectional analysis of the PREDIMED-PLUS trial. *PLoS One*. 2018 Jun 18;13(6):e0198974.
37. Jiménez-Redondo S, Beltran De Miguel B, Gavidia Banegas J, Guzman Mercedes L, Gomez-Pavon J, Cuadrado Vives C. Influence of nutritional status on health-related quality of life of non-institutionalized older people. *J Nutr Health Aging*. 2014;18(4):359–64.
38. Moradell A, Fernández-García ÁI, Navarrete-Villanueva D, Sagarra-Romero L, Gesteiro E, Pérez-Gómez J, et al. Functional Frailty, Dietary Intake, and Risk of Malnutrition. Are Nutrients Involved in Muscle Synthesis the Key for Frailty Prevention? Vol. 13, *Nutrients*. 2021.
39. Moradell A, Navarrete-Villanueva D, Fernández-García ÁI, Marín-Puyalto J, Gómez-Bruton A, Pedrero-Chamizo R, et al. Role of Dietary Intake and Serum 25(OH)D on the Effects of a Multicomponent Exercise Program on Bone Mass and Structure of Frail and Pre-Frail Older Adults. *Nutrients*. 2020 Oct;12(10).
40. Campbell E, Petermann-Rocha F, Welsh P, Celis-Morales C, Pell JP, Ho FK, et al. The effect of exercise on quality of life and activities of daily life in frail older adults: A systematic review of randomised control trials. *Exp Gerontol*. 2021 May; 147:111287.
41. Barrachina-Igual J, Martínez-Arnau FM, Pérez-Ros P, Flor-Rufino C, Sanz-Requena R, Pablos A. Effectiveness of the PROMUFRA program in pre-frail, community-dwelling older people: A randomized controlled trial. *Geriatr Nurs (Minneap)*. 2021;42(2):582–91.
42. Tarazona-Santabalbina FJ, Gómez-Cabrera MC, Pérez-Ros P, Martínez-Arnau FM, Cabo H, Tsaparas K, et al. A Multicomponent Exercise Intervention that Reverses Frailty and Improves Cognition, Emotion, and Social Networking in the Community-

Dwelling Frail Elderly: A Randomized Clinical Trial. *J Am Med Dir Assoc*. 2016 May 1;17(5):426–33.

43. Gusi N, Reyes MC, Gonzalez-Guerrero JL, Herrera E, Garcia JM. Cost-utility of a walking programme for moderately depressed, obese, or overweight elderly women in primary care: a randomised controlled trial. *BMC Public Health*. 2008 Jul; 8:231.

44. Esain I, Rodriguez-Larrad A, Bidaurrezaga-Letona I, Gil SM, Esain Castañares I, Rodríguez Larrad A, et al. Health-related quality of life, handgrip strength and falls during detraining in elderly habitual exercisers. *Health Qual Life Outcomes*. 2017;15(1):226.

45. Fernández-García ÁI, Marin-Puyalto J, Gómez-Cabello A, Matute-Llorente Á, Subías-Perié J, Pérez-Gómez J, et al. Impact of the Home Confinement Related to COVID-19 on the Device-Assessed Physical Activity and Sedentary Patterns of Spanish Older Adults. *Biomed Res Int*. 2021;2021.

46. Alzahrani H, Alshehri F, Alsufiany M, Allam HH, Almeheyawi R, Eid MM, et al. Impact of the 2019 Coronavirus Disease Pandemic on Health-Related Quality of Life and Psychological Status: The Role of Physical Activity. Vol. 18, *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021.

47. Esain I, Gil SM, Duñabeitia I, Rodriguez-Larrad A, Bidaurrezaga-Letona I. Effects of COVID-19 Lockdown on Physical Activity and Health-Related Quality of Life in Older Adults Who Regularly Exercise. Vol. 13, *Sustainability* . 2021.

48. Izquierdo M, Rodriguez-Mañas L, Casas-Herrero A, Martinez-Velilla N, Cadore EL, Sinclair AJ. Is It Ethical Not to Prescribe Physical Activity for the Elderly Frail? Vol. 17, *Journal of the American Medical Directors Association*. United States; 2016. p. 779–81.

49. Safer U, Tasci I, Binay Safer V, Doruk H. Is segmental bioelectrical impedance analysis a valid tool to assess muscle mass in the elderly? Vol. 13, *Geriatrics & gerontology international*. Japan; 2013. p. 1085–6.

6. Discusión Global

Un estilo de vida saludable basado en la práctica de actividad física en el tiempo libre e incluso combinado con un buen entrenamiento específico puede hacer mejorar o disminuir los efectos del envejecimiento en la población mayor con capacidad funcional limitada. Si además de esto aseguramos una correcta ingesta energética, es probable que se consigan mejores resultados. A continuación, se discuten algunos de los resultados más importantes de esta tesis doctoral con el fin de englobar los hallazgos de los diferentes artículos.

La principal temática de los tres primeros artículos es el estudio del hueso y sus factores más influyentes. Encontramos que, en hombres, las variables analizadas a través del dispositivo pQCT muestran una asociación con diferentes variables de la condición física. Concretamente, el hueso medido al 38% de la longitud de la tibia, donde predomina el hueso cortical se asocia con variables muy relevantes en la capacidad funcional, como son la fuerza de piernas o la velocidad de la marcha, y otras como la agilidad. Sin embargo, observamos diferentes resultados para las mujeres donde las variables relativas al área, obtenidas por DXA muestran asociaciones en este caso con el equilibrio. Algunas de las explicaciones a estos resultados son las ya estudiadas diferencias a nivel hormonal y metabólico entre los hombres y las mujeres (39,232), así como en este proyecto, un mayor número de mujeres que de hombres participaban en actividades organizadas por ayuntamientos y centros sociales. En la mayoría de estas actividades se trabaja el equilibrio por lo que podría estar teniendo un estímulo sobre el hueso en estas mujeres (233), que no aparece en los hombres.

Utilizando la muestra perteneciente a la continuación del estudio EXERNET-Elder 3.0 se evaluó la asociación de los diferentes patrones de intensidades de AF. A

pesar de no poderse separar por género, a causa de un menor tamaño muestral y de no realizarse DXA, los resultados volvieron a mostrar una importante asociación con el grosor del hueso cortical medido al 38%, concretamente con la AF moderada-vigorosa, resultados similares a los de Johansson y col. (234). Para este artículo se siguió la metodología utilizada por Rodríguez-Gómez y col. en la que se evaluaban la asociación entre estos patrones de AF y las variables de área de hueso medidas con DXA a través de un análisis composicional (232). Por otro lado, aquellas personas que han sufrido alguna fractura se mueven menos, al igual que las que tienen miedo a caerse y aquellos que han sufrido alguna caída o tienen riesgo de caerse parecen moverse más. Estos resultados pueden deberse a que haya mayor probabilidad de caerse al ocupar mayor parte de su tiempo en actividades físicas. Sin embargo, estos resultados son meramente descriptivos y no puede establecerse una relación causa-efecto entre ninguna de las categorías.

En este sentido, tras evaluar posibles factores relacionados con la salud ósea, se pretendió comprobar si un programa de EMC enfocado a la mejora de la funcionalidad de personas mayores con capacidad funcional limitada podía mejorar las diferentes variables de hueso volumétrico. El programa multicomponente del estudio EXERNET-Elder 3.0 parece que frena ligeramente el deterioro del hueso sobre todo a nivel de grosor y del total de hueso cortical. Sin embargo, no se encuentra un aumento de las variables óseas que podría estar relacionada con el propio metabolismo (45), ya que no hay suficiente impacto o intensidad durante las sesiones (154), o a que se necesita más tiempo para observar incrementos sustanciales en esta población. Pese a todo, el mantenimiento de los valores óseos en etapas de la vida en las que lo esperable es un deterioro normalizado, es en esencia un resultado positivo.

Con el fin de profundizar en el alcance de los efectos de este entrenamiento y la composición corporal, se estudiaron los efectos en variables reportadas por impedancia bioeléctrica y antropometría. En este tercer artículo encontramos nuevamente pequeños cambios. Concretamente, tras 6 meses de entrenamiento se disminuyó ligeramente la masa grasa y el IMC, pero no se encontraron diferencias en la MLG, una de las variables de mayor interés por su relación con el músculo, la sarcopenia y la fragilidad (51,112,235,236). A pesar de ello, tras 4 meses de desentrenamiento la masa libre de grasa del grupo intervención comenzó a disminuir, lo que hace pensar que las pequeñas mejoras que se obtienen durante el entrenamiento disminuyen rápidamente tras cesar este, siendo este empeoramiento incluso más acusado. Este hecho lleva a sugerir que estas personas con capacidad funcional limitada requieren de mayor tiempo para ganar masa muscular, a pesar de que sí parece ser suficiente tiempo para mejorar notablemente la condición física, que era el principal objetivo del entrenamiento (237,238).

Los cambios anteriormente descritos parecen estar relacionados con la ingesta nutricional en este grupo de personas mayores con capacidad funcional limitada. A nivel óseo, nutrientes como el alcohol y la ingesta excesiva de vitamina A parecen tener un efecto negativo, mientras que los ácidos grasos poliinsaturados y la 25(OH)D parecen tener una asociación positiva. Se esperaba además encontrar relación con nutrientes clásicamente descritos como más relevantes para el hueso, como el calcio o el fósforo medidos en sangre como muestran otros estudios (40), sin embargo no se observó relación. Estos resultados pueden deberse a que la ingesta estaba próxima a la recomendada. Por otro lado, los cambios en la masa grasa parece que se deben a un desequilibrio energético. El grupo de entrenamiento podría haber aumentado su ingesta durante el periodo de intervención y tardó más en disminuirlo, lo que explicaría un

aumento de la grasa. Otra posible explicación podría relacionarse con el desplazamiento de unos nutrientes por otros, es decir, al tomar más grasa toman menos proteína o hidratos.

Los anteriores resultados llevan a pensar que el estado nutricional puede influir sobre los efectos causados durante el entrenamiento. Mientras que a nivel de composición corporal sí parece que solo observamos una pérdida de grasa en los que no tienen riesgo de desnutrición, la condición física aumenta de manera similar en ambos grupos. Esta contradicción puede deberse, bien a que el grupo en riesgo tiene una elevación de la inflamación (239), que le impide perder grasa o bien a que en ese grupo la masa grasa juega un papel protector, similar a lo que ocurre con la paradoja de la obesidad (21). Sin embargo, el entrenamiento no revierte el estado nutricional adverso, aunque sí parece frenar su progresión. Por tanto, a través del entrenamiento conseguimos aumentar la condición física y posiblemente la funcionalidad independientemente del estado nutricional. Además, tal y como se esperaba, se encontró una relación estrecha entre tener una capacidad funcional limitada y el riesgo de desnutrición, así como que la ingesta nutricional posee un importante rol. Concretamente, destacan aquellos nutrientes involucrados en el metabolismo muscular, donde la mayoría de los participantes frágiles y pre-frágiles mostraron deficiencias en la IDR.

Finalmente, y retomando los efectos de la intervención, se estudió el efecto sobre la CVRS en estas personas y si las variables estudiadas hasta ahora podían influir. La CVRS mejoró en el grupo intervención, sin embargo, se deben evitar periodos en los que se dejen de ofrecer estas actividades ya que como en otros estudios, se ha visto que las mejoras desaparecen rápidamente (196). Las mejoras encontradas en la CVRS están

relacionadas con una pérdida de peso de los participantes, así como con variables de resistencia, fuerza de piernas, pero no con el patrón de la dieta o el estado nutricional, por lo que deben ser parámetros para considerar a la hora de realizar una intervención de estas características.

6.1. Limitaciones

A pesar de que los estudios incluidos en esta tesis doctoral han sido evaluados positivamente con financiación nacional e internacional y que su metodología está descrita con detalle, no están exentos de limitaciones.

La principal limitación de los estudios transversales incluidos en esta tesis doctoral es que no puede establecerse una relación de causalidad por lo que solo son asociaciones entre variables que requieren de más estudio. Además, a excepción del primero, no se ha podido separar la muestra por sexo, lo que podría desvelar diferencias en las asociaciones y cambios encontrados. Este hecho se debe a que la muestra era pequeña y en ocasiones se han creado grupos a posteriori haciendo que la potencia de los análisis disminuya considerablemente. Por otro lado, en el estudio de intervención no se pudo aleatorizar la muestra.

En relación con los estudios que analizan el hueso, no se han podido tener en cuenta otras covariables como la medicación lo que podría estar interfiriendo en los resultados. Además, se tuvieron que descartar muchas imágenes obtenidas a partir del pQCT debido a su sensibilidad al movimiento y que mantener la misma posición quieta para esta población es difícil.

Otras de las limitaciones que encontramos a la hora de valorar la composición corporal es la utilización de impedancia bioeléctrica, ya que su uso en esta población ha

sido bastante debatido (240). Por último, el uso de cuestionarios, a pesar de estar validados, pueden llevar a sobreestimar o subestimar las ingestas, actividad física u otras variables, así como que pueden estar influidos por deterioros cognitivos leves.

6.2. Fortalezas

A pesar de las limitaciones, el proyecto en el que se enmarca la presente tesis doctoral tiene destacables fortalezas. En primer lugar, la metodología está descrita con detalle, todos los investigadores estaban entrenados y cualificados para la realización de las diferentes tareas y siempre se seguían los mismos procedimientos desde la valoración inicial de la cohorte, pasando por estudios longitudinales de varios años, finalizando con estudios de intervención. A pesar de no haber podido aleatorizar la muestra del estudio de intervención, las características iniciales de ambos grupos no presentaban diferencias significativas y eran comparables, por lo que se corrigió un posible sesgo. Además, así se garantizó la continuidad de los sujetos y su adherencia.

Otras importantes fortalezas relacionadas con la metodología utilizada es el uso de dispositivos objetivos y de precisión como la acelerometría, el pQCT o el DXA.

7. Conclusiones

- **Manuscrito I.** Los parámetros de hueso obtenidos con pQCT están más influenciados por la condición física en hombres que en mujeres, siendo la agilidad y la velocidad de la marcha los que presentan una mayor asociación.
- **Manuscrito II.** La DMO al 38% de la longitud de la tibia y el grosor cortical están influenciados por la actividad física moderada-vigorosa. Las personas mayores que han sufrido fracturas previas y los que tienen miedo a caer muestran una baja actividad física tanto ligera como moderada-vigorosa, al contrario que aquellos con riesgo de caer y con caídas previas. Incrementar su actividad mejoraría la salud ósea en estos grupos.
- **Manuscrito III.** El programa de entrenamiento multicomponente frena el deterioro del hueso causado por el envejecimiento. No obstante, para mejorar la salud ósea, deberían explorarse entrenamientos más específicos con mayor beneficio. La 25(OH)D tiene un efecto positivo sobre la DMO, mientras que el exceso de vitamina A o el alcohol parecen tener un efecto negativo en el índice de fracturas o sobre la DMO.
- **Manuscrito IV.** El entrenamiento multicomponente parece reducir la adiposidad y mantener la masa muscular de las personas frágiles y pre-frágiles. Sin embargo, un periodo de desentrenamiento lleva a aumentar la adiposidad y a disminuir la masa muscular. Una ingesta energética elevada parece contribuir negativamente en las pérdidas de masa grasa obtenidas durante el entrenamiento.
- **Manuscrito V.** Las personas mayores con riesgo de desnutrición y las bien nutridas muestran diferencias en la condición física, concretamente en fuerza de

brazos y piernas, potencia, agilidad, velocidad y resistencia. La implementación de programas de entrenamiento multicomponente previene el riesgo de desnutrición. Además, los bien nutridos muestran mayores beneficios del entrenamiento con ganancias adicionales en la disminución de la adiposidad y un aumento del equilibrio.

- **Manuscrito VI.** Los resultados muestran una baja ingesta de proteína, ácidos grasos poliinsaturados ω -3 y vitamina D en el grupo de frágiles, así como ingestas más elevadas de carbohidratos, comparado con el grupo de no-frágiles. Aquellos con desnutrición muestran tener unas 8 veces más de probabilidades de desarrollar fragilidad. Para prevenir la fragilidad, las personas mayores en riesgo de desnutrición deberían asegurar una mayor ingesta de proteína, ácidos grasos poliinsaturados ω -3, retinol, ácido ascórbico, ácido fólico, piridoxina, niacina, magnesio y potasio.
- **Manuscrito VII.** Valores más saludables de condición física, composición corporal y estado nutricional en personas mayores con capacidad funcional limitada están asociados con valores mayores de calidad de vida relacionada con la salud. El entrenamiento multicomponente tiene un efecto positivo en la calidad de vida relacionada con la salud que disminuye cuando se interrumpe el ejercicio. Los cambios adquiridos con el entrenamiento en la calidad de vida relacionada con la salud parecen estar determinados por un aumento en la fuerza de brazos, la capacidad aeróbica y por la pérdida de peso.

7. Conclusions

- **Manuscript I.** pQCT bone parameters are more influenced by physical fitness in males than females, showing agility and walking the greatest associations.
- **Manuscript II.** Cortical bone is associated to whole movement distribution behaviour. Specifically, total BMD at 38% of the tibia and the cortical thickness are positively influenced by moderate-to-vigorous physical activity. Less light and moderate-to-vigorous physical activity were found in those with previous fractures and those with fear of falling, opposite to those who were at risk of falling or with previous falls during the last year. To increase their physical activity would improve their bone health.
- **Manuscript III.** The multicomponent training programme seems to slow down bone reductions associated with ageing in frail and pre-frail older adults; however, we could not recommend this type of intervention for improve bone. Although serum 25(OH)D seems to have a positive influence on BMD, alcohol or vitamin A seem to have a negative effect on changes of fracture index and BMD.
- **Manuscript IV.** Our 6-month multicomponent training programme seems to reduce adiposity and maintain muscle mass of frail and pre-frail older people. A detraining period of 4 months leads to an increase in adiposity and a decrease in muscle mass. Moreover, higher energy intakes seem to have a negative contribution on fat mass and body fat percentage changes obtained with the multicomponent training programme.

- **Manuscript V.** Differences between older adults at risk of malnutrition and well-nourished are observed in arm and leg strength, agility, walking speed and aerobic capacity. The implementation of a multicomponent training programme seems to prevent a decrease in the nutritional status of well-nourished older adults. Although both groups seem to increase their physical performance similarly, the well-nourished seems to obtain more benefits from the multicomponent training as they present additionally, a decrease in their adiposity and an increase in balance.
- **Manuscript VI.** Our results showed lower intakes of protein, polyunsaturated fatty acids n-3, and vitamin D in frail group, while revealing higher intakes of carbohydrates. Those at risk of malnutrition have almost 8 times more probabilities to develop frailty. To prevent frailty, higher intakes in protein, polyunsaturated fatty acids n-3, retinol, ascorbic acid, folic acid, pyridoxin, niacin, magnesium, and potassium should be promoted in those at risk of malnutrition.
- **Manuscript VII.** Healthier values in physical fitness, body composition and nutritional parameters in older adults with limited physical function are associated with higher health-related quality of life. It has been proved that our multicomponent training programme improves health-related quality of life in this population and that if exercise is stopped, this self-perception of health declines till basal values. Changes in health-related quality of life during the exercise intervention seem to be determined by an improvement in arm strength, aerobic capacity and a weight loss.

8. Aportaciones principales de la tesis doctoral

Las aportaciones que surgen de la presente tesis doctoral fruto de los resultados y conclusiones de los artículos son las siguientes:

- Con los resultados obtenidos en los tres artículos iniciales podemos demostrar que el uso del pQCT es de gran importancia en la determinación de la salud ósea y que se requiere investigar con más profundidad las asociaciones y efectos de la actividad física, condición física y ejercicio físico sobre el hueso en la población mayor.
- El segundo estudio muestra la importancia de realizar recomendaciones sobre actividad física moderada-vigorosa en relación con la prevención de enfermedades óseas. Dado las diferencias en los patrones de actividad se sugiere que se debe abordar de diferente manera los programas de ejercicio diseñados para personas mayores que han sufrido o están en riesgo de sufrir caídas o fracturas.
- Nuestro programa de entrenamiento multicomponente parece reducir algunos deterioros asociados a la edad relacionados con la composición corporal de personas mayores con capacidad funcional limitada. Sin embargo, parece no ser el protocolo óptimo si el objetivo a abordar es mejorar la composición corporal. Hay que destacar que, aunque los efectos no sean muy relevantes sobre la composición corporal, si se dejan de realizar se observan efectos negativos. Por ello, se deben maximizar en la medida de lo posible los periodos de entrenamiento.

- El quinto artículo sugiere que, pese a que el entrenamiento multicomponente es efectivo independientemente del estado nutricional de la persona, los beneficios son mayores en el grupo que tiene un buen estado nutricional. Tal vez, la suplementación con ciertos nutrientes implicados en el metabolismo muscular sería interesante para que ambos grupos, los que están en riesgo de desnutrición y los bien nutridos, mostraran beneficios similares.
- Los cinco artículos finales resaltan la importancia de la nutrición en los cambios en la composición corporal. Se recomienda limitar el consumo de vitamina A y alcohol para el desarrollo óseo, así como fomentar el consumo de antioxidantes, antiinflamatorios y sobre todo proteína para mantener la masa muscular, garantizar un buen estado nutricional y evitar el desarrollo de la fragilidad.
- El entrenamiento multicomponente tiene efectos beneficiosos en la calidad de vida relacionada con la salud, una de las máximas a conseguir con cualquier intervención. Además, estas mejoras son a nivel de ansiedad y depresión, de percepción del dolor y de movilidad, por lo que los beneficios parecen no ser solo físicos sino también psicológicos.

9. Líneas futuras

La temática y resultados de los artículos incluidos en esta tesis doctoral nos llevan a determinar algunas líneas futuras; las primeras más específicas de los resultados obtenidos y las últimas en relación con crear una sociedad más saludable basada en la prevención:

- Aumentar la investigación acerca de la contribución del ejercicio físico y de factores relacionados como la condición física sobre el hueso “volumétrico”, con el fin de prevenir la osteoporosis o determinar con mayor precisión el riesgo de fracturas en las personas mayores; además, investigar si los resultados encontrados a nivel periférico pueden ser extrapolables a todo el cuerpo. Se necesita, además, establecer puntos de corte con esta metodología que puedan diagnosticar esta enfermedad o incluso el riesgo real de fractura.
- Estudiar los mecanismos que impiden que tras 6 meses de ejercicio multicomponente no se vean efectos relevantes sobre la composición corporal. Investigar si se debe al estado nutricional, al diseño del ejercicio o a la combinación de ambos, determinando si existen mecanismos moleculares y fisiológicos que lo impidan. Encontrar, independientemente de los otros factores, la dosis óptima que garantice la adherencia y maximice los beneficios a través del ejercicio.
- Asegurar la ingesta adecuada de nutrientes y prevenir la malnutrición en todas las personas mayores. Fomentar y llevar a cabo estrategias conjuntas con los graduados en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y los Dietistas-Nutricionistas que potencien a través del ejercicio y la nutrición, los efectos observados en esta población, con el único fin de mejorar la funcionalidad y calidad de vida de las personas mayores.

- Evaluar el coste-efectividad de estas intervenciones.
- Diseñar estudios que traten de cubrir los conocimientos anteriormente descritos garantizando su continuidad. Tratar de planificar proyectos conjuntos con ayuntamientos e instituciones que puedan mantener a lo largo del tiempo estas actividades encargándose así de no dejar abandonados a los participantes una vez que finalizan los estudios de investigación y se termina la financiación.
- Incluir a graduados en Ciencias de la Actividad Física y a Dietistas-Nutricionistas en el Sistema Nacional de Salud y específicamente en Atención Primaria para prevenir el desarrollo de enfermedades no-transmisibles, así como para ayudar al manejo de estas evitando sus efectos secundarios y reduciendo el riesgo de fragilidad en las personas mayores. Es necesario lanzar mensajes claros basados en evidencia científica sobre ejercicio y nutrición. Promover la actividad física, haciendo hincapié en la actividad física moderada-vigorosa y los programas específicos de ejercicio para una prescripción de precisión, así como la importancia de la ingesta de proteínas y agentes antiinflamatorios que maximicen los beneficios del ejercicio.

Referencias bibliográficas

1. Freund AM. Successful Aging as Management of Resources: The Role of Selection, Optimization, and Compensation. *Res Hum Dev.* 2008;5:94–106. doi: 10.1080/15427600802034827.
2. Organización Mundial de la Salud (OMS). Informe mundial sobre el envejecimiento y la salud. vol. 53. World Health Organization; 2015. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
3. United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Division. World Population Ageing 2020 Highlights: Living arrangements of older persons. ST/ESA/SER. 2020.
4. United Nations Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019: Highlights. 2019. https://population.un.org/wpp/publications/files/wpp2019_highlights.pdf
5. European Statistics (Eurostat) 2021. <https://ec.europa.eu/eurostat>
6. Li J, Han X, Zhang X, Wang S. Spatiotemporal evolution of global population ageing from 1960 to 2017. *BMC Public Health.* 2019;19:127. doi: 10.1186/s12889-019-6465-2.
7. Instituto Nacional de Estadística. Proyecciones de Población 2022-2072. 2022. https://www.ine.es/prensa/pp_2022_2072.pdf
8. Instituto Nacional de Estadística. INEbase 2021. <https://www.ine.es/index.htm>
9. Zuera P, Rentería E. La esperanza de vida libre de enfermedad no aumenta en España. *Perspect Demogràfiques.* 2021;022:1–4.

10. Murray CJL, Lopez AD. Measuring the global burden of disease. *N Engl J Med*. 2013;369:448–57. doi: 10.1056/NEJMra1201534.
11. Garin N, Olaya B, Perales J, Moneta MV, Miret M, Ayuso-Mateos JL, et al. Multimorbidity patterns in a national representative sample of the Spanish adult population. *PLoS One*. 2014;9:e84794. doi: 10.1371/journal.pone.0084794.
12. European Commission. Ageing Europe. Looking at the lives of older people in the EU. (2020 Edition). Luxemburg: 2020. <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/11478057/KS-02-20-655-EN-N.pdf/9b09606c-d4e8-4c33-63d2-3b20d5c19c91>
13. Instituto nacional de Estadística, Instituto Nacional de Estadística. INEbase 2020. <https://www.ine.es/index.htm>
14. INE INstituto Nacional de estadística. Estadística del Padrón Continuo a 1 de Enero de 2020. 2020. https://www.ine.es/prensa/pad_2020_p.pdf
15. Delgado-Sanz MC, Prieto-Flores M-E, Forjaz MJ, Ayala A, Rojo-Perez F, Fernandez-Mayoralas G, et al. Influencia de los problemas crónicos de salud en las dimensiones del cuestionario EQ-5D: estudio en personas mayores institucionalizadas y no institucionalizadas. *Rev Esp Salud Publica*. 2011;85:555–68.
16. López-Otín C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G. The hallmarks of aging. *Cell*. 2013;153:1194–217. doi: 10.1016/j.cell.2013.05.039.
17. Partridge L, Deelen J, Slagboom PE. Facing up to the global challenges of ageing. *Nature*. 2018;561:45–56. doi: 10.1038/s41586-018-0457-8.
18. Kyle UG, Zhang FF, Morabia A, Pichard C. Longitudinal study of body

- composition changes associated with weight change and physical activity. *Nutrition*. 2006;22:1103–11. doi: 10.1016/j.nut.2006.08.003.
19. Jungert A, Eichner G, Neuhäuser-Berthold M. Trajectories of Body Composition during Advanced Aging in Consideration of Diet and Physical Activity: A 20-Year Longitudinal Study. *Nutrients*. 2020;12:3626. doi: 10.3390/nu12123626.
 20. World Health Organization. Obesity: preventing and managing the global epidemic: report of a WHO consultation. 2000. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42330>
 21. Wang S, Ren J. Obesity Paradox in Aging: From Prevalence to Pathophysiology. *Prog Cardiovasc Dis*. 2018;61:182–9. doi: 10.1016/j.pcad.2018.07.011.
 22. Gruberg L, Weissman NJ, Waksman R, Fuchs S, Deible R, Pinnow EE, et al. The impact of obesity on the short-term and long-term outcomes after percutaneous coronary intervention: the obesity paradox? *J Am Coll Cardiol*. 2002;39:578–84. doi: 10.1016/s0735-1097(01)01802-2.
 23. Woodrow G. Body composition analysis techniques in the aged adult: indications and limitations. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2009;12:8–14. doi: 10.1097/MCO.0b013e32831b9c5b.
 24. Sorkin JD, Muller DC, Andres R. Longitudinal change in height of men and women: implications for interpretation of the body mass index: the Baltimore Longitudinal Study of Aging. *Am J Epidemiol*. 1999;150:969–77. doi: 10.1093/oxfordjournals.aje.a010106.
 25. Kuk JL, Saunders TJ, Davidson LE, Ross R. Age-related changes in total and regional fat distribution. *Ageing Res Rev*. 2009;8:339–48. doi:

10.1016/j.arr.2009.06.001.

26. Delmonico MJ, Harris TB, Visser M, Park SW, Conroy MB, Velasquez-Mieyer P, et al. Longitudinal study of muscle strength, quality, and adipose tissue infiltration. *Am J Clin Nutr.* 2009;90:1579–85. doi: 10.3945/ajcn.2009.28047.
27. Pappas LE, Nagy TR. The translation of age-related body composition findings from rodents to humans. *Eur J Clin Nutr.* 2019;73:172–8. doi: 10.1038/s41430-018-0324-6.
28. Malenfant JH, Batsis JA. Obesity in the geriatric population - a global health perspective. *J Glob Heal Reports.* 2019;3:e2019045. doi: 10.29392/joghr.3.e2019045.
29. Klein S, Allison DB, Heymsfield SB, Kelley DE, Leibel RL, Nonas C, et al. Waist circumference and cardiometabolic risk: a consensus statement from Shaping America's Health: Association for Weight Management and Obesity Prevention; NAASO, The Obesity Society; the American Society for Nutrition; and the American Diabetes Associa. *Am J Clin Nutr.* 2007;85:1197–202. doi: 10.1093/ajcn/85.5.1197.
30. Stevens J, Katz EG, Huxley RR. Associations between gender, age and waist circumference. *Eur J Clin Nutr.* 2010;64:6–15. doi: 10.1038/ejcn.2009.101.
31. Shimokata H, Tobin JD, Muller DC, Elahi D, Coon PJ, Andres R. Studies in the distribution of body fat: I. Effects of age, sex, and obesity. *J Gerontol.* 1989;44:M66-73. doi: 10.1093/geronj/44.2.m66.
32. Stolic M, Russell A, Hutley L, Fielding G, Hay J, MacDonald G, et al. Glucose uptake and insulin action in human adipose tissue--influence of BMI, anatomical

- depot and body fat distribution. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2002;26:17–23. doi: 10.1038/sj.ijo.0801850.
33. Kirk B, Feehan J, Lombardi G, Duque G. Muscle, Bone, and Fat Crosstalk: the Biological Role of Myokines, Osteokines, and Adipokines. *Curr Osteoporos Rep.* 2020;18:388–400. doi: 10.1007/s11914-020-00599-y.
 34. Boot AM, de Ridder MAJ, van der Sluis IM, van Slobbe I, Krenning EP, Keizer-Schrama SMPF de M. Peak bone mineral density, lean body mass and fractures. *Bone.* 2010;46:336–41. doi: 10.1016/j.bone.2009.10.003.
 35. Kim K, Jang H, Lim S. Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia. *Korean J Intern Med.* 2016;31. doi: 10.3904/kjim.2016.015.
 36. Lexell J. Human aging, muscle mass, and fiber type composition. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 1995;50 Spec No:11–6. doi: 10.1093/gerona/50a.special_issue.11.
 37. Syed FA, Ng AC. The pathophysiology of the aging skeleton. *Curr Osteoporos Rep.* 2010;8:235–40. doi: 10.1007/s11914-010-0035-y.
 38. Santos L, Elliott-Sale KJ, Sale C. Exercise and bone health across the lifespan. *Biogerontology.* 2017;18:931–46. doi: 10.1007/s10522-017-9732-6.
 39. Farr JN, Khosla S. Skeletal changes through the lifespan--from growth to senescence. *Nat Rev Endocrinol.* 2015;11:513–21. doi: 10.1038/nrendo.2015.89.
 40. Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, Kalkwarf HJ, Lappe JM, Lewis R, et al. The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: a systematic review and implementation

- recommendations. *Osteoporos Int.* 2016;27:1281–386. doi: 10.1007/s00198-015-3440-3.
41. Boskey AL, Coleman R. Aging and bone. *J Dent Res.* 2010;89:1333–48. doi: 10.1177/0022034510377791.
 42. Bolamperti S, Villa I, Rubinacci A. Bone remodeling: an operational process ensuring survival and bone mechanical competence. *Bone Res.* 2022;10:48. doi: 10.1038/s41413-022-00219-8.
 43. Chen H, Zhou X, Fujita H, Onozuka M, Kubo K-Y. Age-Related Changes in Trabecular and Cortical Bone Microstructure. *Int J Endocrinol.* 2013;2013:213234. doi: 10.1155/2013/213234.
 44. Seeman E. Bone quality: the material and structural basis of bone strength. *J Bone Miner Metab.* 2008;26:1–8. doi: 10.1007/s00774-007-0793-5.
 45. Hart NH, Nimphius S, Rantalainen T, Ireland A, Siafarikas A, Newton RU. Mechanical basis of bone strength: influence of bone material, bone structure and muscle action. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2017;17:114–39.
 46. Gerdhem P, Obrant KJ. Bone mineral density in old age: the influence of age at menarche and menopause. *J Bone Miner Metab.* 2004;22:372–5. doi: 10.1007/s00774-004-0497-z.
 47. Hannan MT, Felson DT, Dawson-Hughes B, Tucker KL, Cupples LA, Wilson PW, et al. Risk factors for longitudinal bone loss in elderly men and women: the Framingham Osteoporosis Study. *J Bone Miner Res.* 2000;15:710–20. doi: 10.1359/jbmr.2000.15.4.710.
 48. Snelling AM, Crespo CJ, Schaeffer M, Smith S, Walbourn L. Modifiable and

- Nonmodifiable Factors Associated with Osteoporosis in Postmenopausal Women: Results from the Third National Health and Nutrition Examination Survey, 1988–1994. *J Womens Health Gen Based Med.* 2001;10:57–65. doi: 10.1089/152460901750067124.
49. Gomez-Cabello A, Pedrero-Chamizo R, Olivares PR, Luzardo L, Juez-Bengoechea A, Mata E, et al. Prevalence of overweight and obesity in non-institutionalized people aged 65 or over from Spain: the elderly EXERNET multi-centre study. *Obes Rev.* 2011;12:583–92. doi: 10.1111/j.1467-789X.2011.00878.x.
50. Gallagher D, Heymsfield SB, Heo M, Jebb SA, Murgatroyd PR, Sakamoto Y. Healthy percentage body fat ranges: an approach for developing guidelines based on body mass index. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:694–701. doi: 10.1093/ajcn/72.3.694.
51. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, Boirie Y, Bruyère O, Cederholm T, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age Ageing.* 2019;48:16–31. doi: 10.1093/ageing/afy169.
52. Cruz-Jentoft AJ, Baeyens JP, Bauer JM, Boirie Y, Cederholm T, Landi F, et al. Sarcopenia: European consensus on definition and diagnosis: Report of the European Working Group on Sarcopenia in Older People. *Age Ageing.* 2010;39:412–23. doi: 10.1093/ageing/afq034.
53. WHO Scientific Group on the Prevention and Management of Osteoporosis. Prevention and management of osteoporosis. Geneva: World Health Organization; 2003. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/42841>
54. Petermann-Rocha F, Balntzi V, Gray SR, Lara J, Ho FK, Pell JP, et al. Global

- prevalence of sarcopenia and severe sarcopenia: a systematic review and meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2022;13:86–99. doi: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12783>.
55. Papadopoulou SK, Tsintavis P, Potsaki P, Papandreou D. Differences in the Prevalence of Sarcopenia in Community-Dwelling, Nursing Home and Hospitalized Individuals. A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Nutr Health Aging*. 2020;24:83–90. doi: 10.1007/s12603-019-1267-x.
56. Wang DXM, Yao J, Zirek Y, Reijnierse EM, Maier AB. Muscle mass, strength, and physical performance predicting activities of daily living: a meta-analysis. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2020;11:3–25. doi: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12502>.
57. Salari N, Darvishi N, Bartina Y, Larti M, Kiaei A, Hemmati M, et al. Global prevalence of osteoporosis among the world older adults: a comprehensive systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2021;16:669. doi: 10.1186/s13018-021-02821-8.
58. Siris ES, Adler R, Bilezikian J, Bolognese M, Dawson-Hughes B, Favus MJ, et al. The clinical diagnosis of osteoporosis: a position statement from the National Bone Health Alliance Working Group. *Osteoporos Int*. 2014;25:1439–43. doi: 10.1007/s00198-014-2655-z.
59. International Society of Clinical Densitometry. ISCD Adult Official Positions. 2019. <https://iscd.org/wp-content/uploads/2021/09/2019-Official-Positions-Adult-1.pdf>
60. Kob R, Bollheimer LC, Bertsch T, Fellner C, Djukic M, Sieber CC, et al. Sarcopenic obesity: molecular clues to a better understanding of its pathogenesis?

- Biogerontology. 2015;16:15–29. doi: 10.1007/s10522-014-9539-7.
61. Stenholm S, Harris TB, Rantanen T, Visser M, Kritchevsky SB, Ferrucci L. Sarcopenic obesity: definition, cause and consequences. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2008;11:693–700. doi: 10.1097/MCO.0b013e328312c37d.
 62. Kalinkovich A, Livshits G. Sarcopenic obesity or obese sarcopenia: A cross talk between age-associated adipose tissue and skeletal muscle inflammation as a main mechanism of the pathogenesis. *Ageing Res Rev*. 2017;35:200–21. doi: 10.1016/j.arr.2016.09.008.
 63. Kirk B, Phu S, Brennan-Olsen SL, Bani Hassan E, Duque G. Associations between osteoporosis, the severity of sarcopenia and fragility fractures in community-dwelling older adults. *Eur Geriatr Med*. 2020;11:443–50. doi: 10.1007/s41999-020-00301-6.
 64. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*. 1985;100:126–31.
 65. American College of Sports Medicine. *ACSM’s Health-Related Physical Fitness Assessment*. 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2018.
 66. Maki BE, McIlroy WE. Postural Control in the Older Adult. *Clin Geriatr Med*. 1996;12:635–58. doi: [https://doi.org/10.1016/S0749-0690\(18\)30193-9](https://doi.org/10.1016/S0749-0690(18)30193-9).
 67. Duray M, Genç A. The relationship between physical fitness and falling risk and fear of falling in community-dwelling elderly people with different physical activity levels. *Turkish J Med Sci*. 2017;47:455–62. doi: 10.3906/sag-1511-101.
 68. Granacher U, Muehlbauer T, Gruber M. A Qualitative Review of Balance and

- Strength Performance in Healthy Older Adults: Impact for Testing and Training. *J Aging Res.* 2012;2012:708905. doi: 10.1155/2012/708905.
69. Stevens KN, Lang IA, Guralnik JM, Melzer D. Epidemiology of balance and dizziness in a national population: findings from the English Longitudinal Study of Ageing. *Age Ageing.* 2008;37:300–5. doi: 10.1093/ageing/afn019.
70. Gomez-Bruton A, Navarrete-Villanueva D, Pérez-Gómez J, Vila-Maldonado S, Gesteiro E, Gusi N, et al. The effects of Age, Organized Physical Activity and Sedentarism on Fitness in Older Adults: An 8-Year Longitudinal Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17. doi: 10.3390/ijerph17124312.
71. Pedrero-Chamizo R, Gómez-Cabello A, Delgado S, Rodríguez-Llarena S, Rodríguez-Marroyo JA, Cabanillas E, et al. Physical fitness levels among independent non-institutionalized Spanish elderly: The elderly EXERNET multi-center study. *Arch Gerontol Geriatr.* 2012;55:406–16. doi: 10.1016/j.archger.2012.02.004.
72. Svinøy O-E, Hilde G, Bergland A, Strand BH. Timed Up and Go: Reference Values for Community-Dwelling Older Adults with and without Arthritis and Non-Communicable Diseases: The Tromsø Study. *Clin Interv Aging.* 2021;16:335–43. doi: 10.2147/CIA.S294512.
73. Ibrahim A, Singh DKA, Shahar S. “Timed Up and Go” test: Age, gender and cognitive impairment stratified normative values of older adults. *PLoS One.* 2017;12:e0185641–e0185641. doi: 10.1371/journal.pone.0185641.
74. Doriot N, Wang X. Effects of age and gender on maximum voluntary range of motion of the upper body joints. *Ergonomics.* 2006;49:269–81. doi: 10.1080/00140130500489873.

75. Araújo CGS de. Flexibility assessment: normative values for flexitest from 5 to 91 years of age. *Arq Bras Cardiol.* 2008;90:257–63. doi: 10.1590/s0066-782x2008000400008.
76. Sforza C, Grassi G, Fragnito N, Turci M, Ferrario V. Three-dimensional analysis of active head and cervical spine range of motion: effect of age in healthy male subjects. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2002;17:611–4. doi: 10.1016/s0268-0033(02)00071-2.
77. Grimston SK, Nigg BM, Hanley DA, Engsberg JR. Differences in ankle joint complex range of motion as a function of age. *Foot Ankle.* 1993;14:215–22. doi: 10.1177/107110079301400407.
78. Paterson DH, Warburton DE. Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2010;7:38. doi: 10.1186/1479-5868-7-38.
79. Nuzzo JL. The Case for Retiring Flexibility as a Major Component of Physical Fitness. *Sport Med.* 2020;50:853–70. doi: 10.1007/s40279-019-01248-w.
80. Katzmarzyk PT, Craig CL. Musculoskeletal fitness and risk of mortality. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34:740–4. doi: 10.1097/00005768-200205000-00002.
81. Siff M, Verkhoshansky Y. *Superentrenamiento.* 2nd ed. Badalona: Paidotribo; 1996.
82. American College of Sports Medicine. *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription.* 11th ed. 2018.
83. Dodds RM, Syddall HE, Cooper R, Benzeval M, Deary IJ, Dennison EM, et al. Grip Strength across the Life Course: Normative Data from Twelve British

- Studies. PLoS One. 2014;9:e113637. doi: 10.1371/journal.pone.0113637.
84. Landi F, Calvani R, Martone AM, Salini S, Zazzara MB, Candeloro M, et al. Normative values of muscle strength across ages in a “real world” population: results from the longevity check-up 7+ project. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*. 2020;11:1562–9. doi: 10.1002/jcsm.12610.
85. Alcazar J, Aagaard P, Haddock B, Kamper RS, Hansen SK, Prescott E, et al. Age- and Sex-Specific Changes in Lower-Limb Muscle Power Throughout the Lifespan. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2020;75:1369–78. doi: 10.1093/gerona/glaa013.
86. Losa-Reyna J, Alcazar J, Rodríguez-Gómez I, Alfaro-Acha A, Alegre LM, Rodríguez-Mañas L, et al. Low relative mechanical power in older adults: An operational definition and algorithm for its application in the clinical setting. *Exp Gerontol*. 2020;142:111141. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2020.111141>.
87. Landers KA, Hunter GR, Wetzstein CJ, Bamman MM, Weinsier RL. The interrelationship among muscle mass, strength, and the ability to perform physical tasks of daily living in younger and older women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2001;56:B443-8. doi: 10.1093/gerona/56.10.b443.
88. Montero-Odasso M, Almeida QJ, Bherer L, Burhan AM, Camicioli R, Doyon J, et al. Consensus on Shared Measures of Mobility and Cognition: From the Canadian Consortium on Neurodegeneration in Aging (CCNA). *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2019;74:897–909. doi: 10.1093/gerona/gly148.
89. Dommershuijsen LJ, Ragnathan J, Ruiter R, Groothof D, Mattace-Raso FUS, Ikram MA, et al. Gait speed reference values in community-dwelling older adults – Cross-sectional analysis from the Rotterdam Study. *Exp Gerontol*.

2022;158:111646. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2021.111646>.

90. Ko S, Hausdorff JM, Ferrucci L. Age-associated differences in the gait pattern changes of older adults during fast-speed and fatigue conditions: results from the Baltimore longitudinal study of ageing. *Age Ageing*. 2010;39:688–94. doi: 10.1093/ageing/afq113.
91. Fritz S, Lusardi M. White paper: “walking speed: the sixth vital sign”. *J Geriatr Phys Ther*. 2009;32:46–9.
92. Erikssen G. Physical fitness and changes in mortality: the survival of the fittest. *Sports Med*. 2001;31:571–6. doi: 10.2165/00007256-200131080-00001.
93. Rossi Neto JM, Tebexreni AS, Alves ANF, Smanio PEP, de Abreu FB, Thomazi MC, et al. Cardiorespiratory fitness data from 18,189 participants who underwent treadmill cardiopulmonary exercise testing in a Brazilian population. *PLoS One*. 2019;14:e0209897–e0209897. doi: 10.1371/journal.pone.0209897.
94. Fleg JL, Morrell CH, Bos AG, Brant LJ, Talbot LA, Wright JG, et al. Accelerated longitudinal decline of aerobic capacity in healthy older adults. *Circulation*. 2005;112:674–82. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.105.545459.
95. Hawkins SA, Wiswell RA. Rate and Mechanism of Maximal Oxygen Consumption Decline with Aging. *Sport Med*. 2003;33:877–88. doi: 10.2165/00007256-200333120-00002.
96. Kodama S, Saito K, Tanaka S, Maki M, Yachi Y, Asumi M, et al. Cardiorespiratory fitness as a quantitative predictor of all-cause mortality and cardiovascular events in healthy men and women: a meta-analysis. *JAMA*. 2009;301:2024–35. doi: 10.1001/jama.2009.681.

97. Jackson AS, Sui X, Hebert JR, Church TS, Blair SN. Role of lifestyle and aging on the longitudinal change in cardiorespiratory fitness. *Arch Intern Med.* 2009;169:1781–7. doi: 10.1001/archinternmed.2009.312.
98. Jakovljevic DG. Physical activity and cardiovascular aging: Physiological and molecular insights. *Exp Gerontol.* 2018;109:67–74. doi: <https://doi.org/10.1016/j.exger.2017.05.016>.
99. World Health Organization. Informe mundial sobre envejecimiento y salud. 2015.
100. Guralnik JM, Ferrucci L, Pieper CF, Leveille SG, Markides KS, Ostir G V, et al. Lower extremity function and subsequent disability: consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2000;55:M221-31. doi: 10.1093/gerona/55.4.m221.
101. Guralnik JM, Ferrucci L, Simonsick EM, Salive ME, Wallace RB. Lower-Extremity Function in Persons over the Age of 70 Years as a Predictor of Subsequent Disability. *N Engl J Med.* 1995;332:556–62. doi: 10.1056/NEJM199503023320902.
102. Ambrose AF, Paul G, Hausdorff JM. Risk factors for falls among older adults: A review of the literature. *Maturitas.* 2013;75:51–61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2013.02.009>.
103. Rockwood K, Mitnitski A. Frailty in relation to the accumulation of deficits. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2007;62:722–7. doi: 10.1093/gerona/62.7.722.
104. Fried LP, Tangen CM, Walston J, Newman AB, Hirsch C, Gottdiener J, et al.

- Frailty in Older Adults: Evidence for a Phenotype. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci.* 2001;56:M146–57. doi: 10.1093/gerona/56.3.M146.
105. Rodríguez Mañas L, García-Sánchez I, Hendry A, Bernabei R, Roller-Wirnsberger R, Gabrovec B, et al. Key Messages for a Frailty Prevention and Management Policy in Europe from the ADVANTAGE JOINT ACTION Consortium. *J Nutr Health Aging.* 2018;22:892–7. doi: 10.1007/s12603-018-1064-y.
 106. O’Caoimh R, Sezgin D, O’Donovan MR, Molloy DW, Clegg A, Rockwood K, et al. Prevalence of frailty in 62 countries across the world: a systematic review and meta-analysis of population-level studies. *Age Ageing.* 2021;50:96–104. doi: 10.1093/ageing/afaa219.
 107. Garcia-Garcia FJ, Gutierrez Avila G, Alfaro-Acha A, Amor Andres MS, De Los Angeles De La Torre Lanza M, Escribano Aparicio M V, et al. The prevalence of frailty syndrome in an older population from Spain. The Toledo Study for Healthy Aging. *J Nutr Health Aging.* 2011;15:852–6. doi: 10.1007/s12603-011-0075-8.
 108. Cesari M, Landi F, Calvani R, Cherubini A, Di Bari M, Kortebein P, et al. Rationale for a preliminary operational definition of physical frailty and sarcopenia in the SPRINTT trial. *Aging Clin Exp Res.* 2017;29:81–8. doi: 10.1007/s40520-016-0716-1.
 109. Ferrucci L, Fabbri E. Inflammageing: chronic inflammation in ageing, cardiovascular disease, and frailty. *Nat Rev Cardiol.* 2018;15:505–22. doi: 10.1038/s41569-018-0064-2.
 110. Li G, Thabane L, Papaioannou A, Ioannidis G, Levine MAHH, Adachi JD. An

- overview of osteoporosis and frailty in the elderly. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18:46. doi: 10.1186/s12891-017-1403-x.
111. Angulo J, El Assar M, Bustos AÁ, Rodríguez-Mañas L. Physical activity and exercise: Strategies to manage frailty. *Redox Biol.* 2020:101513. doi: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101513>.
 112. Cruz-Jentoft AJ, Sayer AA. Sarcopenia. *Lancet (London, England).* 2019;393:2636–46. doi: 10.1016/S0140-6736(19)31138-9.
 113. Buta BJ, Walston JD, Godino JG, Park M, Kalyani RR, Xue Q-L, et al. Frailty assessment instruments: Systematic characterization of the uses and contexts of highly-cited instruments. *Ageing Res Rev.* 2016;26:53–61. doi: 10.1016/j.arr.2015.12.003.
 114. Cesari M, Landi F, Vellas B, Bernabei R, Marzetti E. Sarcopenia and physical frailty: two sides of the same coin. *Front Aging Neurosci.* 2014;6:192. doi: 10.3389/fnagi.2014.00192.
 115. Karimi M, Brazier J. Health, Health-Related Quality of Life, and Quality of Life: What is the Difference? *Pharmacoeconomics.* 2016;34:645–9. doi: 10.1007/s40273-016-0389-9.
 116. WHO Quality of Life Assessment Group. ¿Qué es la calidad de vida?. *Foro Mundial de La Salud* 1996; 17 (4): 385-387. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/55264>
 117. Sun Y, You W, Almeida F, Estabrooks P, Davy B. The Effectiveness and Cost of Lifestyle Interventions Including Nutrition Education for Diabetes Prevention: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Acad Nutr Diet.* 2017;117:404-421.e36.

doi: 10.1016/j.jand.2016.11.016.

118. Fávoro-Moreira NC, Krausch-Hofmann S, Matthys C, Vereecken C, Vanhauwaert E, Declercq A, et al. Risk Factors for Malnutrition in Older Adults: A Systematic Review of the Literature Based on Longitudinal Data. *Adv Nutr.* 2016;7:507–22. doi: 10.3945/an.115.011254.
119. Verlaan S, Aspray TJ, Bauer JM, Cederholm T, Hemsworth J, Hill TR, et al. Nutritional status, body composition, and quality of life in community-dwelling sarcopenic and non-sarcopenic older adults: A case-control study. *Clin Nutr.* 2017;36:267–74. doi: 10.1016/j.clnu.2015.11.013.
120. Smit E, Winters-Stone KM, Loprinzi PD, Tang AM, Crespo CJ. Lower nutritional status and higher food insufficiency in frail older US adults. *Br J Nutr.* 2013;110:172–8. doi: DOI: 10.1017/S000711451200459X.
121. O’Connell ML, Coppinger T, McCarthy AL. The role of nutrition and physical activity in frailty: A review. *Clin Nutr ESPEN.* 2020;35:1–11. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2019.11.003>.
122. Sandoval-Insausti H, Pérez-Tasigchana RF, López-García E, García-Esquinas E, Rodríguez-Artalejo F, Guallar-Castillón P. Macronutrients Intake and Incident Frailty in Older Adults: A Prospective Cohort Study. *Journals Gerontol Ser A Biol Sci Med Sci.* 2016;71:1329–34. doi: 10.1093/gerona/glw033.
123. Vuolo L, Barrea L, Savanelli MC, Savastano S, Rubino M, Scarano E, et al. Nutrition and Osteoporosis: Preliminary data of Campania Region of European PERsonalised ICT Supported Service for Independent Living and Active Ageing. *Transl Med @ UniSa.* 2015;13:13–8.

124. Kehoe L, Walton J, Flynn A. Nutritional challenges for older adults in Europe: current status and future directions. *Proc Nutr Soc.* 2019;78:221–33. doi: DOI: 10.1017/S0029665118002744.
125. Deutz NEP, Bauer JM, Barazzoni R, Biolo G, Boirie Y, Bosis-Westphal A, et al. Protein intake and exercise for optimal muscle function with aging: Recommendations from the ESPEN Expert Group. *Clin Nutr.* 2014;33. doi: 10.1016/j.clnu.2014.04.007.
126. Remelli F, Vitali A, Zurlo A, Volpato S. Vitamin D Deficiency and Sarcopenia in Older Persons. *Nutrients.* 2019;11:2861. doi: 10.3390/nu11122861.
127. Ates Bulut E, Soysal P, Aydin AE, Dokuzlar O, Kocyigit SE, Isik AT. Vitamin B12 deficiency might be related to sarcopenia in older adults. *Exp Gerontol.* 2017;95:136–40. doi: 10.1016/j.exger.2017.05.017.
128. Fletcher J. Low intake of vitamins B(6), C, E and folate from dietary sources may lead to a higher risk of developing frailty in older adults. *Evid Based Nurs.* 2019;22:88. doi: 10.1136/ebnurs-2018-103049.
129. Behrouzi P, Grootswagers P, Keizer PLC, Smeets ETHC, Feskens EJM, de Groot LCPGM, et al. Dietary Intakes of Vegetable Protein, Folate, and Vitamins B-6 and B-12 Are Partially Correlated with Physical Functioning of Dutch Older Adults Using Copula Graphical Models. *J Nutr.* 2020;150:634–43. doi: 10.1093/jn/nxz269.
130. van Dronkelaar C, van Velzen A, Abdelrazek M, van der Steen A, Weijjs PJM, Tieland M. Minerals and Sarcopenia; The Role of Calcium, Iron, Magnesium, Phosphorus, Potassium, Selenium, Sodium, and Zinc on Muscle Mass, Muscle Strength, and Physical Performance in Older Adults: A Systematic

- Review. *J Am Med Dir Assoc.* 2018;19:6-11.e3. doi: 10.1016/j.jamda.2017.05.026.
131. Jyväkorpi SK, Urtamo A, Strandberg TE. Dietary Fat Composition and Frailty in Oldest-Old Men. *J Am Geriatr Soc.* 2020;68:1346–8. doi: 10.1111/jgs.16402.
132. Stocks J, Valdes AM. Effect of dietary omega-3 fatty acid supplementation on frailty-related phenotypes in older adults: a systematic review and meta-analysis protocol. *BMJ Open.* 2018;8:e021344–e021344. doi: 10.1136/bmjopen-2017-021344.
133. Jayanama K, Theou O, Godin J, Cahill L, Rockwood K. Association of fatty acid consumption with frailty and mortality among middle-aged and older adults. *Nutrition.* 2020;70:110610. doi: <https://doi.org/10.1016/j.nut.2019.110610>.
134. Dupont J, Dedeyne L, Dalle S, Koppo K, Gielen E. The role of omega-3 in the prevention and treatment of sarcopenia. *Aging Clin Exp Res.* 2019;31:825–36. doi: 10.1007/s40520-019-01146-1.
135. Welch AA, Jennings A, Kelaiditi E, Skinner J, Steves CJ. Cross-Sectional Associations Between Dietary Antioxidant Vitamins C, E and Carotenoid Intakes and Sarcopenic Indices in Women Aged 18-79 Years. *Calcif Tissue Int.* 2020;106:331–42. doi: 10.1007/s00223-019-00641-x.
136. Gray SR, Mittendorfer B. Fish oil-derived n-3 polyunsaturated fatty acids for the prevention and treatment of sarcopenia. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2018;21:104–9. doi: 10.1097/MCO.0000000000000441.
137. Schroder H, Fito M, Estruch RR, Martinez-Gonzalez MA, Corella D, Salas-Salvado J, et al. A short screener is valid for assessing Mediterranean diet

- adherence among older Spanish men and women. *J Nutr.* 2011;141:1140–5. doi: 10.3945/jn.110.135566.
138. McClure R, Villani A. Mediterranean Diet attenuates risk of frailty and sarcopenia: New insights and future directions. *JCSM Clin Reports.* 2017;2:1–17. doi: 10.17987/jcsm-cr.v2i2.45.
139. León-Muñoz LM, Guallar-Castillón P, López-García E, Rodríguez-Artalejo F. Mediterranean Diet and Risk of Frailty in Community-Dwelling Older Adults. *J Am Med Dir Assoc.* 2014;15:899–903. doi: 10.1016/j.jamda.2014.06.013.
140. World Health Organization. Global action plan on physical activity 2018–2030: more active people for a healthier world. Geneva: World Health Organization; 2018. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272722>
141. Tremblay MS, Aubert S, Barnes JD, Saunders TJ, Carson V, Latimer-Cheung AE, et al. Sedentary Behavior Research Network (SBRN) - Terminology Consensus Project process and outcome. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2017;14:75. doi: 10.1186/s12966-017-0525-8.
142. Arem H, Moore SC, Patel A, Hartge P, Berrington de Gonzalez A, Visvanathan K, et al. Leisure time physical activity and mortality: a detailed pooled analysis of the dose-response relationship. *JAMA Intern Med.* 2015;175:959–67. doi: 10.1001/jamainternmed.2015.0533.
143. Zhu K, Devine A, Lewis JR, Dhaliwal SS, Prince RL. "Timed up and go" test and bone mineral density measurement for fracture prediction. *Arch Intern Med.* 2011;171:1655–61. doi: 10.1001/archinternmed.2011.434.
144. Donat Tuna H, Ozcan Edeer A, Malkoc M, Aksakoglu G. Effect of age and

- physical activity level on functional fitness in older adults. *Eur Rev Aging Phys Act.* 2009;6:99. doi: 10.1007/s11556-009-0051-z.
145. Jeong S-W, Kim S-H, Kang S-H, Kim H-J, Yoon C-H, Youn T-J, et al. Mortality reduction with physical activity in patients with and without cardiovascular disease. *Eur Heart J.* 2019;40:3547–55. doi: 10.1093/eurheartj/ehz564.
 146. Smith AD, Crippa A, Woodcock J, Brage S. Physical activity and incident type 2 diabetes mellitus: a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective cohort studies. *Diabetologia.* 2016;59:2527–45. doi: 10.1007/s00125-016-4079-0.
 147. McTiernan A, Friedenreich CM, Katzmarzyk PT, Powell KE, Macko R, Buchner D, et al. Physical Activity in Cancer Prevention and Survival: A Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51:1252–61. doi: 10.1249/MSS.0000000000001937.
 148. Schuch FB, Vancampfort D, Richards J, Rosenbaum S, Ward PB, Stubbs B. Exercise as a treatment for depression: A meta-analysis adjusting for publication bias. *J Psychiatr Res.* 2016;77:42–51. doi: 10.1016/j.jpsychires.2016.02.023.
 149. Galloza J, Castillo B, Micheo W. Benefits of Exercise in the Older Population. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2017;28:659–69. doi: 10.1016/j.pmr.2017.06.001.
 150. U.S. Department of Health and Human Services. *Physical Activity Guidelines for Americans.* Washington, DC: US Department of Health and Human Services; 2018.
 151. Bull FC, Al-Ansari SS, Biddle S, Borodulin K, Buman MP, Cardon G, et al. World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary

- behaviour. *Br J Sports Med.* 2020;54:1451 LP – 1462. doi: 10.1136/bjsports-2020-102955.
152. Mielgo-Ayuso J, Aparicio-Ugarriza R, Castillo A, Ruiz E, Ávila JM, Aranceta-Batrina J, et al. Physical Activity Patterns of the Spanish Population Are Mostly Determined by Sex and Age: Findings in the ANIBES Study. *PLoS One.* 2016;11:e0149969–e0149969. doi: 10.1371/journal.pone.0149969.
153. Instituto nacional de Estadística, Ministerio de Sanidad Consumo y Bienestar Social. Encuesta Nacional de Salud. 2020. <https://www.sanidad.gob.es/estadEstudios/estadisticas/encuestaNacional/>
154. Izquierdo M, Merchant RA, Morley JE, Anker SD, Aprahamian I, Arai H, et al. International Exercise Recommendations in Older Adults (ICFSR): Expert Consensus Guidelines. *J Nutr Health Aging.* 2021. doi: 10.1007/s12603-021-1665-8.
155. Hajjar ER, Cafiero AC, Hanlon JT. Polypharmacy in elderly patients. *Am J Geriatr Pharmacother.* 2007;5:345–51. doi: 10.1016/j.amjopharm.2007.12.002.
156. Dagli RJ, Sharma A. Polypharmacy: a global risk factor for elderly people. *J Int Oral Health JIOH.* 2014;6:i–ii.
157. Midão L, Giardini A, Menditto E, Kardas P, Costa E. Polypharmacy prevalence among older adults based on the survey of health, ageing and retirement in Europe. *Arch Gerontol Geriatr.* 2018;78:213–20. doi: 10.1016/j.archger.2018.06.018.
158. Zhou R, Cui Y, Zhang Y, De J, An X, Duan Y, et al. The Long-Term Effects of Non-Pharmacological Interventions on Diabetes and Chronic Complication

- Outcomes in Patients With Hyperglycemia: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022;13:838224. doi: 10.3389/fendo.2022.838224.
159. Wu P-Y, Huang K-S, Chen K-M, Chou C-P, Tu Y-K. Exercise, Nutrition, and Combined Exercise and Nutrition in Older Adults with Sarcopenia: A Systematic Review and Network Meta-analysis. *Maturitas*. 2021;145:38–48. doi: 10.1016/j.maturitas.2020.12.009.
160. Lindegaard Pedersen J, Pedersen PU, Damsgaard EM. Nutritional follow-up after discharge prevents readmission to hospital - A randomized clinical trial. *J Nutr Health Aging*. 2017;21:75–82. doi: 10.1007/s12603-016-0745-7.
161. Fernández-Barrés S, García-Barco M, Basora J, Martínez T, Pedret R, Arijia V. The efficacy of a nutrition education intervention to prevent risk of malnutrition for dependent elderly patients receiving Home Care: A randomized controlled trial. *Int J Nurs Stud*. 2017;70:131–41. doi: 10.1016/j.ijnurstu.2017.02.020.
162. Jennings A, Berendsen AM, de Groot LCPGM, Feskens EJM, Brzozowska A, Sicinska E, et al. Mediterranean-Style Diet Improves Systolic Blood Pressure and Arterial Stiffness in Older Adults. *Hypertens (Dallas, Tex 1979)*. 2019;73:578–86. doi: 10.1161/HYPERTENSIONAHA.118.12259.
163. Salas-Salvadó J, Díaz-López A, Ruiz-Canela M, Basora J, Fitó M, Corella D, et al. Effect of a Lifestyle Intervention Program With Energy-Restricted Mediterranean Diet and Exercise on Weight Loss and Cardiovascular Risk Factors: One-Year Results of the PREDIMED-Plus Trial. *Diabetes Care*. 2019;42:777–88. doi: 10.2337/dc18-0836.
164. Posthauer ME, Collins N, Dorner B, Sloan C. Nutritional Strategies for Frail

- Older Adults. *Adv Skin Wound Care*. 2013;26:128–40. doi: 10.1097/01.ASW.0000427920.74379.8c.
165. Anton SD, Hida A, Mankowski R, Layne A, Solberg LM, Mainous AG, et al. Nutrition and Exercise in Sarcopenia. *Curr Protein Pept Sci*. 2018;19:649–67. doi: 10.2174/1389203717666161227144349.
166. Fantacone ML, Lowry MB, Uesugi SL, Michels AJ, Choi J, Leonard SW, et al. The Effect of a Multivitamin and Mineral Supplement on Immune Function in Healthy Older Adults: A Double-Blind, Randomized, Controlled Trial. *Nutrients*. 2020;12. doi: 10.3390/nu12082447.
167. Moran C, Scotto di Palumbo A, Bramham J, Moran A, Rooney B, De Vito G, et al. Effects of a Six-Month Multi-Ingredient Nutrition Supplement Intervention of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids, vitamin D, Resveratrol, and Whey Protein on Cognitive Function in Older Adults: A Randomised, Double-Blind, Controlled Trial. *J Prev Alzheimer's Dis*. 2018;5:175–83. doi: 10.14283/jpad.2018.11.
168. Camargo L da R, Doneda D, Oliveira VR. Whey protein ingestion in elderly diet and the association with physical, performance and clinical outcomes. *Exp Gerontol*. 2020;137:110936. doi: 10.1016/j.exger.2020.110936.
169. Komar B, Schwingshackl L, Hoffmann G. Effects of leucine-rich protein supplements on anthropometric parameter and muscle strength in the elderly: a systematic review and meta-analysis. *J Nutr Health Aging*. 2015;19:437–46. doi: 10.1007/s12603-014-0559-4.
170. Antoniak AE, Greig CA. The effect of combined resistance exercise training and vitamin D(3) supplementation on musculoskeletal health and function in older adults: a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2017;7:e014619. doi:

10.1136/bmjopen-2016-014619.

171. Bonnefoy M, Berrut G, Lesourd B, Ferry M, Gilbert T, Guérin O, et al. Frailty and nutrition: searching for evidence. *J Nutr Health Aging*. 2015;19:250–7. doi: 10.1007/s12603-014-0568-3.
172. Verlaan S, Maier AB, Bauer JM, Bautmans I, Brandt K, Donini LM, et al. Sufficient levels of 25-hydroxyvitamin D and protein intake required to increase muscle mass in sarcopenic older adults - The PROVIDE study. *Clin Nutr*. 2018;37:551–7. doi: 10.1016/j.clnu.2017.01.005.
173. Milne AC, Potter J, Vivanti A, Avenell A. Protein and energy supplementation in elderly people at risk from malnutrition. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009. doi: 10.1002/14651858.CD003288.pub3.
174. Rodacki CLN, Rodacki ALF, Pereira G, Naliwaiko K, Coelho I, Pequito D, et al. Fish-oil supplementation enhances the effects of strength training in elderly women. *Am J Clin Nutr*. 2012;95:428–36. doi: 10.3945/ajcn.111.021915.
175. Candow DG, Forbes SC, Kirk B, Duque G. Current Evidence and Possible Future Applications of Creatine Supplementation for Older Adults. *Nutrients*. 2021;13. doi: 10.3390/nu13030745.
176. Garatachea N, Pareja-Galeano H, Sanchis-Gomar F, Santos-Lozano A, Fiuza-Luces C, Moran M, et al. Exercise attenuates the major hallmarks of aging. *Rejuvenation Res*. 2015;18:57–89. doi: 10.1089/rej.2014.1623.
177. Liu C-J, Latham NK. Progressive resistance strength training for improving physical function in older adults. *Cochrane Database Syst Rev*. 2009;2009:CD002759. doi: 10.1002/14651858.CD002759.pub2.

178. Fragala MS, Cadore EL, Dorgo S, Izquierdo M, Kraemer WJ, Peterson MD, et al. Resistance training for older adults: Position statement from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res.* 2019;33:2019–52. doi: 10.1519/jsc.0000000000003230.
179. Milanović Z, Sporiš G, Weston M. Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Med.* 2015;45:1469–81. doi: 10.1007/s40279-015-0365-0.
180. Alcalde GE, Fonseca AC, Bôscua TF, Gonçalves MR, Bernardo GC, Pianna B, et al. Effect of aquatic physical therapy on pain perception, functional capacity and quality of life in older people with knee osteoarthritis: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials.* 2017;18:317. doi: 10.1186/s13063-017-2061-x.
181. Chen L-J, Fox KR, Ku P-W, Chang Y-W. Effects of Aquatic Exercise on Sleep in Older Adults with Mild Sleep Impairment: a Randomized Controlled Trial. *Int J Behav Med.* 2016;23:501–6. doi: 10.1007/s12529-015-9492-0.
182. Kim J-H, Ha M-S, Ha S-M, Kim D-Y. Aquatic Exercise Positively Affects Physiological Frailty among Postmenopausal Women: A Randomized Controlled Clinical Trial. *Healthc (Basel, Switzerland).* 2021;9. doi: 10.3390/healthcare9040409.
183. Green E, Huynh A, Broussard L, Zunker B, Matthews J, Hilton CL, et al. Systematic Review of Yoga and Balance: Effect on Adults With Neuromuscular Impairment. *Am J Occup Ther Off Publ Am Occup Ther Assoc.* 2019;73:7301205150p1–11. doi: 10.5014/ajot.2019.028944.

184. Pacheco TBF, de Medeiros CSP, de Oliveira VHB, Vieira ER, de Cavalcanti FAC. Effectiveness of exergames for improving mobility and balance in older adults: a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev.* 2020;9:163. doi: 10.1186/s13643-020-01421-7.
185. Yen H-Y, Chiu H-L. Virtual Reality Exergames for Improving Older Adults' Cognition and Depression: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Control Trials. *J Am Med Dir Assoc.* 2021;22:995–1002. doi: 10.1016/j.jamda.2021.03.009.
186. Davies LE, Spiers G, Kingston A, Todd A, Adamson J, Hanratty B. Adverse Outcomes of Polypharmacy in Older People: Systematic Review of Reviews. *J Am Med Dir Assoc.* 2020;21:181–7. doi: 10.1016/j.jamda.2019.10.022.
187. Pedersen BK, Saltin B. Exercise as medicine - evidence for prescribing exercise as therapy in 26 different chronic diseases. *Scand J Med Sci Sports.* 2015;25 Suppl 3:1–72. doi: 10.1111/sms.12581.
188. Pickering C, Kiely J. Do Non-Responders to Exercise Exist-and If So, What Should We Do About Them? *Sports Med.* 2019;49:1–7. doi: 10.1007/s40279-018-01041-1.
189. Tarazona-Santabalbina FJ, Gómez-Cabrera MC, Pérez-Ros P, Martínez-Arnau FM, Cabo H, Tsaparas K, et al. A Multicomponent Exercise Intervention that Reverses Frailty and Improves Cognition, Emotion, and Social Networking in the Community-Dwelling Frail Elderly: A Randomized Clinical Trial. *J Am Med Dir Assoc.* 2016;17:426–33. doi: 10.1016/j.jamda.2016.01.019.
190. Giné-Garriga M, Roqué-Fíguls M, Coll-Planas L, Sitjà-Rabert M, Salvà A. Physical Exercise Interventions for Improving Performance-Based Measures of

- Physical Function in Community-Dwelling, Frail Older Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Arch Phys Med Rehabil.* 2014;95:753-769.e3. doi: 10.1016/j.apmr.2013.11.007.
191. Villareal DT, Smith GI, Sinacore DR, Shah K, Mittendorfer B. Regular multicomponent exercise increases physical fitness and muscle protein anabolism in frail, obese, older adults. *Obesity (Silver Spring).* 2011;19:312–8. doi: 10.1038/oby.2010.110.
 192. Mujika I, Padilla S. Detraining: Loss of Training-Induced Physiological and Performance Adaptations. Part I. *Sport Med.* 2000;30:79–87. doi: 10.2165/00007256-200030020-00002.
 193. Toraman NF. Short term and long term detraining: is there any difference between young-old and old people? *Br J Sports Med.* 2005;39:561–4. doi: 10.1136/bjism.2004.015420.
 194. Lobo A, Carvalho J, Santos P. Effects of Training and Detraining on Physical Fitness, Physical Activity Patterns, Cardiovascular Variables, and HRQoL after 3 Health-Promotion Interventions in Institutionalized Elders. *Int J Family Med.* 2010;2010:486097. doi: 10.1155/2010/486097.
 195. Leitão MoacirAU - de Souza, Hiago L. R.AU - Arriel, Rhai A.AU - Campos, YuriAU - Mazini, MauroAU - Junior, Ricardo P.AU - Figueiredo, TeresaAU - Louro, HugoAU - Pereira, AnaTI - Three-Month vs. One-Year Detraining Effects after Multicomponent Exercise Pro L-M. Three-Month vs. One-Year Detraining Effects after Multicomponent Exercise Program in Hypertensive OlderWomen. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19. doi: 10.3390/ijerph19052871.
 196. Esain I, Rodriguez-Larrad A, Bidaurrazaga-Letona I, Gil SM, Esain Castañares I,

- Rodríguez Larrad A, et al. Health-related quality of life, handgrip strength and falls during detraining in elderly habitual exercisers. *Health Qual Life Outcomes*. 2017;15:226. doi: 10.1186/s12955-017-0800-z.
197. Fernández-García ÁI, Gómez-Cabello A, Moradell A, Navarrete-Villanueva D, Pérez-Gómez J, Ara I, et al. How to Improve the Functional Capacity of Frail and Pre-Frail Elderly People? Health, Nutritional Status and Exercise Intervention. The EXERNET-Elder 3.0 Project. *Sustainability*. 2020;12:6246. doi: 10.3390/su12156246.
198. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L, Glynn RJ, Berkman LF, Blazer DG, et al. A Short Physical Performance Battery Assessing Lower Extremity Function: Association With Self-Reported Disability and Prediction of Mortality and Nursing Home Admission. *J Gerontol*. 1994;49:M85–94. doi: 10.1093/geronj/49.2.M85.
199. Bouaziz W, Lang PO, Schmitt E, Kaltenbach G, Geny B, Vogel T. Health benefits of multicomponent training programmes in seniors: a systematic review. *Int J Clin Pract*. 2016;70:520–36.
200. Cadore EL, Casas-Herrero A, Zambom-Ferraresi F, Idoate F, Millor N, Gómez M, et al. Multicomponent exercises including muscle power training enhance muscle mass, power output, and functional outcomes in institutionalized frail nonagenarians. *Age (Omaha)*. 2014;36:773–85. doi: 10.1007/s11357-013-9586-z.
201. Cadore EL, Rodríguez-Mañas L, Sinclair A, Izquierdo M. Effects of different exercise interventions on risk of falls, gait ability, and balance in physically frail older adults: a systematic review. *Rejuvenation Res*. 2013;16:105–14. doi: 10.1089/rej.2012.1397.

202. Stewar A, Marfell-Jones M, Olds T. Protocolo internacional para la valoración antropométrica. ISAK. Sociedad Internacional para el Avance de la Cineantropometría. 2011.
203. Rikli RE, Jones CJ. Senior Fitness Test Manual. Human Kinetics; 2013.
204. Consejo Superior de Deportes. Ministerio de Educación y Ciencia. Eurofit : test europeo de aptitud física. 1992.
205. Washburn RA, McAuley E, Katula J, Mihalko SL, Boileau RA. The physical activity scale for the elderly (PASE): evidence for validity. *J Clin Epidemiol.* 1999;52:643–51. doi: 10.1016/s0895-4356(99)00049-9.
206. Lopez-Rodriguez C, Laguna M, Gomez-Cabello A, Gusi N, Espino L, Villa G, et al. Validation of the self-report EXERNET questionnaire for measuring physical activity and sedentary behavior in elderly. *Arch Gerontol Geriatr.* 2017;69:156–61. doi: 10.1016/j.archger.2016.11.004.
207. Zhang S, Murray P, Zillmer R, Eston RG, Catt M, Rowlands A V. Activity classification using the GENE: optimum sampling frequency and number of axes. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44:2228–34. doi: 10.1249/MSS.0b013e31825e19fd.
208. van Hees VT, Renström F, Wright A, Gradmark A, Catt M, Chen KY, et al. Estimation of Daily Energy Expenditure in Pregnant and Non-Pregnant Women Using a Wrist-Worn Tri-Axial Accelerometer. *PLoS One.* 2011;6:e22922.
209. Sanders GJ, Boddy LM, Sparks SA, Curry WB, Roe B, Kaehne A, et al. Evaluation of wrist and hip sedentary behaviour and moderate-to-vigorous physical activity raw acceleration cutpoints in older adults. *J Sports Sci.*

- 2019;37:1270–9. doi: 10.1080/02640414.2018.1555904.
210. van Hees VT, Sabia S, Jones SE, Wood AR, Anderson KN, Kivimäki M, et al. Estimating sleep parameters using an accelerometer without sleep diary. *Sci Rep.* 2018;8:12975. doi: 10.1038/s41598-018-31266-z.
211. Izquierdo M. Prescripción de ejercicio físico. El programa Vivifrail como modelo. *Nutr Hosp.* 2019;36. doi: 10.20960/nh.02680.
212. Treacy D, Hassett L. The Short Physical Performance Battery. *J Physiother.* 2018;64:61. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2017.04.002>.
213. Alcazar J, Losa-Reyna J, Rodriguez-Lopez C, Alfaro-Acha A, Rodriguez-Mañas L, Ara I, et al. The sit-to-stand muscle power test: An easy, inexpensive and portable procedure to assess muscle power in older people. *Exp Gerontol.* 2018;112:38–43. doi: 10.1016/j.exger.2018.08.006.
214. Fernandez-Ballart JD, Pinol JL, Zazpe I, Corella D, Carrasco P, Toledo E, et al. Relative validity of a semi-quantitative food-frequency questionnaire in an elderly Mediterranean population of Spain. *Br J Nutr.* 2010;103:1808–16. doi: 10.1017/S0007114509993837.
215. Martin-Moreno JM, Boyle P, Gorgojo L, Maisonneuve P, Fernandez-Rodriguez JC, Salvini S, et al. Development and validation of a food frequency questionnaire in Spain. *Int J Epidemiol.* 1993;22:512–9.
216. Guigoz Y, Vellas B, Garry PJ. Assessing the nutritional status of the elderly: The Mini Nutritional Assessment as part of the geriatric evaluation. *Nutr Rev.* 1996;54:S59-65. doi: 10.1111/j.1753-4887.1996.tb03793.x.
217. Bollwein J, Volkert D, Diekmann R, Kaiser MJ, Uter W, Vidal K, et al.

- Nutritional status according to the Mini Nutritional Assessment (MNA®) and frailty in community dwelling older persons: A close relationship. *J Nutr Heal Aging*. 2013;17:351–6. doi: 10.1007/s12603-013-0034-7.
218. Mataix J. *Tabla de Composición de Alimentos*. 5th ed. Granada, Spain: 2009.
219. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR, Lobo A, Saz P, Marcos G, et al. Revalidation and standardization of the cognition mini-exam (first Spanish version of the Mini-Mental Status Examination) in the general geriatric population. *Med Clin (Barc)*. 1999;112:767–74.
220. Froberg DG, Kane RL. Methodology for measuring health-state preferences--II: Scaling methods. *J Clin Epidemiol*. 1989;42:459–71. doi: 10.1016/0895-4356(89)90136-4.
221. Badia X, Roset M, Montserrat S, Herdman M, Segura A. [The Spanish version of EuroQol: a description and its applications. European Quality of Life scale]. *Med Clin (Barc)*. 1999;112 Suppl:79–85.
222. Euroqol Group. EuroQol-a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health Policy*. 1990;16:199–208. doi: 10.1016/0168-8510(90)90421-9.
223. Szende A, Janssen B, Cabases J, editors. *Self-Reported Population Health: An International Perspective based on EQ-5D*. Dordrecht (NL): Springer Netherlands; 2014. doi: 10.1007/978-94-007-7596-1.
224. Lai JKC, Lucas RM, Clements MS, Harrison SL, Banks E. Assessing vitamin D status: pitfalls for the unwary. *Mol Nutr Food Res*. 2010;54:1062–71. doi: 10.1002/mnfr.200900468.

225. Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991;39:142–8. doi: 10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x.
226. Kim H-J, Park I, Lee HJ, Lee O. The reliability and validity of gait speed with different walking pace and distances against general health, physical function, and chronic disease in aged adults. *J Exerc Nutr Biochem.* 2016;20:46–50. doi: 10.20463/jenb.2016.09.20.3.7.
227. Mahoney FI, Barthel DW. Functional evaluation: The Barthel Index: A simple index of independence useful in scoring improvement in the rehabilitation of the chronically ill. *Md State Med J.* 1965;14:61–5.
228. Lawton MP, Brody EM. Assessment of Older People: Self-Maintaining and Instrumental Activities of Daily Living¹. *Gerontologist.* 1969;9:179–86. doi: 10.1093/geront/9.3_Part_1.179.
229. Espuña Pons M, Rebollo Álvarez P, Puig Clota M. Validación de la versión española del International Consultation on Incontinence Questionnaire-Short Form. Un cuestionario para evaluar la incontinencia urinaria. *Med Clin (Barc).* 2004;122:288–92. doi: [https://doi.org/10.1016/S0025-7753\(04\)74212-8](https://doi.org/10.1016/S0025-7753(04)74212-8).
230. Fiel A. *Discovering Statistics Using SPSS.* 3th ed. Sage Publications; 2009.
231. Kwak SG, Kim JH. Central limit theorem: the cornerstone of modern statistics. *Korean J Anesth.* 2017;70:144–56. doi: 10.4097/kjae.2017.70.2.144.
232. Rodríguez-Gómez I, Mañas A, Losa-Reyna J, Rodríguez-Mañas L, Chastin SFM, Alegre LM, et al. Compositional Influence of Movement Behaviors on Bone Health during Aging. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51:1736–44. doi:

10.1249/MSS.0000000000001972.

233. Qin L, Choy W, Leung K, Leung PC, Au S, Hung W, et al. Beneficial effects of regular Tai Chi exercise on musculoskeletal system. *J Bone Miner Metab.* 2005;23:186–90. doi: 10.1007/s00774-004-0559-2.
234. Johansson J, Nordström A, Nordström P. Objectively measured physical activity is associated with parameters of bone in 70-year-old men and women. *Bone.* 2015;81:72–9. doi: 10.1016/j.bone.2015.07.001.
235. Hairi NN, Cumming RG, Naganathan V, Handelsman DJ, Le Couteur DG, Creasey H, et al. Loss of muscle strength, mass (sarcopenia), and quality (specific force) and its relationship with functional limitation and physical disability: the Concord Health and Ageing in Men Project. *J Am Geriatr Soc.* 2010;58:2055–62.
236. Cruz-Jentoft AJ, Kiesswetter E, Drey M, Sieber CC. Nutrition, frailty, and sarcopenia. *Aging Clin Exp Res.* 2017;29:43–8. doi: 10.1007/s40520-016-0709-0.
237. Fernández-García ÁI, Moradell A, Navarrete-Villanueva D, Subías-Perié J, Pérez-Gómez J, Ara I, et al. Effects of Multicomponent Training Followed by a Detraining Period on Frailty Level and Functional Capacity of Older Adults with or at Risk of Frailty: Results of 10-Month Quasi-Experimental Study. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19. doi: 10.3390/ijerph191912417.
238. Fernández-García ÁI, Gómez-Cabello A, Gómez-Bruton A, Moradell A, Navarrete-Villanueva D, Pérez-Gómez J, et al. Effects of multicomponent training and detraining on the fitness of older adults with or at risk of frailty: results of a 10-month quasi-experimental study. *Eur J Sport Sci.* 2022:1–14. doi:

10.1080/17461391.2022.2104657.

239. Ticinesi A, Meschi T, Lauretani F, Felis G, Franchi F, Pedrolli C, et al. Nutrition and Inflammation in Older Individuals: Focus on Vitamin D, n-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Whey Proteins. *Nutrients*. 2016;8:186. doi: 10.3390/nu8040186.
240. Safer U, Tasci I, Binay Safer V, Doruk H. Is segmental bioelectrical impedance analysis a valid tool to assess muscle mass in the elderly? *Geriatr Gerontol Int*. 2013;13:1085–6. doi: 10.1111/ggi.12089.

Apéndices

Características de las revistas [Journal Characteristics]

Factor de impacto y clasificación de cada revista en el “*ISI Web of Knowledge – Journal Citation Reports*” dentro de sus áreas correspondientes.

[*Impact factor and ranking of each journal in “ISI Web of Knowledge – Journal Citation Reports” within their subject categories.*]

Artículos publicados [Published manuscripts]

Artículo [<i>Manuscript</i>]	Revista [<i>Journal</i>]	Factor de impacto [<i>Impact factor</i>]
I	BioMed Research International JCR 2020 (Biotechnology & Applied Microbiology): 70/159 –Q2 JCR 2020 (Medicine Research &Experimental): 80/140 – Q3	3.246
II	International Journal of Environmental Research and Public Health JCR 2021 (Environmental Sciences): 118/274 – Q2 JCR 2021 (Public, Environmental & Occupational Health): 71/210 – Q2 JCR 2021 (Public, Environmental & Occupational Health-SCCI): 45/182 – Q1	4.614
III	Nutrients JCR 2020 (Nutrition & dietetics): 17/88 – Q1	5.719
IV	Sustainability JCR 2020 (Environmental Sciences): 124/247 – Q2 JCR 2020 (Green &Sustainable Sciences & Technology): 30/44 - Q3	3.251
V	European Journal of Sport Sciences JCR 2021 (Sport Sciences): 24/87 – Q2	3.980
VI	Nutrients JCR 2021 (Nutrition & dietetics): 15/90 – Q1	6.706
VII	European Journal of Sport Sciences JCR 2021 (Sport Sciences): 24/87 – Q2	3.980 (Submitted)

Contribución de la doctoranda en el proyecto EXERNET-Elder

Esta tesis doctoral se ha realizado en el marco del proyecto de investigación EXERNET-Elder en el que la doctoranda ha participado.

La incorporación de la doctoranda se realizó en la tercera evaluación del estudio longitudinal multicéntrico EXERNET-Elder 3.0. Durante este periodo se participó en las mediciones de composición corporal, condición física y en la realización de cuestionarios en las ciudades de Zaragoza, Huesca, Barbastro, Monzón y Utebo. Además, se trabajó en el tecleo de los datos para añadirlos a una base de datos conjunta, así como en la elaboración de los informes finales.

Meses más tarde de su finalización, se comenzó a diseñar la segunda parte del proyecto, la intervención. Entre otros, se participó en el diseño de cuestionarios y protocolos de trabajo, hojas de evaluación y en la organización de los meses de trabajo. Posteriormente se procedió al reclutamiento de participantes. La doctoranda, con otros compañeros, acudió a los centros de salud y algunas residencias para personas mayores con el fin de informar a los médicos y personal sanitario y así poder programar diferentes charlas.

Una vez conseguidos los datos necesarios para contactar con los participantes se les llamó por teléfono y se les citó para la realización del cribado (también realizado por la doctoranda). Una vez comprobados los criterios de inclusión se citó para las diferentes evaluaciones. La doctoranda ha participado en todas y cada una de las evaluaciones como evaluadora.

En este estudio de intervención la doctoranda no solo ha participado en el diseño de los protocolos de las distintas mediciones y en la toma de datos, sino que también

dirigió dos de los seis grupos de entrenamiento siguiendo las instrucciones y planificación diseñada por un experto en ejercicio físico. Se ha participado como evaluadora de todas las mediciones. Posteriormente, también se ha creado la base de datos y se han introducido en ella los datos recogidos, así como se han elaborado los diferentes informes para entregar a los participantes.

Finalmente se llevó a cabo la elaboración de los artículos que se incluyen en la presente tesis doctoral.

Agradecimientos

Después de algo más de cinco años se acaba este periodo de constante aprendizaje. El camino hasta aquí no ha sido fácil, pero gracias a las personas que me han acompañado ha sido mucho más llevadero. Echando la vista atrás, la valoración global que puedo hacer es más que positiva. Esta es sin duda la parte más difícil del documento. Me faltan palabras para expresar el cariño que os tengo, pero me gustaría intentar agradeceros que hayáis formado parte de esta etapa.

Como decía Gasol: «No siempre los más altos llegan más arriba, no siempre los más rápidos llegan antes, no siempre los más fuertes son los que ganan la batalla. Pero los que más entrenan, más se esfuerzan y más creen en el equipo son los que más veces conseguirán la victoria», y yo no he podido tener mejor equipo en el que confiar. He disfrutado de muchos momentos a vuestro lado y me habéis hecho crecer en lo profesional y como persona. Os admiro a cada uno de vosotros, ois como otra familia, con los que he aprendido, he reído, y alguna vez hasta he llorado. Ojalá pueda trabajar junto a vosotros durante muchos más años.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores. A **Germán**, que me abriese las puertas de este lado de Genud, aun siendo de nutrición, y me acogiste, no solo para hacer el trabajo de fin de máster sino también para realizar este doctorado. Gracias por dejarme aportar mi granito de arena al proyecto de mayores, pero sobre todo gracias por tu confianza y por tú manera de ser. A pesar de lo que implica que tengas que estar en mil cosas, haces el trabajo siempre mucho más fácil. Gracias también por contar conmigo para hacerte una dieta que nunca te he llegado a hacer y por organizar esas paellas que tantos momentos buenos dan al equipo.

A **Alba**, eres una referente a seguir, por la manera de esforzarte, de supervisar, de aportar y de enseñar, pero sobre todo por confiar, por motivarme y por contar siempre conmigo. Gracias por ponerte muchas veces en nuestro lugar, por darnos voz opinando y por simplemente preguntar qué ¿Qué tal? Gracias por tu trabajo y por tu compañía. Ojalá pueda seguir muchos años más tus pasos.

A **José Antonio**, por acogerme desde el primer día. Siempre recordaré tus clases del Máster hablando sobre el ejercicio y sus beneficios, que, sin duda, calaron en mi cabeza. Gracias por los fines de semana en Biel y las ganas de hacer equipo siempre. Sin duda haces que el grupo sea no solo productivo sino también especial. Gracias por todo el cariño de estos años.

A **Agüero** por poner tu coherencia dentro del grupo y dentro de las discusiones. Por tu forma de ser, los valores que transmites y tu manera de afrontar las situaciones. Me has enseñado a crecer como persona.

A **Nuria**, aunque no hayamos coincidido tanto, admiro tu esfuerzo en hacerte hueco siendo mujer y trabajando en el ámbito del deporte. Gracias por luchar por esa igualdad.

A **Bruton** y a **Matute**, por todos los aprendizajes de estos años. He tenido la suerte de compartir muchos viajes a Huesca con vosotros y creo que me he complementado con lo mejor de cada uno. Os aprecio y admiro a ambos enormemente.

A **Bruton**, por enseñarme a que en esta vida hay que ir a fuego, como entrenando. Gracias por hacer los largos días de Huesca mucho mejores, por las salidas (o mejor dicho engañadas) en bici, las carreras, las duras abdominales en el gimnasio y por supuesto por las «gochadas» de postres y meriendas. Me has enseñado a enseñar, mostrado cómo funciona este mundo de la investigación, ayudado en análisis y resuelto

unos cuantos quebraderos de cabeza sobre papers. También por acercarme más el mundo de la nutrición deportiva, que cada día me fascina más. Gracias por las infinitas risas y por todo.

A **Matute**, por tantas lecciones de vida. Me has enseñado a darle tiempo al tiempo, a tener paciencia y el famoso «Al final todo llega». Admiro y he aprendido mucho de tú forma de dar clase, disfrutando del tema que toca dar, pero sobre todo a disfrutar de los alumnos. Te has preocupado y me has escuchado. Gracias por mostrarme esa realidad más crítica y por tu manera de ser inconformista. Por dar voz a lo que uno piensa. Gracias por todo. Espero, tal y como dices que te pasa, hacerme mayor siendo cada vez más feliz.

A **George**, por la paciencia con las lluvias de preguntas de estadística y acelerometría que te he hecho a lo largo de estos años, por motivarme a pensar y plantearme dudas. Pero sobre todo gracias por tu generosidad dentro y fuera de la investigación.

A **Gabriel**, aunque se me rían, «que bueno eres». Los demás también, pero es que esa forma de ser tuya es diferente. No se si son los chistes, las ganas que transmites al hacer las cosas o el que siempre pienses en los demás. Gracias por tus consejos, tu ayuda y por estar siempre disponible.

A **Borja**, desde que te conocí (pipeteando pises de mayores) hasta ahora, has sido un ejemplo de que con la constancia y el esfuerzo se llega muy lejos. Gracias por los momentos tan buenos, tanto de trabajo como deportivos y gracias por todos tus consejos.

A **JL**, por estar siempre ahí y no solo en Genud (que también). Gracias por tu forma de ser, por el temperamento y coherencia con la que haces las cosas, pero sobre

todo por echar una mano siempre que se te necesite. Espero que tengas unas cuantas rutas en bici ya pensadas porque estos meses que te hemos dejado tan tranquilo solo han sido para que cojas fuerzas y no te canses de vernos por Huesqueta en bici.

A **Adrián**, a pesar de haber estado algo menos que los demás por el despacho eres un gran compañero. Tu punto de vista me ha servido en muchos casos de una buena referencia. Pero sobre todo gracias por la buena energía que transmites siempre.

A **David**, que no decirte a ti. Mi compañero de trabajo día a día, pero también un gran amigo. ¡Qué suerte tuve! Fuiste tú quien me abriste camino e hizo que fuera más fácil todo. También el que me contó de primeras que era esto del doctorado. Gracias por todos estos años juntos, por compartir días largos y desesperantes, pero también por las muchas risas y buenos momentos que hemos pasado. Hasta cuando era tu secretaria ;). Espero seguir contando contigo para muchas más investigaciones (con esos suspiros característicos de agobio) y espero también poder engañarte para ir a muchos más conciertos y actuaciones.

A **Ángel**, que apareciste en el momento más complicado. Te hiciste hueco en entre la peculiar pareja de que teníamos con David en muy poco tiempo y creo que tu papel ha sido fundamental. Gracias por formar parte de este equipazo. Por ayudarnos a sacar a delante el proyecto, por tu capacidad organización y por la gestión de los problemas.

A **Crisco**, al final nuestros caminos siempre vuelven a cruzarse. Espero que siga así por más tiempo. Has aportado ese punto de mezcla de locura, siendo tan buenazas y a la vez sacando el carácter cuando toca. Gracias por compartir esos momentos de desahogo de los problemas mutuamente, son muy necesarios de vez en cuando.

A **Jorge Subías**, fuiste de los últimos en llegar y aunque parezca que el tiempo no pasa, llevas casi tanto como nosotros aquí y empiezas a pisarnos los talones. Sigue teniendo las ideas tan claras como las tienes, seguro que llegas muy lejos.

A **Lorena**, por todo el cariño con el que haces las cosas y por estar siempre para ayudar. Gracias por todas las buenas palabras que salen de tu boca y subirnos la moral a cualquier hora del día. Gracias también por compartir también esas charlas de chicas.

A **Irina**, aunque hayamos coincidido menos, añades otra pieza a este grupo que ninguna otra persona podría ocupar.

A **Dani**, llevas poco tiempo con nosotros y los comienzos no son fáciles, pero ya verás como todo llega. Solo puedo decirte que espero que disfrutes tanto como lo he podido hacer yo.

Agradecer también enormemente a **Luis y Alba**, por abrirme las puertas de Genud cuando lo único que sabía es que yo quería investigar y no sabía ni lo que implicaba. No pude caer en mejores manos. Gracias por vuestra dedicación cuando solo era una estudiante de grado. Me iniciasteis a pasos agigantados en la investigación e hicisteis que me enganchara. Sin vosotros no hubiera llegado hasta aquí. Gracias Alba, para mí eres una referente en la parte de nutrición.

Agradecer también a todas las chicas de nutrición, a **Mary, a Pilar, a Isabel, a Iris, a Esther, a Gloria, a Paloma, a Natalia, a Miguel**, etc. Sois un gran equipo.

A el equipo de **EXERNET** y EXERNET Elder, por vuestro trabajo y dedicación, pero también por hacer más atractivos los cursos y congresos en los que hemos coincidido. A **Lucía Sagarra**, por tu ayuda en los múltiples días de locura en las mediciones.

A **Soraia**, obrigada por tudo durante o tempo que estive em Évora. Obrigada por fazer mais fácil os longos días de trabalho, mais também pelas visitas turísticas e os planos culturais. Obrigada sobre tudo pela companhia. Não poderia ter tido uma colega melhor. Obrigada também a **Armando, Nilson, Parraça, Pablo, Mafalda, Martzia, Lili**,... todos fizeram os meses mais curtos e divertidos. Obrigada também aos idosos que participaram em os treinos pelo su carinho.

Finalizando ya estos agradecimientos más vinculados a la parte laboral, me gustaría enormemente agradecer a todos aquellos que ayudaron a hacer posible el proyecto de mayores y que no he mencionado, a los centros de salud, centros de mayores y residencias y a todo el personal vinculado a estas instituciones, pero sobre **todos a los participantes**. Gracias en especial al **grupo del Arrabal** por no faltar ni un solo día, por toda vuestra gratitud y todo vuestro cariño. Aunque en la parte oficial y más científica seáis un número para mi tenéis nombre propio. Gracias a **María, Jesús, Mario, Feliciano, Manuel, Carmen, Mariano, Conchita, Paquita, Pilar, Teresa, José Antonio, Emilio, Pilar, Presen, Pilar, José Luis, Ana, Aurora, Rosario, Luisa, Petra**, con los que más tiempo he compartido. He aprendido muchísimo de vosotros. Espero poder seguir viéndoos muchos años más paseando por el barrio y que sigáis saludándome con la alegría que lo hacéis.

Si bien el apoyo dentro del trabajo es fundamental y representa una parte importante del tiempo invertido en este trabajo, la familia y los amigos representan un apoyo imprescindible.

A mi familia, **a mi madre y a mi padre**, por haber estado siempre encima, pero a la vez haberme dado tantas alas para ser libre en decidir mi camino. Gracias por darme la mejor educación posible y por esforzarnos en que no me faltara de nada, ni en los momentos difíciles. De pequeña me apuntasteis a las mil extraescolares que quería hacer, la mayoría de ellas deportes (natación, patinaje, tenis, baloncesto, esquí y hasta ajedrez), estoy segura de que eso hace que este hoy aquí, tan vinculada a la actividad física. También me llevasteis a miles de actividades culturales y excursiones, fomentando mis ganas de seguir aprendiendo. Gracias por aguantar mi mal humor, sobre todo en los días más duros de estudio o mediciones. Sé que me pongo insoportable (pero es que es cosa de familia). Tal vez no seamos la familia más cariñosa del mundo y aunque no os lo diga normalmente, os quiero mucho. No he podido tener mejores padres.

A mi **yaya Isabel**, gracias por todo el amor que me diste desde pequeña. Ojalá hubiera sabido antes de que empezaras a tener el Alzheimer todos los beneficios que tenía el ejercicio. Si hubiera estado en mi mano, te hubiera obligado a coger más de una pesa. Quién sabe si hubiéramos podido frenarlo un poco. Esta tesis está dedicada sobre todo a ti.

A mi abuela **Narci**. Tienes muchos nietos entre los que repartir amor y aun así no nos falta nunca a ninguno. Gracias por estar siempre tan orgullosa y por quererme tanto. Esta tesis esta también dedicada a ti.

Gracias a toda mi familia, pero sobre todo a la parte más importante de los Fernández, gracias a mi tía **Eduardo** y a **Gloria** por estar siempre apoyando. A mi tía **Elena** y a las «tías» **Merche** y **Teíta**, por estar siempre atentas y mostrar interés sobre lo que estaba haciendo. Gracias de corazón. También a la familia de pega, **los de Pamplona**.

Por otro lado, me gustaría agradecer también a otro pilar fundamental que ha hecho que el camino sea más llevadero. A mis amigas.

Agradecer a sobre todo a “Ellas”, como dice Amaral «Son mis amigos, por encima de todas las cosas». A **Iratxe, Aguerri, Layunta, Murray, Abad y Santi**. Somos piezas completamente distintas de un puzzle que encaja a la perfección. Sois con quien reír y llorar, en quien apoyarte. Gracias por hacer todo tan fácil y por ser como sois.

Ya me perdonareis que haga una mención especial a **Iratxe**, aunque sea por antigüedad y por eso de estar acabando esta misma etapa. Gracias por toda una vida juntas con tantos momentos buenos. Al final parece que hemos sobrevivido al doctorado.

A **Lourdes, Santi y Joaquín** por haberme acompañado desde pequeña y aportar también vuestro gran granito de arena en todo mi aprendizaje. Sois mi segunda familia.

Gracias a **Natalia**, por estar todos estos años compartiendo miles de tardes tontas de risas y chismorreos. Gracias por alegrar cada momento y por acompañarme en estos años siendo un apoyo imprescindible.

A **Ivone**, porque, aunque nos juntemos de ciento a viento, es como si el tiempo no pasara. Siempre puedo contar contigo. A **Eva**, por perdonarme el darte mil vueltas

con horarios para quedar y ponernos al día. A los **Arrabaleros** por aportar ese punto de locura y a los **monis de Boltaña** con los que tanto he aprendido y disfrutado de la vida.

A todos «**los Harrys**», por ser la mejor vía de escape y desconexión: a Jorge, Choriz, Toño, César, Dani, Noelia y todos los que han ido pasando por el grupo, pero sobre todo a **Fer**. No solo eres el culpable de todos los «éxitos deportivos» sino que también de enseñarme muchas cosas. He aprendido a esforzarme, a tener constancia y paciencia, pero sobre todo a reírme en los «malos» momentos. No sé si llegará el día que puedas dejar de preguntarme ¿Pero cuando acabas de estudiar?, pero de momento esta parte parece que la he terminado. Gracias a todos por ayudarme a desconectar, con tanto deporte y tantas risas. Sin vosotros no hubiera afrontado igual esta tesis.

Gracias también a los del **Puentecito**, a **Óscar** y a **Sandra** por amenizar tantas tardes de fin de semana. Desconectar del ordenador es sin duda lo que te permite estar un poco cuerda. A los **padres y familia de Pablo**, a los **primos** y a las **peques**, que ayudan a cargar pilas.

Por ir terminando, gracias a la **Educación Pública**. En especial a **Lorenzo**, por desvivirte por el colegio y por todos tus alumnos, y por seguir formándonos en valores una vez fuera, en Boltaña. Llegar hasta aquí es sin duda gracias a unas buenas bases.

El **CEIP Público Tío Jorge**, el **IES Pedro de Luna** y la **Universidad de Zaragoza**. No puedo estar más orgullosa de dónde vengo y de mi formación. Ojalá muchos más niños puedan tener las mismas oportunidades de llegar hasta aquí. Por una Educación Pública y de calidad. Gracias.

Dejo para el final, para concluir este apartado, a alguien especial, quien ha vivido de cerca día y noche todos estos cinco años de doctorado, a **Pablo**. Gracias por valorar todo el trabajo. Gracias por celebrar los pequeños éxitos, pero también por apoyarme cuando las cosas no iban tan bien. Has escuchado mil anécdotas del día a día de Genud y no solo has intentado comprender lo que significa la investigación, sino que también has compartido, entre otras cosas, viajes pegada al ordenador «por si acaso». Has hecho que mantenga los pies en el suelo cuando se me iba la pinza por cualquier catástrofe (que obviamente no lo era). Me has hecho reír los días que solo quería llorar. También me has ayudado a valorar y tomar decisiones y a pensar con la cabeza. Pero sobre todo siempre me has apoyado. Gracias por tu paciencia, por darme tanto amor y por cuidarme. No he podido elegir mejor compañero de viaje con el que compartir esta etapa.

Gracias a cada uno de los que habéis formado parte este capítulo de mi vida que sin duda va a ser uno de los más importantes.

Material suplementario incluido en los artículos

Material suplementario artículo 5

Supplementary 1. Differences between the four groups created in order show a possible risk of bias caused by the non-randomization.

Descriptive differences between control and training group at the beginning of the study.

	CON	TRAIN	p-value
Age (y.)	80.4±5.4	81.2±6.0	.568
Sex			.192
Male	10 (22%)	15(31%)	
Female	35(78%)	33(69%)	
SPPB (points)	7.5±1.4	7.4±1.6	.624
Frail	12(36%)	14(29%)	.526
Pre-frail	33(64%)	34(61%)	
MNA (points)	24.7±4.0	25.1±2.6	.576
ADM (points)	7.6±1.9	7.6±2.0	.908
Walking (h/day)	1.1±0.9	1.9±1.2	.003
Sitting time (h/day)	6.09±2.1	5.9±2.7	.841
Mini Mental (points)	26.0±3.4	26.2±3.0	.772
Vit D (ng/mL)	29.5±19.2	26.4±9.5	.364
Body composition measurements			
Weight (kg)	68.8±2.6	76.1±2.4	.048
BMI (kg/m ²)	29.6±5.8	30.1±5.3	.714
BF%	37.1±8.0	36.9±6.8	.857
FM (kg)	26.1±8.9	28.1±8.3	.376
FFM (kg)	42.6±6.7	47.9±10.4	.022
Waist Circumference	90.8±2.2	94.7±2.1	.195

(cm)			
Hip Circumference	104.9±1.9	104.0±1.8	.987
(cm)			
Physical Fitness Assessment			
Balance (s)	8.4±9.6	4.8±4.8	.214
Arm Strength (rep)	12.2±3.4	12.9±3.5	.285
Arm Flexibility	-15.5±12.03	-13.0±9.5	.273
(cm)			
Leg Strength (rep)	10.3±3.0	10.6±3.4	.674
Mean power (W)	142.3±60.7	175.2±74.5	.042
Relative Power	205.8±62.0	228.0±79.6	.186
(W·kg ⁻¹)			
Leg Flexibility	-11.4±11.6	-14.8±8.8	.155
(cm)			
Agility 2,45m (s)	9.4±3.9	9.6±4.2	.772
Maximum Walking	26.8±9.3	25.8±10.0	.610
Speed in 30m (s)			
Endurance (m)	345.8±104.6	371.4±100.5	.243
Handgrip Strength	19.4±9.3	23.25±10.0	.027
(kg)			

SPPB: Short Physical performance Battery, MNA: Mini Nutritional Assessment, ADM: adherence to Mediterranean diet; Vit D: Vitamin D; BMI: Body Mass Index, BF%: Body Fat Percentage, FM: Fat Mass, FFM: Fat Free Mass, rep: repetition. p-value describes differences between groups. All statistically significance was established at <0.05.

Supplementary 2. Changes adjusted by baseline values sex, age, time spend sitting and time spend walking.

Body composition changes in older adults at risk of malnutrition and well-nourished in control and training groups between pre- and post-training periods, adjusted by baseline values, sex, age, time spend sitting and time spend walking.

	CONTROL			TRAIN		
	Risk of malnutrition (n=10)	Well-nourished (n=17)	<i>p-value</i>	Risk of malnutrition (n=11)	Well-nourished (n=26)	<i>p-value</i>
Weight (kg)	0.3±0.7	-0.6±0.6	0.371	-0.6±0.7	-0.6±0.4	0.955
BMI (kg/m ²)	0.1±0.4	-0.4±0.3	0.271	-0.5±0.3	-0.2±0.2	0.468
FM (kg)	0.1±0.8	-0.4±0.5	0.573	0.0±0.6	-1.2±0.3*	0.135
FFM (kg)	0.1±0.6	-0.1±0.4	0.776	-0.3±0.7	0.6±0.4	0.307
BF%	0.3±0.8	-0.3±0.5	0.556	0.3±0.7	-1.3±0.4*	0.075
Waist Cir(cm)	3.4±2.6	2.5±2.1	.787	4.1±2.7	3.7±1.2*	.891
Hip Cir(cm)	3.5±2.9	3.8±1.9	.933	0.3±1.6	1.9±0.7*	.377

Mean differences and standard deviation reported for each body composition variable. BMI: Body Mass Index, FM: Fat Mass, FFM: Fat Free Mass, BF%: Body Fat Mass Percentage, Cir: Circumference. *Statistically significance within groups over time. *p-value* describe differences between groups. All statistical significance was established at <0.05.

Fitness changes in older adults at risk of malnutrition and well-nourished in control and training groups between pre- and post-training, adjusted by baseline value, sex, age, time spend sitting and time spend walking.

	CONTROL			TRAIN		
	Risk of malnutrition (n=11)	Well-nourished (n=21)	<i>p-value</i>	Risk of malnutrition (n=12)	Well-nourished (n=33)	<i>p-value</i>
Balance (s)	7.4±2.9*	0.4±2.0	0.080	5.7±3.5	6.6±2.1*	0.835
Arms Flexibility (cm)	2.0±2.7	2.3±2.0	0.933	3.2±1.8	1.6±1.1	0.477
Legs Flexibility (cm)	2.3±2.7	8.5±2.1*	0.110	5.6±2.9	3.9±1.8*	0.648
Arms Strength (rep)	0.9±1.2	-0.1±0.9	0.520	3.0±1.0*	5.9±0.6*	0.024
Legs Strength (rep)	-0.6±0.9	1.5±0.7*	0.092	2.5±0.8*	3.5±0.4*	0.330
Mean power (W)	-13.5±14.3	15.4±11.2	.156	41.5±15.7*	51.5±8.3*	.616
Relative Power (W·kg ⁻¹)	-0.2±0.2	0.3±0.1	.096	0.4±0.2*	0.7±0.1*	.243
Agility (s)	-0.1±0.5	1.3±0.3*	0.059	-2.1±0.4*	-2.1±0.2*	0.835
Maximum Walking speed (s)	2.5±1.6	0.7±1.2	0.399	-4.2±1.0*	-4.5±0.6*	0.842
Endurance (m)	18.6±23.5	-18.5±16.5	0.234	20.5±21.9	31.5±13.1*	0.692
Grip Strength (kg)	-0.2±1.2	2.1±0.9*	0.177	1.7±1.0	1.9±0.7*	0.814

Mean differences and standard deviation reported for each body composition variable. Rep: repetitions. *Statistically significance within groups over time. *p-value* describe differences between groups. All statistically significance was established at <0.05.

Supplementary 3. Changes adjusted by baseline values, age, sex, baseline values and cognitive status.

Body composition changes in older adults at risk of malnutrition and well-nourished in control and training groups between pre- and post-training periods, adjusted by baseline values, sex, age and cognitive status.

	CONTROL			TRAIN		
	Risk of malnutrition (n=11)	Well-nourished (n=21)	<i>p-value</i>	Risk of malnutrition (n=12)	Well-nourished (n=33)	<i>p-value</i>
Weight (kg)	0.1±0.8	-0.8±0.6	0.363	-0.4±0.6	-0.9±0.4*	0.513
BMI (kg/m ²)	0.1±0.4	-0.6±0.3	0.225	-0.5±0.3	-0.2±0.2	0.420
FM (kg)	0.3±0.9	-0.4±0.6	0.526	0.1±0.6	-1.1±0.3*	0.101
FFM (kg)	-0.2±0.6	-0.4±0.4	0.838	-0.3±0.6	0.3±0.4	0.473
BF%	0.5±0.9	-0.1±0.5	0.539	0.4±0.7*	-1.1±0.4*	0.072
Waist Cir.(cm)	3.8±2.9	3.0±2.3	.827	5.1±2.5	3.4±1.2*	.556
Hip Cir.(cm)	3.6±2.5	3.7±1.7*	.959	1.3±1.7	1.8±0.7*	.817

Mean differences and standard deviation reported for each body composition variable. BMI: Body Mass Index, FM: Fat Mass, FFM: Fat Free Mass, BF%: Body Fat Mass Percentage, Cir: Circumference. *Statistically significance within groups over time. *p-value* describe differences between groups. All statistically significance was established at <0.05.

Fitness changes in older adults at risk of malnutrition and well-nourished in control and training groups between pre- and post-training, adjusted by baseline values, sex, age and cognitive status.

	CONTROL			TRAIN		
	Risk of malnutrition (n=11)	Well-nourished (n=21)	<i>p-value</i>	Risk of malnutrition (n=12)	Well-nourished (n=33)	<i>p-value</i>
Balance (s)	5.0±3.4	2.5±2.4	0.564	8.0±3.2*	5.6±2.0*	0.534
Arms Flexibility (cm)	0.9±2.7	3.5±2.1	0.497	4.4±1.7*	1.2±1.2	0.121
Legs Flexibility (cm)	2.7±2.7	9.4±2.1*	0.87	6.5±2.7*	3.6±1.7*	0.394
Arms Strength (rep)	0.8±1.3	0.3±1.0	0.790	4.0±0.9*	5.4±0.5*	0.177
Legs Strength (rep)	-0.3±1.0	1.5±0.8	0.208	2.5±0.7*	3.5±0.4*	0.287
Mean Power (W)	-5.3±15.2	10.89±11.9	.436	35.6±13.5	52.1±7.7	0.322
Relative Power (W·kg ⁻¹)	-0.1±0.2	0.3±0.2	.190	0.4±0.2*	0.7±0.1*	0.224
Agility (s)	-0.7±0.6	1.6±0.4*	0.011	-2.3±0.4*	-2.1±0.2*	0.771
Maximum Walking speed (s)	1.5±1.8	1.5±1.4	0.987	-4.0±0.9*	-4.5±0.6*	0.710
Endurance (m)	0.1±29.9	-8.9±21.3	0.815	18.2±23.5	29.6±14.2*	0.700
Grip Strength (kg)	-0.1±1.3	2.0±0.9	0.246	1.8±1.0	1.9±0.7*	0.928

Mean differences and standard deviation reported for each body composition variable. Rep: repetitions. *Statistically significance within groups over time. *p-value* describe differences between groups. All statistically significance was established at <0.05.

Material suplementario artículo 6.

Supplementary material 1. Data about graphs; ANCOVA considering robust as reference group

Nutrient intake	Robust	Pre-Frail	Frail
Carbohydrates (g/day)	Ref	26.9±14.0	44.9±16.4
Protein (g/day)	Ref	-11.0±5.1	-13.4±6.0
Total fat (g/day)	Ref	-8.6±5.4	-13.0±6.4
Alcohol (g/day)	Ref	2.0±2.7	-1.3±3.1
w-3 (g/day)	Ref	-0.4±0.4	-1.1±0.4
w-6 (g/day)	Ref	1.3±1.8	-1.0±2.1
MUFA (g/day)	Ref	-2.6±3.8	-4.6±4.4
PUFA (g/day)	Ref	1.0±1.0	-1.9±2.4
SFA (g/day)	Ref	-6.2±2.2	-6.6±2.6
Retinol equivalents (µg/day)	Ref	-125.8±206.7	-267.9±243.1
Vitamin D (µg/day)	Ref	-1.8±1.1	-3.2±1.3
Vitamin E (mg/day)	Ref	0.6±0.5	0.7±1.0
Ascorbic acid (C) (mg/day)	Ref	-33.3±35.7	-69.3±42.0
Tiamin (B1) (mg/day)	Ref	-0.2±0.5	-0.2±0.3
Riboflavin (B2) (mg/day)	Ref	-0.2±0.3	-0.3±0.2
Niacin equivalents (B3) (mg/day)	Ref	-5.5±2.7	-7.4±3.2
Pyridoxine (B6) (mg/day)	Ref	-0.1±0.2	-0.4±0.2
Folic acid (B9) (µg/day)	Ref	-10.7±36.9	-55.9±43.4
Cobalamin (B12) (µg/day)	Ref	-1.4±1.4	-2.4±1.6
Calcium (mg/day)	Ref	-172.1±107.1	-154.3±126.1

Iron (mg/day)	Ref	-0.3±1.0	-0.3±1.3
Sodium (mg/day)	Ref	-258.7±172.1	-78.0±202.4
Magnesium (mg/day)	Ref	-17.5±25.4	-18.4±29.9
Potassium (mg/day)	Ref	-114.8±315.3	-536.3±370.9
Iodine (µg/day)	Ref	32.0±0.5	68.5±56.8
Selenium (µg/day)	Ref	-9.5±7.6	-10.2±8.9
Zinc (mg/day)	Ref	-1.0±0.7	-0.7±0.8
Phosphorus (mg/day)	Ref	-265.5±118.7	-237.7±139.7

*Bold letter represents statistically significant difference comparing with the robust.

Material suplementario artículo 7.

Supplementary Material

Table 1. Relationships between changes with training in body composition, physical fitness and changes in total score in the EQ-5D-3L

	CON				TRAIN			
	r ²	Change r ²	Standardized β	p-value	r ²	Change r ²	Standardized β	p-value
<i>Body composition measurements</i>								
Weight (kg)	.072	.034	-.193	.388	.041	.029	-.177	.269
BMI	.080	.041	-.207	.409	.052	.047	-.221	.240
FM (kg)	.039	.000	-.004	.988	.062	.050	-.229	-.182
FFM (Kg)	.099	.060	-.259	.274	.013	.001	-.030	-.867
FM%	.054	.015	.135	.585	.032	.020	-.144	.406
Waist circum. (cm)	.024	.001	.029	.926	.077	.072	-.354	.158
Hip circum. (cm)	.217	.060	-.277	.376	.089	.007	-.087	.644
<i>Physical fitness variables</i>								
Balance (s)	.057	.027	.173	.396	.387	.083	-.296	.058
Arm Flexibility (cm)	.025	.000	-.019	.922	.067	.000	-.004	.980
Leg Flexibility (cm)	.080	.056	.237	.229	.086	.009	-.097	.554
Leg Strength (rep)	.033	.003	.057	.776	.071	.002	-.052	.763
Arm Strength (rep)	.049	.013	-.120	.558	.232	.084	.321	.048
Agility (s)	.070	.039	.204	.323	.069	.029	-.181	.269
Walking speed (s)	.123	.093	.305	.110	.071	.070	-.269	.082
Aerobic capacity (m)	.046	.002	.043	.842	.205	.128	.360	.018
Handgrip Strength	.048	.018	.136	.493	.257	.190	-.480	.189

CON: control; TRAIN: Training; BMI: Body mass index; FM: fat mass; FFM: free fat mass.

Table 2. Relationships between changes with training in body composition, physical fitness and changes in total score in the EQ-VAS

	CON				TRAIN			
	r ²	Change r ²	Standardized β	p-value	r ²	Change r ²	Standardized β	p-value
<i>Body composition measurements</i>								
Weight (kg)	.242	.001	.040	.838	.113	.101	-.329	.048
BMI	.113	.000	-.012	.961	.122	.083	-.293	.110
FM (kg)	.247	.000	-.001	.998	.047	.009	-.098	.568
FFM (Kg)	.250	.003	.061	.768	.077	.039	-.209	.232
FM%	.080	.078	.302	.209	.116	.006	-.078	.635
Waist circum. (cm)	.139	.010	-.115	.685	.054	.002	-.057	.818
Hip circum. (cm)	.167	.020	-.157	.605	.101	.051	-.228	.227
<i>Physical fitness variables</i>								
Balance (s)	.138	.008	.498	.623	.016	.000	-.012	.940
Arm Flexibility (cm)	.145	.001	.023	.902	.056	.040	-.221	.207
Leg Flexibility (cm)	.173	.028	-.169	.363	.043	.022	.157	.352
Leg Strength (rep)	.132	.002	-.044	.818	.041	.025	-.174	.328
Arm Strength (rep)	.111	.048	-.228	.255	.033	.021	-.160	.371
Agility (s)	.150	.044	.071	.716	.040	.023	.162	.336
Walking speed (s)	.133	.003	-.055	.766	.017	.001	.034	.832
Aerobic capacity (m)	.147	.005	-.071	.728	.034	.013	-.117	.471
Handgrip Strength	.112	.000	-.010	.960	.021	.005	.430	.670

CON: control; TRAIN: Training; BMI: Body mass index; FM: fat mass; FFM: free fat mass.

Anexos

Anexo I. Informe dictamen del Comité de Ética de Investigación

EXERNET-Elder..... – 337 –

Anexo II. Consentimiento informado: EXERNET-Elder – 341 –

Anexo III. Hojas de información para los participantes de los estudios

EXERNET-Elder –347 –

Anexo IV. Hoja de cribado EXERNET-Elder 3.0 Intervención..... – 351–

Anexo V. Ficha ejemplo sobre planificación sesión de entrenamiento..... – 351 –

Anexo VI. Cuestionario general EXERNET-Elder 3.0 Longitudinal..... – 355 –

Anexo VII. Cuestionario general EXERNET-Elder 3.0 Intervención..... – 367 –

Anexo VIII. Hoja de registro EXERNET-Elder..... – 389 –

Anexo IX. Informe de pruebas realizadas – 393 –

Anexo X. Protocolo de mediciones de antropometría – 395 –

Anexo XI. Protocolo de mediciones de condición física – 399 –

CEIC Aragón (CEICA)

Dña. María González Hinjos, Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)

CERTIFICA

1º. Que este Comité en su reunión de 24 de septiembre de 2008, correspondiente al Acta nº 14/2008, ha evaluado la propuesta del investigador referida al estudio:

Título: Estudio multicéntrico para la Evaluación de los niveles de condición Física y su relación con Estilos de Vida Saludables en población mayor española no institucionalizada.

Investigador: Ignacio Ara Royo

Versión Inicial Protocolo: 28/02/2008

Versión Inicial Hoja Información al Paciente: v.2 de julio/2008

2º. Considera que

- Se respetan los principios éticos básicos y es adecuado el procedimiento para obtener el consentimiento informado.
- Se realiza de conformidad con lo establecido en la Ley 14/2007 de Investigación Biomédica.

3º. Por lo que este CEIC emite un **DICTAMEN FAVORABLE**.

Lo que firmo en Zaragoza, a 24 de septiembre de 2008

Fdo:



Dña. María González Hinjos
Secretaria del CEIC Aragón (CEICA)



**MODELO DE EVALUACIÓN ÉTICA. INFORME DEL COMITÉ
ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA**

Dña. Ana María Tato Ribora, Secretaria del Comité Ético de Investigación Clínica del Hospital Universitario Fundación Alcorcón,

CERTIFICA

Que este Comité ha evaluado la propuesta para que se realice el estudio titulado "Evolución de la condición física, composición corporal y fragilidad en personas mayores de 65 años. Mediación de la vitamina D y efectos de un programa de ejercicio: Estudio longitudinal EXERNET" y considera que:

Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.

La capacidad del investigador y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto a los postulados éticos.

El investigador se compromete a responder a los informes de seguimiento que desde el CEIC se les requiera

Y que este Comité acepta que dicho estudio sea realizado por el Dr. Germán Vicente Rodríguez como investigador principal.

Lo que firmo en Alcorcón, a 30 de junio de 2016



Comité Ético de Investigación Clínica

Fdo.: Dra. Ana María Tato Ribora
Secretaria del CEIC del HUFA

DÑA. PATRICIA SANMARTÍN FENOLLERA, PRESIDENTA DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CON MEDICAMENTOS DEL HOSPITAL UNIVERSITARIO FUNDACIÓN ALCORCÓN,

HACE CONSTAR QUE:

En la reunión celebrada el día 28 de noviembre de 2018, acta 13/18, se autorizó la Modificación al cuestionario general y cuestionarios validados al estudio titulado **“Evolución de la condición física, composición corporal y fragilidad en personas mayores de 65 años. Mediación de la vitamina D y efectos de un programa de ejercicio: Estudio longitudinal EXERNET”** del cual es investigador principal el Dr. Germán Vicente Rodríguez.



Dra. Patricia Sanmartín Fenollera
Presidenta del CEIm



ANEXO II

Consentimiento informado por escrito del voluntario

“Evolución de la condición física, composición corporal y fragilidad en personas mayores de 65 años. Mediación de la vitamina D y efectos de un programa de ejercicio: Estudio longitudinal EXERNET”

Ha sido usted invitado/a a participar en una investigación financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad y por la Comisión Europea, que incluye la realización de una analítica de sangre y orina, y una serie de test para evaluar su condición física, su composición corporal y calidad de vida (autoreferida).

El Ministerio de Economía y Competitividad y la Comisión Europea han mostrado su interés en apoyarnos en la realización de un estudio científico de gran importancia para la salud de las personas mayores. Este estudio se va a llevar a cabo siguiendo escrupulosamente la legislación vigente y ha sido aprobado por el Comité de Ética del Hospital de Alcorcón.

Esta es la razón por la cual les vamos a realizar diferentes pruebas.

- Un análisis de sangre (30,5 ml) y orina para determinar niveles de biomarcadores en sangre, así como marcadores genéticos relacionados con la condición física. Además, se guardarán muestras para analizar en el futuro si es el caso.
- Pruebas de Condición Física.
- Composición corporal, analizada por bioimpedancia y/o DEXA.
- Cuestionario general y de salud, de actividad física, adherencia a la dieta mediterránea y otros aspectos socio-demográficos.

En el supuesto que algún resultado de las pruebas realizadas fuese patológico, el Dr. Jose Antonio Casajús, médico supervisor del proyecto se pondría en contacto con Ud. y posteriormente le remitiría a su médico de cabecera.

Las limitaciones para la determinación de la composición corporal son:

-llevar marcapasos

-tener prótesis metálicas

Si este es su caso, no podrá someterse a esta determinación.

En el caso de realizar una densitometría ósea, esta prueba es una exploración prácticamente inocua, ya que precisa una muy baja dosis de radiación y no es necesario administrar ningún contraste. Las únicas contraindicaciones son:



- exploración radiológica con contraste oral reciente (< 5 días)
- exploración de Medicina Nuclear (gammagrafía) reciente (< 2 días).

No hay complicaciones previsibles con el procedimiento descrito. La radiación absorbida por el paciente es extremadamente pequeña, menos de la décima parte de la dosis de una radiografía de tórax convencional.

El riesgo de llevar a cabo los test de condición física es similar al riesgo de desarrollar ejercicios moderados y por tanto, podría llegar a provocar fatiga, agujetas, esguinces, lesión muscular, mareos o desvanecimientos. Así mismo, existe el riesgo de sufrir una parada cardíaca, infarto o muerte súbita. Si actualmente sufre alguno de los siguientes casos, **usted no debería tomar parte en los test físicos** a menos que un facultativo le autorizara por escrito a hacerlo:

1. Su médico le ha desaconsejado la realización de ejercicio como consecuencia de alguna enfermedad.
2. Ha sufrido recientemente un fallo cardíaco.
3. Actualmente cuando realiza ejercicio sufre dolor articular, dolor en el pecho, mareos o angina de pecho (incluyendo los siguientes síntomas: rigidez-opresión en el pecho, dolor o sensación de pesadez).
4. Tiene presión arterial descontrolada (180/100 o superior).

Durante la realización de los test se le pedirá que los realice dentro de su “zona de confort” y nunca se le presionará hasta un punto de sobre-solicitación o por encima de lo que usted crea que es seguro. Comunique a la persona que le evalúa si tiene algún síntoma o sensación extraña como pérdida de aliento, mareo, dolor en el pecho, taquicardias, entumecimiento, pérdida de equilibrio, náuseas o visión borrosa.

La información y datos recogidos en los diferentes cuestionarios realizados durante este estudio respetarán siempre lo establecido por la Ley Orgánica 15/1999 de Protección de Datos de Carácter Personal, y por tanto cualquier información obtenida de este estudio será confidencial, y sólo será hecha pública con su consentimiento expreso. Los resultados de este estudio pueden ser publicados en foros científicos (revistas y congresos), utilizando únicamente los datos agrupados.



Por tanto, le rogamos, **una vez leída la carta adjunta**, que firme el siguiente consentimiento informado.

Yo, (nombre y apellidos del voluntario)

Código

- He recibido información oral y escrita, he leído la carta adjunta.
- He podido hacer preguntas sobre el estudio y resolver mis dudas.
- He recibido suficiente información sobre el estudio.
- He hablado con: (nombre del investigador)
- Comprendo que mi participación es voluntaria. SÍ NO
- Consiento que para el estudio he de donar una muestra de sangre y de orina.
- Comprendo que puedo abandonar el estudio en cualquier momento por decisión propia.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

....., a de de 2016

Firma del voluntario

Firma del investigador

_____ con DNI _____ revoco el consentimiento prestado para participar en el estudio.

En _____, a _____ de _____ de 201__

Firma:

Consentimiento informado por escrito del voluntario

“Evolución de la condición física, composición corporal y fragilidad en personas mayores de 65 años. Mediación de la vitamina D y efectos de un programa de ejercicio: Estudio longitudinal EXERNET”

Ha sido usted invitado/a a participar en una investigación financiada por el Ministerio de Economía y Competitividad y por la Comisión Europea, que incluye la realización de una analítica de sangre, una batería de test para evaluar su condición física y su composición corporal, una serie de cuestionarios para conocer su estado de salud, hábitos y calidad de vida, así como la realización de un programa de entrenamiento multicomponente de 6 meses de duración, en el caso de ser seleccionado como participante del grupo de intervención.

El Ministerio de Economía y Competitividad y la Comisión Europea han mostrado su interés en apoyarnos en la realización de un estudio científico de gran importancia para la salud de las personas mayores. Este estudio se va a llevar a cabo siguiendo escrupulosamente la legislación vigente y ha sido aprobado por el Comité de Ética del Hospital de Alcorcón.

Su participación es totalmente voluntaria. Si usted accede a participar en este estudio, se le incluirá en uno de estos dos grupos:

-Grupo intervención: se le pedirá que realice un programa de ejercicio físico 3 veces por semana durante un periodo de 6 meses.

-Grupo control: se le pedirá que mantenga su estilo de vida actual (actividad física y nutrición) sin ninguna variación importante durante un periodo de 6 meses.

Además, ambos grupos realizarán antes y después de los 6 meses de seguimiento, así como a los 3 meses de su finalización, las pruebas que se detallan a continuación.

-Un análisis de sangre para determinar niveles de biomarcadores en sangre, vitamina D y marcadores genéticos. Además, se guardarán muestras para analizar en el futuro si es necesario.

-Pruebas de Condición Física.

-Composición corporal, analizada por bioimpedancia y tomografía axial computerizada.

-Cuestionario general y de salud, de actividad física, adherencia a la dieta mediterránea y calidad del sueño.

Una vez finalizadas las pruebas, se le hará entrega de un informe de resultados. En el supuesto de que algún resultado de estas pruebas fuese negativo para la salud, el equipo del proyecto se pondría en contacto con Ud. y posteriormente le remitiría a su médico de cabecera.

Las limitaciones para la determinación de la composición corporal son:

-Llevar marcapasos -Tener prótesis metálicas

Si este es su caso, no podrá someterse a esta determinación.

El riesgo de llevar a cabo los test de condición física, así como el programa de entrenamiento es similar al riesgo de desarrollar ejercicios moderados y por tanto, podría llegar a provocar fatiga, agujetas, esguinces, lesión muscular, mareos o desvanecimientos. Así mismo, existe el riesgo de sufrir una parada cardíaca, infarto o muerte súbita. Si actualmente sufre alguno de los siguientes casos, **usted no debería tomar parte en los test físicos ni en el programa de entrenamiento** a menos que un facultativo le autorizara por escrito a hacerlo:

1. Su médico le ha desaconsejado la realización de ejercicio como consecuencia de alguna enfermedad.
2. Ha sufrido recientemente un fallo cardíaco.
3. Actualmente cuando realiza ejercicio sufre dolor articular, dolor en el pecho, mareos o angina de pecho (incluyendo los siguientes síntomas: rigidez-opresión en el pecho, dolor o sensación de pesadez).
4. Tiene presión arterial descontrolada (180/100 o superior).

Durante la realización de los test y los ejercicios del programa de entrenamiento se le pedirá que los realice dentro de su “zona de confort” y nunca se le presionará hasta un punto de sobre-solicitación o por encima de lo que usted crea es seguro. Comuníquese a la persona que le evalúa si tiene algún síntoma o sensación extraña como pérdida de aliento, mareo, dolor en el pecho, taquicardias, entumecimiento, pérdida de equilibrio, náuseas o visión borrosa.

Si tuviera alguna molestia debido a la participación en el estudio, déjelo inmediatamente y consúltelo con su entrenador o médico. Durante las sesiones de ejercicio, y durante cierto tiempo después de estas, puede que tenga dolor muscular y un poco de cansancio, aunque estas pequeñas incomodidades desaparecerán en 48 horas.

Si como consecuencia del entrenamiento sufre cualquier lesión, el monitor únicamente está autorizado a darle los primeros auxilios y atenciones básicas. Posteriormente será usted mismo quien deberá buscar tratamiento en su propio médico si lo necesitara.

Recuerde que su participación en el estudio es voluntaria y que siempre puede dejar de realizar el entrenamiento o las pruebas en el momento que usted lo desee y así lo solicite.

La información y datos recogidos en los diferentes cuestionarios realizados durante este estudio respetarán siempre lo establecido por la Ley Orgánica 15/1999, de Protección de Datos de Carácter Personal, y por tanto cualquier información obtenida de este estudio será confidencial, y sólo será hecha pública con su consentimiento expreso. Los resultados de este estudio pueden ser publicados en foros científicos (revistas y congresos), utilizando únicamente los datos agrupados.

Por tanto, le rogamos, **una vez leída la carta adjunta**, que firme el siguiente consentimiento informado.

Yo, (nombre y apellidos del voluntario)

- He recibido información (oral y escrita), he leído la carta adjunta y conozco el propósito del estudio, así como los posibles riesgos que puedo sufrir.
- He podido hacer preguntas sobre el estudio y resolver mis dudas.
- He recibido suficiente información sobre el estudio.
- He hablado con: (nombre del investigador).
- Comprendo que mi participación es voluntaria.
- Comprendo que para el estudio he de donar una muestra de sangre.
- Comprendo que puedo abandonar el estudio en cualquier momento por decisión propia.
- Estoy de acuerdo en controlar mi esfuerzo físico durante la realización de los test y programa de entrenamiento y en parar y comunicar al instructor cualquier anomalía o síntoma inusual.

Presto libremente mi conformidad para participar en el estudio.

En Zaragoza, a de de 2018.

Firma del voluntario

Firma del investigador

_____ con DNI _____ revoco

el consentimiento prestado para participar en el estudio.

En _____, a _____ de _____ de 201__

Firma:

Evolución de la condición física, composición corporal y fragilidad en personas mayores de 65 años. Mediación de la vitamina D y efectos de un programa de ejercicio: Estudio longitudinal EXERNET

Estimado/a amigo/a:

El proyecto en el cual le invitamos a participar es un estudio centrado en analizar la evolución de la condición física, composición corporal y estado de salud general en personas mayores. **ESTE PROYECTO ES MUY IMPORTANTE PARA MEJORAR LA SALUD DE LA POBLACIÓN MAYOR.** El proceso de envejecimiento viene acompañado de multitud de cambios, entre los que presumiblemente se encuentran los de la composición corporal y condición física. Este hecho, junto al crecimiento de la población mayor en las últimas décadas, puede conducir a un aumento de la prevalencia de enfermedades como la obesidad, sarcopenia, osteoporosis o fragilidad y discapacidad en la sociedad actual. El estilo de vida y concretamente la actividad física, el sedentarismo o programas específicos de entrenamiento pueden tener una relación importante con la masa grasa, magra y ósea, la condición física y la calidad de vida en este grupo de población.

Mantener la autonomía y la independencia a medida que una persona se hace mayor es el objetivo del envejecimiento activo, término acuñado por la OMS a finales de los años 90 y que se define como “el proceso de optimización de oportunidades de salud, participación y seguridad con el objetivo de mejorar la calidad de vida a medida que las personas envejecen”.

Sin embargo, en España, a pesar de que la población mayor se ha triplicado en los últimos 100 años, no existen muchos estudios con muestras de población importantes que evalúen los niveles de condición física, así como su evolución a lo largo del tiempo, y su relación con diferentes estilos de vida (sedentarismo, hábitos de vida, etc.). Entre los años 2008 y 2009 se llevó a cabo por primera vez en España un estudio Multi-céntrico (Proyecto EXERNET) en el cual participaron 6 comunidades autónomas y en el que se valoraron los niveles de condición física y composición corporal en una muestra representativa de personas mayores de 65 años no institucionalizadas (3136 participantes). Entre los años 2010 y 2011, volvimos a evaluar a las mismas personas, esta vez ampliando con datos como polimorfismos genéticos, incontinencia urinaria y calidad del sueño.

El presente proyecto es una continuación de ese estudio en el que se pretende volver a evaluar a las personas mayores que participaron hace 8 y 6 años, para ver cuál ha sido su



evolución con el paso del tiempo, analizando los cambios en la condición física, composición corporal y calidad de vida (autoreferida) de los participantes con el fin de analizar las posibles relaciones que se establecen entre un envejecimiento saludable y dichos aspectos. En esta ocasión, el proyecto se amplía con un análisis de sangre y de orina.

Esta es la razón por la cual les vamos a realizar diferentes pruebas.

- Un análisis de sangre (30,5 ml) y orina para determinar niveles de biomarcadores en sangre, así como marcadores genéticos relacionados con la condición física. Además, se guardarán muestras para analizar en el futuro.
- Pruebas de Condición Física.
- Composición corporal, analizada por bioimpedancia y/o DEXA.
- Cuestionario general y de salud, de actividad física, adherencia a la dieta mediterránea y otros aspectos socio-demográficos.

Este estudio se realizará en seis comunidades diferentes: Aragón, Castilla la Mancha, Madrid, Castilla y León, Extremadura y Canarias. Al final del estudio recibirán un informe completo con todos los resultados. Estamos a su entera disposición para aclarar cualquier duda que pueda surgir, incluso durante el transcurso de la investigación. Por ello, al final de esta carta les indicamos el teléfono de contacto y correo electrónico del Investigador Principal de su área geográfica.

SU PARTICIPACIÓN ES MUY IMPORTANTE. Los avances científicos sólo son posibles gracias al entusiasmo y apoyo de muchas personas, sobre todo de los voluntarios que se prestan a participar en este tipo de estudios. El estudio que se plantea se va a realizar de este modo por primera vez en España. Por lo tanto, somos pioneros y necesitamos su apoyo para poder seguir adelante.

SU PARTICIPACIÓN ES COMPLETAMENTE VOLUNTARIA. Para poder participar en el estudio, es necesario que firme la hoja de consentimiento informado que se adjunta. Usted tiene el derecho de dejar de participar en el estudio en cualquier momento, sin alegar razones y sin que ello repercuta en ningún modo en ningún aspecto relacionado con su vida personal.

Reciba un cordial saludo,

GENUD resarch group.
Facultad de Ciencias de la Salud y del Deporte.
Universidad de Zaragoza.
Plaza de la Universidad, Huesca.

Hoja de información para el voluntario

Evolución de la condición física, composición corporal y fragilidad en personas mayores de 65 años. Mediación de la vitamina D y efectos de un programa de ejercicio: Estudio longitudinal EXERNET

Estimado/a amigo/a:

El proyecto en el cual le invitamos a participar es un estudio financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad y por la Comisión Europea, que se centra en analizar el efecto de un programa de ejercicio físico multicomponente de 6 meses de duración sobre la condición física, composición corporal, calidad de vida y estado de salud general en las personas mayores. **ESTE PROYECTO ES MUY IMPORTANTE PARA MEJORAR LA SALUD DE LA POBLACIÓN MAYOR.**

El proceso de envejecimiento viene acompañado de multitud de cambios, entre los que se encuentran los de la composición corporal y condición física. Este hecho, junto al crecimiento de la población mayor en las últimas décadas, puede conducir a un aumento de la prevalencia de enfermedades como la obesidad, sarcopenia, osteoporosis o fragilidad y discapacidad en la sociedad actual. El estilo de vida y concretamente la actividad física, el sedentarismo o programas específicos de entrenamiento pueden tener una relación importante con la masa grasa, magra y ósea, la condición física y la calidad de vida en este grupo de población.

El término fragilidad hace referencia a un síndrome asociado al envejecimiento, caracterizado por una pérdida importante de la reserva funcional de las personas que las conduce a un estado de pre-discapacidad. La fragilidad es un buen predictor de eventos adversos de salud a corto, medio y largo plazo, como caídas, pérdida de movilidad, hospitalización, discapacidad, institucionalización y, en última instancia, la muerte. Para prevenirla es fundamental actuar sobre su principal factor de riesgo, la inactividad.

Por este motivo, desde el grupo de investigación GENUD (Crecimiento, Ejercicio, Nutrición y Desarrollo) de la Universidad de Zaragoza, se ha diseñado el presente proyecto, que se centra en analizar los efectos de un programa específico de entrenamiento en las personas mayores con fragilidad y prefragilidad, con el objetivo de intentar revertir este síndrome, mejorar la capacidad funcional y composición corporal, y en última instancia mejorar la calidad de vida de estas personas.

Si usted accede a participar en este estudio, se le incluirá en uno de estos dos grupos:

-Grupo intervención: se le pedirá que realice un programa de ejercicio físico 3 veces por semana durante un periodo de 6 meses.

-Grupo control: se le pedirá que mantenga su estilo de vida actual (actividad física y nutrición) sin ninguna variación importante durante un periodo de 6 meses.

Además, ambos grupos realizarán antes y después de los 6 meses de seguimiento, así como a los 3 meses de su finalización, las pruebas que se detallan a continuación.

- Un análisis de sangre para determinar niveles de biomarcadores en sangre, vitamina D y marcadores genéticos.
- Pruebas de condición física.
- Composición corporal, analizada por bioimpedancia y tomografía axial computerizada.
- Cuestionario general y de salud, de actividad física, adherencia a la dieta mediterránea y calidad del sueño.

Una vez finalizadas las pruebas, se le hará entrega de un informe de resultados. En el supuesto de que algún resultado de estas pruebas fuese negativo para la salud, el equipo del proyecto se pondría en contacto con Ud. y posteriormente le remitiría a su médico de cabecera.

SU PARTICIPACIÓN ES MUY IMPORTANTE. Los avances científicos sólo son posibles gracias al entusiasmo y apoyo de muchas personas, sobre todo voluntarios que se prestan a participar en este tipo de estudios. El estudio que se plantea se va a realizar de este modo por primera vez en Aragón. Por lo tanto, somos pioneros y necesitamos su apoyo para poder seguir adelante.

SU PARTICIPACIÓN ES COMPLETAMENTE VOLUNTARIA. Para poder participar en el estudio, es necesario que firme la hoja de consentimiento informado que se adjunta. Usted tiene el derecho de dejar de participar en el estudio en cualquier momento, sin alegar razones y sin que ello repercuta en ningún modo en ningún aspecto relacionado con su vida personal.

Reciba un cordial saludo.

Germán Vicente-Rodríguez (Investigador Principal del proyecto).



HOJA DE CRIBADO PROYECTO EXERNET 3.0

DATOS PERSONALES:

1. Nombre y Apellidos: _____

2. Fecha de Nacimiento: _____

3. Edad: _____ años.

4. Sexo: Hombre ⁽¹⁾ Mujer ⁽²⁾

5. Domicilio: _____

6. Código Postal: _____

7. Localidad: _____

8. Provincia: _____

9. DNI: _____

10. Teléfono fijo: _____

11. Teléfono móvil: _____

12. Nombre Hijo / Hija / Familiar de Contacto: _____

13. Teléfono Hijo / Hija / Familiar de Contacto: _____

VALORACIÓN DE LOS TEST DE CRIBADO:

PREGUNTAS BATERÍA FRIED	SI (1)	NO (0)
¿Ha perdido peso de forma involuntaria (más de 4,5 kg) en el último año?		
Durante la última semana, ¿ha sentido que todo lo que hacía le suponía un esfuerzo o ha sentido que no podía seguir adelante?		
A la semana ¿camina al menos 2.5h/semana (hombre) o de 2h/semana (mujer)?		

EQUILIBRIO 1ª parte	EVALUACIÓN Tiempo (s.)	+ 10 s. pasa a la siguiente prueba de equilibrio
PIES JUNTOS		
SEMITÁNDEM		
TANDEM		

FUERZA Y PRESIÓN MANUAL (Posición: de pie)	1ª EVALUACIÓN		2ª EVALUACIÓN	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
Dinamometría manual (kg)				

FUERZA MIEMBRO INFERIOR	EVALUACIÓN
5 repeticiones (s.)	

VELOCIDAD DE LA MARCHA FRIED 4,5m	1ª EVALUACIÓN	2ª EVALUACIÓN
Fried 4,5m con 2m de lanzada (s.)		
VELOCIDAD DE LA MARCHA SPPB 4m	EVALUACIÓN	
SPPB 4m sin salida lanzada (s.)		

*En función de los resultados obtenidos, el sujeto entra a formar parte de la muestra del proyecto Exernet 3.0:

SI NO

ANEXO V

Nº Sesión	10	Fecha	Viernes 01/02/19	Sist. Organiz.	Ejercicios	Tipo de sesión	A
Objetivos	1. Crear sensación de diversión y cohesión de grupo 2. Aprender a ejecutar correctamente los ejercicios de la sesión 3. Aprender a controlar la respiración durante las ejecuciones 4. Realizar un trabajo de tonificación muscular y equilibrio						
Observ.	- INCREMENTO DE CARGA: Se incrementa el número de repeticiones a 10 en todos los ejercicios. - Lo MÁS IMPORTANTE es prestar atención a las ejecuciones, corregir y dedicar tiempo a que entiendan como está organizada la sesión. El CONTROL DEL TIEMPO DE DESCANSO NO es lo más IMPORTANTE ahora - Pasar asistencia (final de la clase mientras realizan el ejercicio de respiración) y Escala de Borg (final de clase)						
Material	- Balón de plástico grande, Bandas elásticas azules y celestes, banda elástica cerrada.						
CALENTAMIENTO GENERAL							
Cód Ej.	Ejercicio	Rep	Imagen	Cód Ej.	Ejercicio	Rep	Imagen
0.1 MOV. ART.	Rotación de tobillo	8		0.32 MOV. ART.	Flexo-extensión de codos	8	
0.5 MOV. ART.	Flexo-extensión frontal de rodillas	8		0.34 MOV. ART.	Flexo-Extensión de muñecas	8	
0.8 MOV. ART.	Rotación de cadera	8		0.37 MOV. ART.	Cerrar-Abrir dedos	8	
0.17 MOV. ART.	Rotación tronco	8		0.40 MOV. ART.	Flexo-Extensión de cuello ("Si")	8	
0.18 MOV. ART.	Elevación y descenso inverso de brazos (frontal)	8		0.41 MOV. ART.	Movimiento lateral ("No")	8	
0.20 MOV. ART.	Cruce de brazos horizontal	8		0.19 MOV. ART.	Rotación interna y externa de hombros	8	
CALENTAMIENTO ESPECÍFICO							
Cód Ej.	Ejercicio	Imagen	Rep	Ser	Int/Car	TD	
16.1 EQUILIB	Equilibrio pies juntos	 Nivel 1: Ojos abiertos	30 s	1		30 s	
20.1 JUEGOS	Pases de balón entre compañeros situados en círculo con tarea cognitiva (decir nombre del compañero al que pasan)	 Sentailla + pase de pecho Extensión de Gemelos+ pase pecho	5 min	1	Balón Plástico Grande	4 min	
PARTE PRINCIPAL							
Cód Ej.	Ejercicio	Imagen	Rep	Ser	Int/Car	TD	
8.1 TREN INF	Sentadillas en silla	 Nivel 1: con agarre Nivel 2: sin agarre	10	2	H. Fr	Nivel 1. Auto	2 min
					H. PF	Nivel 2. Auto	
					M. Fr	Nivel 1. Auto	
					M. PF	Nivel 2. Auto	
1.1 PECT	Flexo-extensiones de codos contra pared	 Nivel 1: Con un pie adelantado Nivel 2: Con pies a la misma altura	10	2	H. Fr	Nivel 1. Auto	2 min
					H. PF	Nivel 2. Auto	
					M. Fr	Nivel 1. Auto	
					M. PF	Nivel 2. Auto	
16.2 EQUILIB	Equilibrio semi tándem		10	2	H. Fr	Nivel 1. Auto	2 min
					H. PF	Nivel 1. Auto	
					M. Fr	Nivel 1. Auto	
					M. PF	Nivel 1. Auto	
9.2 GEM Y SÓL.	Flexo-Extensión de tobillos de pie y sin desnivel	 Nivel 1: sin peso Nivel 2: con peso o banda elástica	10	2	H. Fr	Nivel 1. Auto	2 min
					H. PF	Nivel 2. Celeste	
					M. Fr	Nivel 1. Auto	
					M. PF	Nivel 2. Celeste	
2.1 TRAP Y ESP	Remo con banda elástica	 Nivel 1: Sentado Nivel 2: De pie	10	2	H. Fr	Nivel 1. Celeste	2 min
					H. PF	Nivel 2. Celeste	
					M. Fr	Nivel 1. Celeste	
					M. PF	Nivel 2. Celeste	
7.9 ABDOM. Y LUMB	Extensión de tronco sentado con banda elástica		10	2	H. Fr	Celeste	2 min
					H. PF	Azul	
					M. Fr	Celeste	
					M. PF	Celeste	
12.5 ABDUCT ORES	Desplazamiento lateral con banda elástica o tobillera lastrada		10	2	H. Fr	Mancuernas 1 kg	2 min
					H. PF	Verde	
					M. Fr	Mancuernas 1 kg	
					M. PF	Verde	

Código Participante:

Cónyuge (1) Hijo/a (2) Hermano/a (3)
Residencia (4) Otro (5) Indique cuál: _____

14. ¿En su casa tiene ascensor? Sí (1) No (0)

15. ¿En qué piso vive? _____ (0=Casa/ bajo /Chalet)

16. ¿Qué estudios tiene?

No sabe leer ni escribir (1) Estudios primarios (2)

Estudios secundarios (3) Estudios universitarios (4)

Sabe leer y escribir pero no tiene estudios primarios (5)

17. ¿Recibe usted renta propia? Sí (1) No (0)

18. ¿Cuál es su nivel de renta actual?

Menos de 650 €/mes (1)

Entre 650 y 900 €/mes (2)

Más de 900 €/mes (3)

-(Preguntas 19-24 solo en caso de ser mujer)-

19. Edad de Menopausia: _____

20. Edad de Menarquia (aparición de la primera menstruación): _____

21. ¿Ha recibido usted alguna vez tratamiento hormonal sustitutivo (terapia estrogénica)?

Sí (1) No (0)

22. En caso afirmativo, ¿durante cuánto tiempo? _____

23. Número de embarazos (incluidos posibles abortos): _____

24. Número de partos: _____

ESTILO DE VIDA

25. Actualmente, ¿realiza actividad física de manera organizada (gimnasio, actividades del ayuntamiento, club deportivo...)?

Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

26. ¿Qué tipo de actividad organizada?

Natación ⁽¹⁾ Acuagym ⁽²⁾ Gimnasia Mantenimiento ⁽³⁾

Yoga ⁽⁴⁾ Otra ⁽⁵⁾

Indique cuál: _____

27. ¿Cuántas horas a la semana de actividad organizada? _____ horas

28. ¿Ha variado su actividad física desde 2011? No, no ha variado ⁽⁰⁾

Sí, ha aumentado ⁽¹⁾ Sí, ha disminuido ⁽²⁾

29. En su juventud, ¿practicó algún tipo de deporte o hizo ejercicio físico de manera regular?

Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

30. ¿Qué tipo de actividad?

Natación ⁽¹⁾ Gimnasia Mantenimiento ⁽²⁾ Fútbol ⁽³⁾

Otro ⁽⁴⁾ Indique cuál: _____

31. ¿Durante cuánto tiempo (años)? _____

32. ¿A qué nivel?

Élite ⁽¹⁾ Competición ⁽²⁾ Recreación ⁽³⁾

Otro ⁽⁴⁾ Indique cuál: _____

33. Respecto a su vida laboral, ¿trabajó fuera del hogar?

Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

34. ¿A qué se dedicaba?

*Dirección de empresas y administraciones públicas ⁽¹⁾

*Técnicos y profesionales científicos e intelectuales ⁽²⁾

*Técnicos y profesionales de apoyo ⁽³⁾

Código Participante:

- *Empleados de tipo administrativo (4)
- *Trabajadores de servicio de restauración, personales, protección y Vendedores de comercio (5)
- *Trabajadores cualificados en agricultura y en la pesca (6)
- *Artesanos y trabajadores cualificados de industrias manufactureras, Construcción, y minería, excepto operadores de instalación y Maquinaria (7)
- *Operadores instalaciones y maquinaria, y montadores (8)
- *Trabajadores no cualificados (9)
- *Fuerzas armadas (10)
- *Trabajo en el hogar (11)
- *Desempleado (12)
- *Otra (indicar): _____ (13)

35. Indique cuánto tiempo dedica al día a cada una de las siguientes actividades:

	Caminar	Estar sentado	Tareas del hogar
Menos de 1 hora (1)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entre 1 y 2 horas (2)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entre 2 y 3 horas (3)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entre 3 y 4 horas (4)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Entre 4 y 5 horas (5)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Más de 5 horas (6)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	<input style="background-color: yellow; width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="background-color: yellow; width: 80px; height: 20px;" type="text"/>	<input style="background-color: yellow; width: 80px; height: 20px;" type="text"/>

ASPECTOS RELACIONADOS CON LA SALUD

36. ¿Toma medicación de manera habitual? (en caso de ser necesario, grapar los prospectos a esta hoja)

Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾



En caso afirmativo, por favor, indique cuál:

Nombre del medicamento y laboratorio fabricante	Frecuencia de consumo			Dosis (número de pastillas)
	A veces	Todos los meses	A diario	
(añadir más filas si es necesario)				

37. ¿Sufre usted o está en tratamiento de alguna enfermedad?

Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾



Código Participante:

38. En caso afirmativo, señale cual...

- Diabetes ⁽¹⁾ Hipertensión ⁽²⁾ Colesterol ⁽³⁾
 Artritis/artrosis ⁽⁴⁾ Depresión ⁽⁵⁾ Insomnio ⁽⁶⁾
 Osteoporosis ⁽⁷⁾ Fibromialgia ⁽⁸⁾

Otros: _____

39. En los últimos 12 meses ¿ha sufrido usted alguna caída? Sí ⁽¹⁾ **No** ⁽⁰⁾

40. ¿Cuántas? _____

41. ¿Ha sufrido alguna fractura en los últimos 10 años? Sí ⁽¹⁾ **No** ⁽⁰⁾

42. ¿En qué parte del cuerpo? _____

43. ¿Cuántas horas duerme por la noche cada día? _____

44. ¿Cuántas horas duerme de siesta al día? _____

45. Respecto al sueño, señale la casilla que mejor describa su situación durante el último mes:

	No me ocurre (0)	Me ocurre 1-3 días (1)	Me ocurre 4-7 días (2)	Me ocurre 8-14 días (3)	Me ocurre 15-21 días (4)	Me ocurre 22-31 días (5)
Dificultad para caer/quedarse dormido/a (iniciar sueño)						
Dificultad para permanecer dormido/a						
Despertarse varias veces por la noche						
Despertarse y sentirse cansado/a y agotado/a después de sueño normal						

46. Durante el último mes, ¿cómo valoraría en conjunto, la calidad de su sueño? (señale un valor en la escala)

muy mala 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8 - 9 - 10 muy buena

47. ¿Cuánto tiempo habrá tardado en dormirse, normalmente, las noches del último mes?

Muy poco, 0-1 minutos ⁽¹⁾ Poco, entre 1 y 15 minutos ⁽²⁾

Algo, 16-30 minutos ⁽³⁾ Bastante, 31-60 minutos ⁽⁴⁾

Mucho, más de 60 minutos ⁽⁵⁾

48. En la actualidad, ¿fuma? Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

49. En caso afirmativo, ¿desde cuándo? _____

50. ¿Cuántos cigarrillos al día?

Menos de 5 cigarrillos ⁽¹⁾ Entre 5 y 10 cigarrillos ⁽²⁾

Entre 10 y 15 cigarrillos ⁽³⁾ Entre 15 y 20 cigarrillos ⁽⁴⁾

Más de una cajetilla diaria ⁽⁵⁾

51. ¿Ha fumado en el pasado?

Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

52. ¿Durante cuántos años fumó en el pasado? _____

53. ¿Cuántos cigarrillos al día fumaba en el pasado?

Menos de 5 cigarrillos ⁽¹⁾ Entre 5 y 10 cigarrillos ⁽²⁾

Entre 10 y 15 cigarrillos ⁽³⁾ Entre 15 y 20 cigarrillos ⁽⁴⁾

Más de una cajetilla diaria ⁽⁵⁾

54. ¿Hace cuántos años que dejó de fumar? _____

Respecto al estudio de la incontinencia de orina:

55. ¿Sufre en alguna ocasión algún escape de orina y/o incontinencia urinaria?

Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

-(Preguntas 56-60 solo en caso de que la respuesta sea afirmativa)

56. Los posibles escapes de orina que tiene, ¿cuánto afectan su vida diaria? (por favor, marque un círculo en un número entre 0 (no me afectan nada) y 10 (me afectan mucho):

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

57. Señale la respuesta a la siguiente cuestión: Me da miedo hacer esfuerzos porque se me escapa la orina:

No, en absoluto 0 - 1 - 2 - 3 - 4 - 5 Mucho

<p>58. ¿Con qué frecuencia pierde orina? (marque una):</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Nunca <input type="checkbox"/> (0) - Una vez a la semana o menos <input type="checkbox"/> (1) - Dos o tres veces a la semana <input type="checkbox"/> (2) - Una vez al día <input type="checkbox"/> (3) - Varias veces al día <input type="checkbox"/> (4) - Continuamente <input type="checkbox"/> (5) <p style="text-align: right;"><input type="text"/></p>																																
<p>59. Cantidad de orina que usted cree que pierde habitualmente (tanto si lleva protección como si no) (marque uno):</p>	<ul style="list-style-type: none"> - No se me escapa nada <input type="checkbox"/> (0) - Muy poca cantidad <input type="checkbox"/> (1) - Una cantidad moderada <input type="checkbox"/> (2) - Mucha cantidad <input type="checkbox"/> (3) <p style="text-align: right;"><input type="text"/></p>																																
<p>60. ¿Cuándo pierde orina? (señale todo lo que le pasa a usted):</p>	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 70%;">A- Nunca pierde orina</td> <td style="width: 10%;">No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td style="width: 10%;">Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="width: 10%; text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>B- Pierde orina antes de llegar al WC</td> <td>No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td>Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>C- Pierde orina cuando tose/estornuda</td> <td>No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td>Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>D- Pierde orina cuando duerme</td> <td>No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td>Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>E- Pierde orina cuando hace esfuerzos físicos/ejercicio</td> <td>No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td>Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>F- Pierde orina al acabar de orinar y ya se ha vestido</td> <td>No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td>Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>G- Pierde orina sin motivo evidente</td> <td>No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td>Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> <tr> <td>H- Pierde orina de forma continua</td> <td>No <input type="checkbox"/> (0)</td> <td>Sí <input type="checkbox"/> (1)</td> <td style="text-align: center;"><input type="text"/></td> </tr> </table>	A- Nunca pierde orina	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>	B- Pierde orina antes de llegar al WC	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>	C- Pierde orina cuando tose/estornuda	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>	D- Pierde orina cuando duerme	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>	E- Pierde orina cuando hace esfuerzos físicos/ejercicio	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>	F- Pierde orina al acabar de orinar y ya se ha vestido	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>	G- Pierde orina sin motivo evidente	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>	H- Pierde orina de forma continua	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>
A- Nunca pierde orina	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														
B- Pierde orina antes de llegar al WC	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														
C- Pierde orina cuando tose/estornuda	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														
D- Pierde orina cuando duerme	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														
E- Pierde orina cuando hace esfuerzos físicos/ejercicio	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														
F- Pierde orina al acabar de orinar y ya se ha vestido	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														
G- Pierde orina sin motivo evidente	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														
H- Pierde orina de forma continua	No <input type="checkbox"/> (0)	Sí <input type="checkbox"/> (1)	<input type="text"/>																														

61. Por la noche ¿Cuántas veces se levanta a orinar? _____ veces/noche

62. Hace 5 años ¿Cuántas veces se levantaba a orinar? _____ veces/noche

CRITERIOS DE FRAGILIDAD DE FRIED

63. ¿Ha perdido peso de forma involuntaria (más de 4,5 kg) en el último año?

Sí (1) No (0)

64. Durante la última semana, ¿ha sentido que todo lo que hacía le suponía un esfuerzo o ha sentido que no podía seguir adelante?

Sí (1) No (0)

65. A la semana ¿camina al menos 2.5h/semana (hombre) o de 2h/semana (mujer)?

Sí (1) No (0)

CUESTIONARIO DE SALUD EUROQOL-5D (EQ-5D)

Marque con una cruz la respuesta de cada apartado que mejor describa su estado de salud en el día de hoy.

66.MOVILIDAD:

- No tengo problemas para caminar.
- Tengo algunos problemas para caminar.
- Tengo que estar en la cama.

<input type="checkbox"/>	(1)
<input type="checkbox"/>	(2)
<input type="checkbox"/>	(3)

67.CUIDADO PERSONAL:

- No tengo problemas con el cuidado personal.
- Tengo algunos problemas para lavarme o vestirme.
- Soy incapaz de lavarme o vestirme.

<input type="checkbox"/>	(1)
<input type="checkbox"/>	(2)
<input type="checkbox"/>	(3)

68.ACTIVIDADES COTIDIANAS: (p.ej. trabajar, estudiar, hacer las tareas domésticas, actividades familiares o durante el tiempo libre).

- No tengo problemas para realizar mis actividades cotidianas.
- Tengo algunos problemas para realizar mis actividades cotidianas.
- Soy incapaz de realizar mis actividades cotidianas.

<input type="checkbox"/>	(1)
<input type="checkbox"/>	(2)
<input type="checkbox"/>	(3)

69.DOLOR/ MALESTAR:

- No tengo dolor ni malestar.
- Tengo moderado dolor o malestar.
- Tengo mucho dolor o malestar.

<input type="checkbox"/>	(1)
<input type="checkbox"/>	(2)
<input type="checkbox"/>	(3)

70.ANSIEDAD/ DEPRESIÓN:

- No estoy ansioso o deprimido.
- Estoy moderadamente ansioso o deprimido.
- Estoy muy ansioso o deprimido.

<input type="checkbox"/>	(1)
<input type="checkbox"/>	(2)
<input type="checkbox"/>	(3)

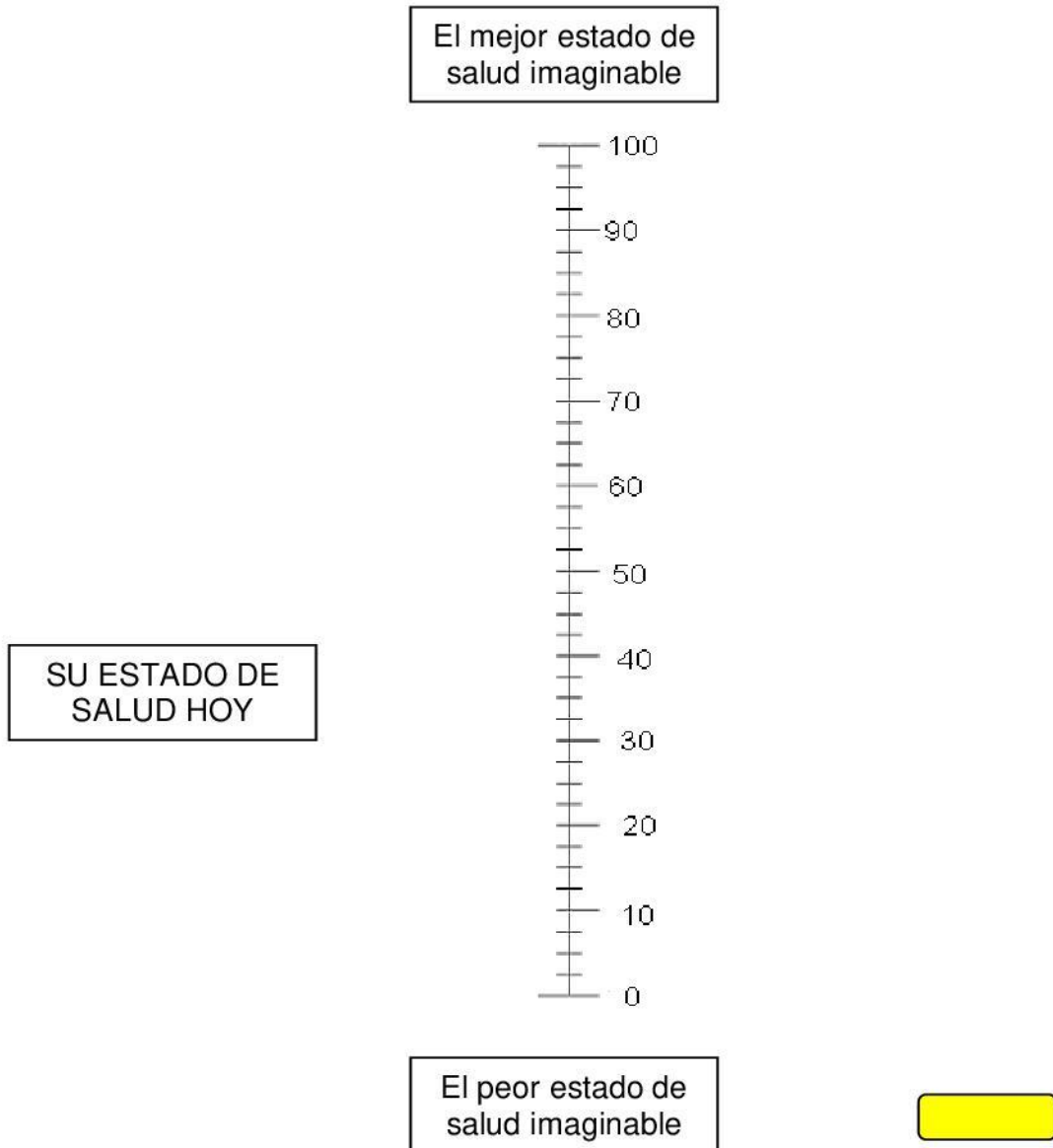
71.Comparado con mi estado general de salud durante los últimos 12 meses, mi estado de salud hoy es:

- Mejor. (1)
- Igual. (2)
- Peor. (3)

72. Para ayudar a la gente a describir lo bueno o malo que es su estado de salud hemos dibujado una escala parecida a un termómetro en la cual se marca con un 100 el mejor estado de salud que se pueda imaginar y con un 0 el peor estado de salud que se pueda imaginar.

Nos gustaría que nos indicara en esta escala, en su opinión, lo bueno o lo malo que es su estado de salud en el día de **hoy**.

Por favor, dibuje una línea desde el casillero donde dice "Su estado de salud hoy" hasta el punto del termómetro que en su opinión indique lo bueno o lo malo que es su estado de salud en el día de hoy.



CUESTIONARIO DE LOS ESTADOS DE CAMBIO

La **Actividad Física moderada** se refiere a aquellas actividades físicas tales como andar deprisa, subir escaleras, practicar algún deporte, realizar las tareas domésticas, etc. en las que nuestra temperatura corporal se eleva y nuestro ritmo respiratorio se acelera. Resumiendo, al realizar dichas actividades *podemos hablar al mismo tiempo pero nos cuesta*.

Por favor marca un **SÍ** o **NO** para cada respuesta.

73. Actualmente participo en actividades físicas moderadas Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

74. Pretendo incrementar mi participación en actividades físicas moderadas durante los próximos 6 meses Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

Para que la actividad física moderada sea **regular** debe realizarse al menos 5 días por semana y llegar a acumular 30 minutos al día.

75. Actualmente participo en actividad física moderada regular. Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

76. Llevo participando en actividad física moderada regular desde hace 6 meses o más. Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

77. En el pasado, fui regular en mi práctica de actividad física moderada por un periodo de al menos 3 meses. Sí ⁽¹⁾ No ⁽⁰⁾

CUESTIONARIO DE ADHERENCIA A DIETA MEDITERRÁNEA PREDIMED

78. ¿Usa usted el aceite de oliva como principal grasa para cocinar? (Sí = 1 punto)
79. ¿Cuánto aceite de oliva consume en total al día (incluyendo el usado para freír, comidas fuera de casa, ensaladas, etc.)? (4 o más cucharadas = 1 punto)
80. ¿Cuántas raciones de verdura u hortalizas consume al día? (las guarniciones o acompañamientos = 1/2 ración, 1 ración = 200g) (2 ó más (al menos una de ellas en ensalada o crudas = 1 punto)
81. ¿Cuántas piezas de fruta (incluyendo el zumo natural) consume al día? (3 ó más al día = 1 punto)
82. ¿Cuántas raciones de carnes rojas, hamburguesas, salchichas o embutidos consume al día? (ración = 100-150g) (Menos de 1 al día = 1 punto)
83. ¿Cuántas raciones de mantequilla, margarina o nata consume al día? (porción individual = 12g) (Menos de 1 al día = 1 punto)
84. ¿Cuántas bebidas carbonatadas y/o azucaradas (refrescos, colas, tónica, bitter) consume al día? (Menos de 1 al día = 1 punto)
85. ¿Bebe usted vino? ¿Cuánto consume a la semana? (7 o más vasos a la semana = 1 punto)
86. ¿Cuántas raciones de legumbres consume a la semana? (1 plato o ración de 150g) (3 ó más a la semana = 1 punto)
87. ¿Cuántas raciones de pescado – mariscos consume a la semana? (1 plato pieza o ración= 100-150g de pescado ó 4-5 piezas ó 200g de marisco) (3 ó más a la semana = 1 punto)
88. ¿Cuántas veces a la semana consume usted repostería comercial (no casera) como galletas, flanes, dulce o pasteles a la semana? (Menos de 2 a la semana = 1 punto)
89. ¿Cuántas veces consume frutos secos a la semana? (ración = 30g) (3 ó más a la semana = 1 punto)
90. ¿Consume usted preferentemente carne de pollo, pavo o conejo en lugar de ternera, cerdo, hamburguesa o salchichas? (carne de pollo: 1 pieza o ración de 100-150g) (Sí = 1 punto)
91. ¿Cuántas veces a la semana consume usted los vegetales cocinados, la pasta, arroz u otros platos aderezados con sofrito (salsa de tomate, ajo, cebolla o puerro elaborada con aceite de oliva a fuego lento)? (2 ó más a la semana = 1 punto)

Este es el final de los cuestionarios, **gracias por su participación.**



Red de Investigación en ejercicio físico y salud para poblaciones especiales (EXERNET)

ESTUDIO MULTI-CÉNTRICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA EN PERSONAS MAYORES

Código Participante:

52e) ¿En qué medida consideras que tu problema de sueño interfiere con tu funcionamiento diario (Ej.: fatiga durante el día, capacidad para tareas cotidianas, concentración, estado de ánimo etc.)?

Nada (0) Un poco (1) Algo (2) Mucho (3) Muchísimo (4)

53e) ¿En qué medida crees que los demás se dan cuenta de tu problema de sueño por lo que afecta a tu calidad de vida?

(0) (1) (2) (3) (4)

54f) ¿Cómo estás de preocupado/a por tu actual problema de sueño?

(0) (1) (2) (3) (4)

Corrección: Sumar la puntuación de todos los ítems. El intervalo de la puntuación total es 0-28.	Interpretación: La puntuación total se valora como sigue: 0-7 = ausencia de insomnio clínico 8-14 = insomnio subclínico 15-21 = insomnio clínico (moderado) 22-28 = insomnio clínico (grave)
---	--

Total puntos:

55. En la actualidad, ¿fuma? Sí (1) No (0) (pasar a la 50)

56. En caso afirmativo, ¿desde cuándo? _____

57. ¿Cuántos cigarrillos al día?

Menos de 5 cigarrillos (1) Entre 5 y 10 cigarrillos (2)

Entre 10 y 15 cigarrillos (3) Entre 15 y 20 cigarrillos (4)

Más de una cajetilla diaria (5)

58. ¿Ha fumado en el pasado?

Sí (1) No (0) (pasar a la 54)

59. ¿Durante cuantos años fumó en el pasado? _____

60. ¿Cuántos cigarrillos al día fumaba en el pasado?

Menos de 5 cigarrillos (1) Entre 5 y 10 cigarrillos (2)

Entre 10 y 15 cigarrillos (3) Entre 15 y 20 cigarrillos (4)

Más de una cajetilla diaria (5)

61. ¿Hace cuantos años que dejó de fumar? _____

Respecto al estudio de la incontinencia de orina:

62. ¿Sufre en alguna ocasión algún escape de orina y/o incontinencia urinaria?

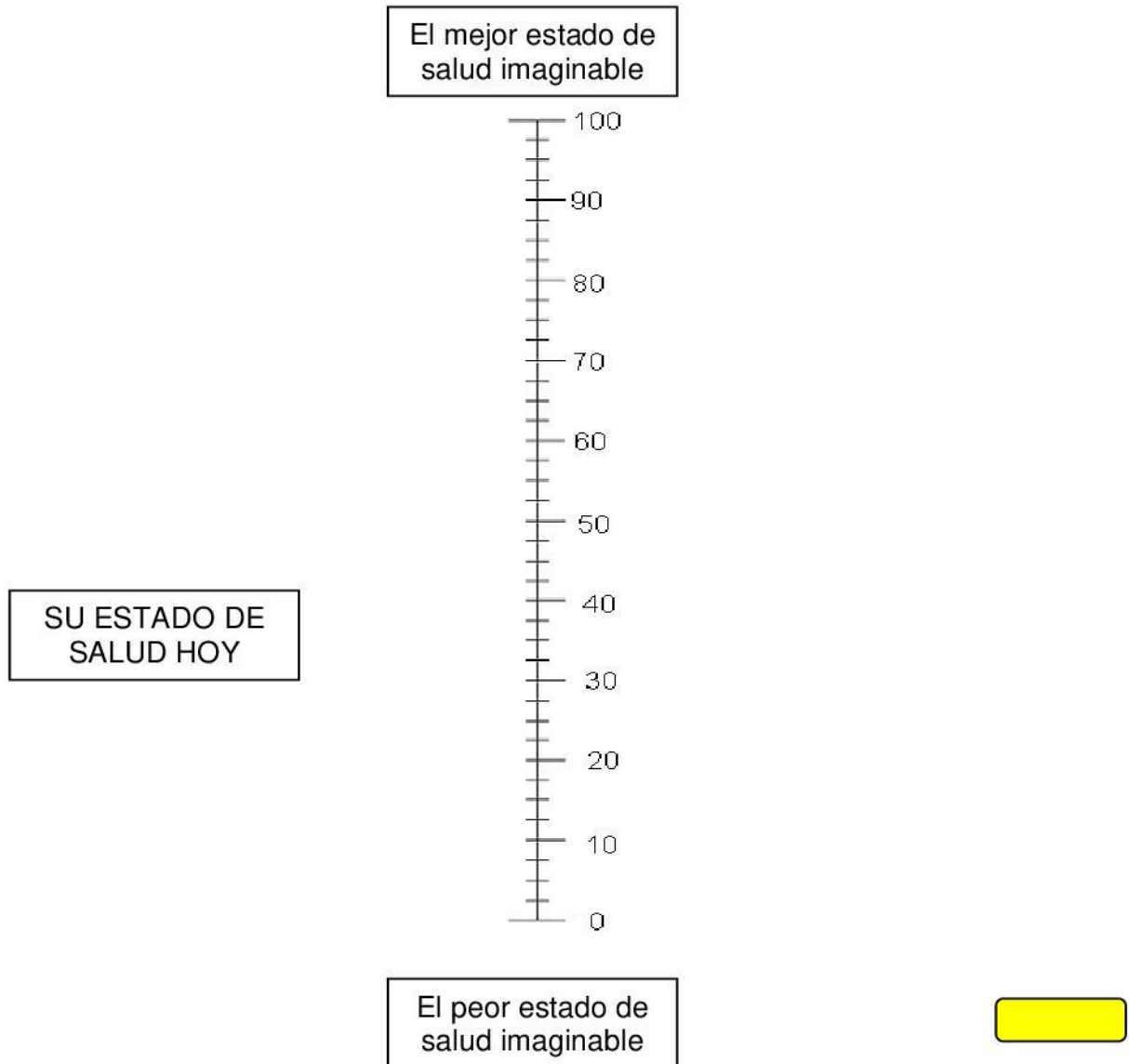
Sí (1) No (0) No pierdo orina gracias a la medicación (2)

(Pasar a la pregunta 68 en caso de que la respuesta sea negativa)

76. Para ayudar a la gente a describir lo bueno o malo que es su estado de salud hemos dibujado una escala parecida a un termómetro en la cual se marca con un 100 el mejor estado de salud que se pueda imaginar y con un 0 el peor estado de salud que se pueda imaginar.

Nos gustaría que nos indicara en esta escala, en su opinión, lo bueno o lo malo que es su estado de salud en el día de **hoy**.

Por favor, dibuje una línea desde el casillero donde dice "Su estado de salud hoy" hasta el punto del termómetro que en su opinión indique lo bueno o lo malo que es su estado de salud en el día de hoy.



USO DE RECURSOS HOSPITALARIOS

83. ¿Cuántas veces ha sido ingresado en el último año? _____

84. ¿Cuántas veces ha sido ingresado en los últimos 5 años? _____

85. ¿Si tuvieras que ser hospitalizada/o con cuántas personas podrías contar para que te cuidasen por las noches en el hospital? _____

INDICE DE LAWTON

Actividades instrumentales de la vida diaria

86. Capacidad de usar el teléfono:

- Utiliza el teléfono a iniciativa propia, busca y marca números sin ayuda.
- Marca unos cuantos números bien conocidos.
- Contesta el teléfono pero no marca.
- No usa el teléfono en absoluto.

87. Ir de compras:

- Realiza todas las compras necesarias con independencia.
- Compra con independencia pequeñas cosas.
- Necesita compañía para realizar cualquier compra.
- Completamente incapaz de ir de compras.

88. Preparación de comida:

- Planea, prepara y sirve las comidas adecuadamente con independencia.
- Prepara las comidas adecuadas si se le dan los ingredientes.
- Prepara las comidas pero no mantiene una dieta adecuada.
- Necesita que se le prepare y sirva la comida.

89. Cuidar la casa:

- Cuida la casa solo o con ayuda ocasional (pe. Trabajos duros).
- Realiza tareas domésticas ligeras como fregar platos, hacer cama.
- Realiza tareas domésticas ligeras pero no puede mantener un nivel de limpieza aceptable.
- Necesita ayuda con todas las tareas de la casa.
- No participa en ninguna tarea doméstica.

90. Lavado de ropa:

- Realiza completamente el lavado de ropa personal.
- Lava ropas pequeñas, aclara algunas prendas (medias, etc).
- Necesita que otro se ocupe del lavado.

91. Medios de transporte:

- Viaja con independencia en transportes públicos o conduce su propio coche.
- Capaz de organizar su transporte mediante taxis, pero no otros transportes públicos.
- Viaja en transportes públicos si le acompaña otra persona.
- Sólo viaja en taxi o automóvil con ayuda de otros.
- No viaja en absoluto.

92. Responsabilidad sobre la medicación:

- No precisa ayuda para tomar correctamente su medicación.
- Toma responsablemente la medicación si se le prepara con anticipación las dosis.
- No es capaz de responsabilizarse de su propia medicación.

93. Capacidad de utilizar dinero:

- No precisa ayuda para manejar el dinero ni llevar cuentas.
- Necesita ayuda para ir al banco, grandes gastos, etc.
- Incapaz de manejar dinero.

123. Señale para cada una de las actividades la frase que más se aproxime lo que le preocupa el hecho de que pueda caerse si hiciera esta actividad. Si Ud. No la realiza actualmente (ej., si alguien compra por usted), por favor conteste en relación a mostrar si usted estaría preocupado de caerse SI realizara dicha actividad.

	En absoluto (nada) preocupado	Algo preocupado	Bastante preocupado	Muy preocupado
Limpiar la casa (ej., barrer, pasar la aspiradora o limpiar el polvo)				
Vestirse o desvestirse				
Preparar comidas cada día				
Bañarse o ducharse				
Ir a la compra				
Sentarse o levantarse de una silla				
Subir o bajar escaleras				
Caminar por el barrio (o vecindad, fuera de casa)				
Coger algo alto (por encima de su cabeza) o en el suelo				
Ir a contestar el teléfono antes de que deje de sonar				
Caminar sobre una superficie resbaladiza (ej., mojada o con hielo)				
Visitar a un amigo o familiar				
Caminar en un lugar con mucha gente				
Caminar en una superficie irregular (ej., pavimento en mal estado)				
Subir y bajar una rampa				
Salir a un evento social (por ej, religioso, familiar o reunión social)				



CUESTIONARIO DE ADHERENCIA A DIETA MEDITERRÁNEA PREDIMED

78. ¿Usa usted el aceite de oliva como principal grasa para cocinar? (Sí = 1 punto)

79. ¿Cuánto aceite de oliva consume en total al día (incluyendo el usado para freír, comidas fuera de casa, ensaladas, etc.)? (4 o más cucharadas = 1 punto)

80. ¿Cuántas raciones de verdura u hortalizas consume al día? (las guarniciones o acompañamientos = ½ ración, 1 ración = 200g) (2 ó más (al menos una de ellas en ensalada o crudas = 1 punto)

81. ¿Cuántas piezas de fruta (incluyendo el zumo natural) consume al día? (3 ó más al día = 1 punto)

82. ¿Cuántas raciones de carnes rojas, hamburguesas, salchichas o embutidos consume al día? (ración = 100-150g) (Menos de 1 al día = 1 punto)

83. ¿Cuántas raciones de mantequilla, margarina o nata consume al día? (porción individual = 12g) (Menos de 1 al día = 1 punto)

84. ¿Cuántas bebidas carbonatadas y/o azucaradas (refrescos, colas, tónica, bitter) consume al día? (Menos de 1 al día = 1 punto)

85. ¿Bebe usted vino? ¿Cuánto consume a la semana? (7 o más vasos a la semana = 1 punto)

86. ¿Cuántas raciones de legumbres consume a la semana? (1 plato o ración de 150g) (3 ó más a la semana = 1 punto)

87. ¿Cuántas raciones de pescado – mariscos consume a la semana? (1 plato pieza o ración= 100-150g de pescado ó 4-5 piezas ó 200g de marisco) (3 ó más a la semana = 1 punto)

88. ¿Cuántas veces a la semana consume usted repostería comercial (no casera) como galletas, flanes, dulce o pasteles a la semana? (Menos de 2 a la semana = 1 punto)

89. ¿Cuántas veces consume frutos secos a la semana? (ración = 30g) (3 ó más a la semana = 1 punto)

90. ¿Consume usted preferentemente carne de pollo, pavo o conejo en lugar de ternera, cerdo, hamburguesa o salchichas? (carne de pollo: 1 pieza o ración de 100-150g) (Sí = 1 punto)

91. ¿Cuántas veces a la semana consume usted los vegetales cocinados, la pasta, arroz u otros platos aderezados con sofrito (salsa de tomate, ajo, cebolla o puerro elaborada con aceite de oliva a fuego lento)? (2 ó más a la semana = 1 punto)

Este es el final de los cuestionarios, **gracias por su participación.**



MINI NUTRITIONAL ASSESMENT

A) ¿Ha perdido el apetito? ¿Ha comido menos por falta de apetito, problemas digestivos, dificultades de masticación o deglución en los últimos 3 meses?

- 0 = ha comido mucho menos
- 1 = ha comido menos
- 2 = ha comido igual

B) Pérdida reciente de peso (<3 meses)

- 0 = pérdida de peso <3 kg
- 1 = no lo sabe
- 2 = pérdida de peso entre 1 y 3 kg
- 3 = no ha habido pérdida de peso

C) Movilidad

- 0 = de la cama al sillón
- 1 = autonomía en el interior
- 2 = sale del domicilio

D) Ha tenido una enfermedad aguda o situación de estrés psicológico en los últimos 3 meses?

- 0 = sí / 2 = no

E) Problemas neuropsicológicos

- 0 = demencia o depresión grave
- 1 = demencia moderada
- 2 = sin problemas psicológicos

F) Índice de masa corporal (IMC) = peso en kg / (talla en m)²

- 0 = IMC < 19
- 1 = 19 ≤ IMC < 21
- 2 = 21 ≤ IMC < 23
- 3 = IMC ≥ 23

Evaluación del cribaje (subtotal máx. 14 puntos)

12-14 puntos: estado nutricional normal

8-11 puntos: riesgo de malnutrición

0-7 puntos: malnutrición

Para una evaluación más detallada, continúe con las preguntas G-R

G) El paciente vive independiente en su domicilio? 1 = sí 0 = no

H) Toma más de 3 medicamentos al día? 0 = sí 1 = no

K) Úlceras o lesiones cutáneas? 0 = sí 1 = no

J) Cuántas comidas completas toma al día?

- 0 = 1 comida / 1 = 2 comidas / 2 = 3 comidas

K) Consume el paciente

Código Participante:

- productos lácteos al menos una vez al día? Sí/ no
- huevos o legumbres 1 o 2 veces a la semana? Sí /no
- carne, pescado o aves, diariamente? Sí /no

0.0 = 0 o 1 síes/ 0.5 = 2 síes/ 1.0 = 3 síes.

L) Consume frutas o verduras al menos 2 veces al día?

0 = no/ 1 = sí

M) Cuántos vasos de agua u otros líquidos toma al día? (agua, zumo, café, té, leche, vino, cerveza...)

0.0 = menos de 3 vasos/ 0.5 = de 3 a 5 vasos /1.0 = más de 5 vasos .

N) Forma de alimentarse

0 = necesita ayuda / 1 = se alimenta solo con dificultad / 2 = se alimenta solo sin dificultad

Ñ) ¿considera el paciente que está bien nutrido?

0 = malnutrición grave /1 = no lo sabe o malnutrición moderada /2 = sin problemas de nutrición.

O) En comparación con las personas de su edad, ¿cómo encuentra el paciente su estado de salud?

0.0 = peor 0.5 = no lo sabe 1.0 = igual 2.0 = mejor.

P) Circunferencia braquial (CB en cm)

0.0 = CB < 21 /0.5 = 21 ≤ CB ≤ 22/ 1.0 = CB > 22

Q) Circunferencia de la pantorrilla (CP en cm)

0 = CP < 31 /1 = CP ≥ 31

Evaluación; (máx. 16 puntos).

Cribaje ;

Evaluación global (máx. 30 puntos);

De 24 a 30 puntos; estado nutricional normal

De 17 a 23.5 puntos; riesgo de malnutrición

Menos de 17 puntos; malnutrición

CUESTIONARIO SOBRE EXPOSICIÓN SOLAR

Fecha:

1) Lugar de residencia _____

2) Durante la última semana ¿Cuántas horas a la semana de media ha estado en el exterior durante las siguientes horas del día?

	No he estado en el exterior				
	0-1 horas	1-2 horas	2-3 horas	3-4 horas	
7 a 11 am	(1) <input type="checkbox"/>	(2) <input type="checkbox"/>	(3) <input type="checkbox"/>	(4) <input type="checkbox"/>	(5) <input type="checkbox"/>
11 am a 3 pm	(1) <input type="checkbox"/>	(2) <input type="checkbox"/>	(3) <input type="checkbox"/>	(4) <input type="checkbox"/>	(5) <input type="checkbox"/>
3 pm a 7 pm	(1) <input type="checkbox"/>	(2) <input type="checkbox"/>	(3) <input type="checkbox"/>	(4) <input type="checkbox"/>	(5) <input type="checkbox"/>

3) De los 7 días de la semana, cuántos fueron soleados _____ días

4) Utilizó protección solar Si No Factor _____

5) Durante las horas en el exterior ¿Cuánto tiempo estuvo a la sombra? _____ horas

6) En este tiempo en el exterior ¿Cuánto tiempo estuvo en el agua? _____ horas

7) ¿Qué porcentaje de tiempo llevó:

- Pantalón largo _____

- Manga larga _____

- Gorro _____

- Guantes _____

7) Tipo de piel según la escala de Fitzpatrick

Tipo I Tipo II Tipo III Tipo IV Tipo V Tipo IV

CUESTIONARIO DE FRECUENCIA DE CONSUMO DE ALIMENTOS

Para cada alimento, marque el recuadro que indica la frecuencia de consumo por término medio durante el año pasado. Se trata de tener en cuenta también la variación verano/invierno. Por ejemplo, si toma helados 4 veces/semana sólo durante los 3 meses de verano, el uso promedio al año es 1/ semana		Consumo medio durante el año pasado											
		Nunca o casi nunca	Al mes	A la semana			Al día						
				1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+		
I. LÁCTEOS	1. Leche entera (1 taza, 200cc)												
	2. Leche semidesnatada (1 taza, 200cc)												
	3. Leche descremada (1 taza, 200cc)												
	4. Leche condensada (1 cucharada)												
	5. Nata o crema de leche (½ taza)												
	6. Batidos de leche (1 vaso, 200cc)												
	7. Yogurt entero (1, 125gr)												
	8. Yogurt descremado (1, 125gr)												
	9. Petit suisse (1, 55gr)												
	10. Requesón o cuajada (1/2 taza)												
	11. Queso en porciones o cremoso (1, porción 25gr)												
	12. Otros quesos: curados, semicurados (Manchego, Bola, Emmenthal...) (50gr)												
	13. Queso blanco o fresco (Burgos, cabra...) (50gr)												
	14. Natillas, flan, pudding (1, 130 cc)												
	15. Helados (1 cucurucho)												

Un plato o ración de 100-150 gr, excepto cuando se indique otra cosa.		Nunca o casi nunca	Al mes	A la semana			Al día						
				1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+		
II. HUEVO, CARNES Y PSCADOS	16. Huevo de gallina (uno)												
	17. Pollo o pavo CON piel (1 ración o pieza)												
	18. Pollo o pavo con SIN piel (1 ración o pieza)												
	19. Carne de ternera o vaca (1 ración)												
	20. Carne de cerdo (1 ración)												
	21. Carne de cordero (1 ración)												
	22. Conejo o liebre (1 ración)												
	23. Hígado (ternera, cerdo, pollo) (1 ración)												
	24. Otras vísceras (sesos, corazón mollejas) (1 ración)												
	25. Jamón serrano o paletilla (1 loncha o 30gr.)												
	26. Jamón de York o Jamón cocido (1 loncha o 30gr.)												
	27. Carnes procesadas (Salchichón, chorizo, morcilla, mortadela, salchichas, butifarra, sobrasada, 50gr.)												
	28. Patés o foi-gras (25gr.)												
	29. Hamburguesa (una, 50gr.), albóndigas (3uds.)												

Código Participante:

30. Tocino, Bacon, panceta (50gr.)										
31. Pescado blanco: mero, lenguado, besugo, merluza, pescadilla... (1 plato, pieza, ración)										
32. Pescado azul: sardinas, atún, bonito, caballa, salmón (1 plato, pieza o ración 130gr.)										
33. Pescados salados o salazones (1 ración, 200gr.)										
34. Ostras, almejas, mejillones, y similares (6uds.)										
35. Calamares, pulpo, chipirones, jibia (sepia) (1 ración, 200gr.)										
36. Crustáceos: gambas, langostinos, cigalas, etc. (4-5 piezas, 200gr.)										
37. Pescados y mariscos enlatados al natural (sardinas, anchoas, bonito, atún) (1 lata pequeña o media lata normal, 50gr.)										
38. Pescados y mariscos en aceite (sardinas, anchoas, bonito, atún) (1 lata pequeña o media lata normal, 50gr.)										

Un plato o ración de 200 gr, excepto cuando se indique.	Nunca o casi nunca	A la semana			Al día				
		Al mes 1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+
III. VERDURAS Y HORTALIZAS	39. Acelgas o espinacas								
	40. Col, coliflor o brócoles								
	41. Lechuga, endivias, escarola (100gr.)								
	42. Tomate crudo (1, 150gr.)								
	43. Zanahoria, calabaza(100gr.)								
	44. Judías verdes								
	45. Berenjenas, calabacines y pepinos								
	46. Pimientos (150gr)								
	47. Espárragos								
	48. Gazpacho andaluz (1vaso, 200gr)								
	49. Otras verduras (alcachofa, puerro, cardo, apio)								
	50. Cebolla (media unidad, 50gr)								
	51. Ajo (1 diente)								
	52. Perejil, tomillo, laurel, orégano, etc. (una pizca)								
	53. Patatas fritas comerciales (1 bolsa, 50gr)								
	54. Patatas fritas caseras (1 ración, 150gr.)								
55. Patatas asadas o cocidas									
56. Setas, níscalos o champiñones									

Código Participante:

Una pieza o ración		Nunca o casi nunca	Al mes	A la semana			Al día						
			1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+			
IV. FRUTAS	57. Naranja (una), pomelo (una), o mandarinas (dos)												
	58. Plátano (uno)												
	59. Manzana o pera (una)												
	60. Fresas/fresones (6 unidades, 1 plato de postre)												
	61. Cerezas, picotas, ciruelas (1 plato de postre)												
	62. Melocotón, albaricoque, nectarina (una)												
	63. Sandía (1 tajada, 200-250gr.)												
	64. Melón (1 tajada, 200-250gr.)												
	65. Kiwi (1 Ud. 100gr)												
	66. Uvas (un racimo, 1 plato de postre)												
	67. Aceitunas (10 unidades)												
	68. Frutas en almíbar o en su jugo (2 unidades)												
	69. Dátiles, higos secos, uvas pasas, ciruelas-pasas (150gr.)												
	70. Almendras, cacahuetes, avellanas, pistachos y piñones (30gr.)												
71. Nueces (30gr.)													
72. ¿Cuántos días a la semana toma fruta como postre?													

Un plato o ración (150gr.)		Nunca o casi nunca	Al mes	A la semana			Al día						
			1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+			
V. LEGUMBRES Y CEREALES	73. Lentejas (1 plato (150gr. Cocidas)												
	74. Alubias (pintas, blancas o negras) (1 plato, 150gr cocidas)												
	75. Garbanzos (1 plato, 150gr. cocidas)												
	76. Guisantes, habas (1 plato, 150gr cocidas)												
	77. Pan blanco, pan de molde (3 rodajas, 75gr.)												
	78. Pan negro o integral (3 rodajas, 75gr.)												
	79. Cereales de desayuno (30gr.)												
	80. Cereales integrales: muesli, copos de avena, all-bran (30gr.)												
	81. Arroz blanco (60gr. en crudo)												
	82. Pasta: fideos, macarrones, espaguetis, otras, 60gr. En crudo)												
	83. Pizza (1 ración, 200gr.)												

Código Participante:

Una cucharada o porción individual. Para freír, untar, mojar el pan, para aliñar, o para ensaladas, utiliza en total:		Nunca o casi nunca	Al mes	A la semana			Al día			
			1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+
VI. ACEITES Y GRASAS	84. Aceite de oliva (una cucharada sopera)									
	85. Aceite de oliva virgen extra virgen (una cucharada sopera)									
	86. Aceite de oliva de orujo (una cucharada sopera)									
	87. Aceite de maíz (una cucharada sopera)									
	88. Aceite de girasol (una cucharada sopera)									
	89. Aceite de soja (una cucharada sopera)									
	90. Mezcla de los anteriores (una cucharada sopera)									
	91. Margarina porción individual, 12gr.)									
	92. Mantequilla (porción individual, 12gr.)									
	93. Manteca de cerdo (10gr.)									
94. Marca de aceite de oliva que usa habitualmente _____										

Consumo medio durante el año pasado		Nunca o casi nunca	Al mes	A la semana			Al día			
			1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+
VII. BOLLERÍA Y PASTELERÍA	95. Galletas de tipo María (4-6 unidades 50gr.)									
	96. Galletas integrales o de fibra (4-6 unidades, 50gr.)									
	97. Galletas de chocolate (4 unidades, 50gr.)									
	98. Repostería y bizcochos hechos en casa (50gr.)									
	99. Croissant, ensaimadas, pastas de té u otra bollería industrial o comercial. (uno, 50gr.)									
	100. Donuts (uno)									
	101. Magdalenas (1-2 unidades)									
	102. Pasteles (1, 50gr.)									
	103. Churros porras y similares (1 ración, 100g)									
	104. Chocolates y bombones (30gr.)									
	105. Cacao en polvo- cacao soluble (1 cucharada de postre)									
	106. Turrón (1/8 de barra, 40gr.)									
	107. Mantecados, mazapán (90gr.)									

Código Participante:

136. Licores, anís, anisetes (1 copa, 50cc)										
137. Destilados: whisky, vodka, ginebra, coñac (1copa, 50cc)										
138. ¿A qué edad empezó a beber alcohol (vino, cerveza y licores), incluyendo el que toma con las comidas con regularidad (más de siete “bebidas” a la semana)?										
139. ¿Cuántos años ha bebido alcohol con regularidad (más de siete “bebidas” a la semana)?										

Si durante el año tomó vitaminas o minerales (incluyendo calcio) o productos dietéticos especiales (salvado, aceite de onagra, leche con ácidos grasos omega-3, flavonoides, etc.) por favor indique la marca y la frecuencia con la que las tomó:

Marcas de los suplementos de vitaminas o minerales o de los productos dietéticos	Nunca o casi nunca	Al mes	A la semana			Al día				
		1-3	1	2-4	5-6	1	2-3	4-6	6+	
140.1										
140.2										
140.3										

ANEXO VIII



HOJA DE REGISTRO BATERÍA DE PRUEBAS FÍSICAS EXERNET 3.0

CÓDIGO

--	--	--	--	--

NOMBRE Y APELLIDOS _____

FECHA DE LA ENCUESTA / /

INVESTIGADOR RESPONSABLE _____

DOCUMENTACIÓN	SI	NO		
FIRMA CONSENTIMIENTO				
RELLENA CUESTIONARIO				
MUESTRAS DE SANGRE				
pQCT			Prótesis metálica	marcapasos
TANITA				

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAIDAS					
¿Cuántas caídas ha sufrido en el último año? ____ ¿Cuántas de las caídas ha precisado atención sanitaria? _____					
Tendrá un riesgo elevado con uno o más de los siguientes:					
1	2 o más caídas en el último año o 1 caída en el último año que haya precisado de atención sanitaria (1 punto)	2	Time Get up and Go (test de levantarse y caminar) > 20 seg (1 punto)	3	Velocidad de la marcha (6 metros): < 0,8 m/s (1 punto)
<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
					Demencia (1 punto)
					Puntuación total:

	TOMA 1	TOMA 2	TOMA 3	MEDIA
TALLA (cm)				
PESO (kg)				

PERÍMETROS (cm)	TOMA 1	TOMA 2	TOMA 3	CON ROPA	SIN ROPA	MEDIA
CINTURA						
CADERA						
BRAQUIAL						
PANTORRILLA						

BATERÍA DE TEST DE CONDICIÓN FÍSICA

EQUILIBRIO 1ª parte	EVALUACIÓN		+ 10 s. pasa a la siguiente prueba de equilibrio	
PIES JUNTOS	Tiempo (s.)			
SEMITÁNDEM				
TANDEM				
EQUILIBRIO 2ª parte	1ª EVALUACIÓN		2ª EVALUACIÓN	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
Equilibrio sobre una pierna (s.)				

FUERZA Y PRESIÓN MANUAL (Posición: de pie)	1ª EVALUACIÓN		2ª EVALUACIÓN	
	Derecha	Izquierda	Derecha	Izquierda
Dinamometría manual (kg)				

FUERZA MIEMBRO INFERIOR	EVALUACIÓN
5 repeticiones (s.)	
Sentarse y levantarse 30 s. (rep.)	

FUERZA MIEMBRO SUPERIOR	Rodear brazo dominante	
	Derecho	Izquierdo
Flexiones de codo con mancuernas (30 s.)		

FLEXIBILIDAD DE PIERNAS	Derecha		Izquierda	
	+	-	+	-
Inclinación sobre la pierna (cm)				
FLEXIBILIDAD DE BRAZOS	Derecho		Izquierdo	
	+	-	+	-
Rascarse la espalda (cm)				

VELOCIDAD DE LA MARCHA	1ª EVALUACIÓN (Fried 4,5m)	2ª EVALUACIÓN (Fried 4,5m)	1ª EVALUACIÓN (Riesgo caídas 6m)
Con 2m de lanzada (s.)			
VELOCIDAD DE LA MARCHA	1ª EVALUACIÓN (SPPB 4m)		
Sin salida lanzada (s.)			

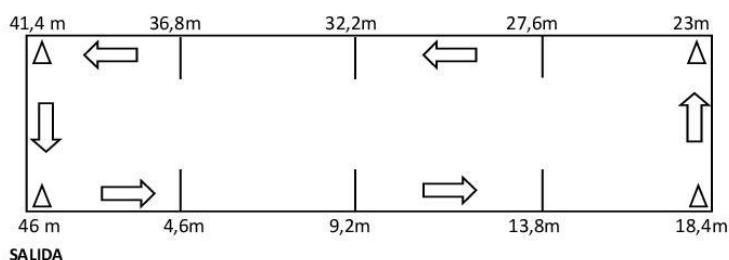
AGILIDAD	1ª EVALUACIÓN (2,45m)	2ª EVALUACIÓN (2,45m)	3ª EVALUACIÓN (3m)
Rodear un cono y sentarse (s)			

VELOCIDAD	1ª EVALUACIÓN	2ª EVALUACIÓN
30m (s)		

RESISTENCIA	VUeltas	METROS
6 min		

Incidencias:

Firma:



CONTROL DE EXTRACCIONES

NOMBRE: _____

	SI	NO
1 ¿Ha realizado ejercicio intenso ayer?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2 ¿Ha seguido su dieta normal?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3 ¿Ha tenido alguna infección la última semana?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4 ¿Ha tenido alguna reacción alérgica (rojeces, irritación de los ojos, congestión nasal) la última semana?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5 ¿Ha tomado medicamentos desde ayer por la noche en el periodo de ayuno?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Código Participante:



HOJA DE REGISTRO BATERÍA DE PRUEBAS ANTROPOMÉTRICAS EXERNET 3.0

NOMBRE Y APELLIDOS: _____

FECHA: _____

DOCUMENTACIÓN	SI	NO		
FIRMA CONSENTIMIENTO				
RELLENA CUESTIONARIO				
MUESTRAS DE SANGRE				
pQCT			Prótesis metálica	marcapasos
TANITA				

	TOMA 1	TOMA 2	TOMA 3	MEDIA
TALLA (cm)				
PESO (kg)				

PERÍMETROS (cm)	TOMA 1	TOMA 2	TOMA 3	CON ROPA	SIN ROPA	MEDIA
CINTURA						
CADERA						
BRAQUIAL						
PANTORRILLA						

EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CAIDAS				
¿Cuántas caídas ha sufrido en el último año? ____ ¿Cuántas de las caídas ha precisado atención sanitaria? ____				
Tendrá un riesgo elevado con uno o más de los siguientes:				
1) 2 o más caídas en el último año o 1 caída en el último año que haya precisado de atención sanitaria <input type="checkbox"/> (1 punto)	2) Time Get up and Go (test de levantarse y caminar) > 20 seg. <input type="checkbox"/> (1 punto)	3) Velocidad de la marcha (6 metros) < 0,8 m/s <input type="checkbox"/> (1 punto)	4) Demencia <input type="checkbox"/> (1 punto)	
				Puntuación total:

ANEXO IX

Estudio EXERNET 3.0

Nombre: Andreu, Carmen
Edad: 81 años

Lugar de evaluación: Huesca
Fecha de primera evaluación: 11/12/2019
Fecha de segunda evaluación: 19/06/2020

EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA

La condición física se define como la habilidad que tiene una persona para realizar actividades de la vida diaria con vigor. Un buen nivel de condición física se asocia con un menor riesgo de enfermedades crónicas y muerte prematura. Sus principales componentes son: capacidad cardiorrespiratoria, capacidad músculo-esquelética y capacidad motora. En personas mayores es importante mantener un nivel adecuado de condición física para asegurarse la independencia al realizar las actividades de la vida cotidiana.

Los valores que se obtuvieron tras sus evaluaciones fueron los siguientes:

		Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
Equilibrio (segundos)	1ª eva: 3		X			
	2ª eva: 5			X		
Fuerza piernas (repeticiones)	1ª eva: 12			X		
	2ª eva: 15				X	
Fuerza brazos Dcha / Izq (repeticiones)	1ª eva: 15 / 17			X		
	2ª eva: 16 / 16			X		
Flexibilidad piernas Dcha / Izq (centímetros)	1ª eva: -8 / -13		X			
	2ª eva: -11 / -10		X			
Flexibilidad brazos Dcha / Izq (centímetros)	1ª eva: -18 / -22		X			
	2ª eva: -19 / -19		X			
Agilidad (segundos)	1ª eva: 8		X			
	2ª eva: 7			X		
Velocidad (segundos)	1ª eva: 4			X		
	2ª eva: 22			X		
Resistencia (metros)	1ª eva: 478			X		
	2ª eva:	no se realizó				

Hay algunos componentes de su condición física que se podrían mejorar. A continuación exponemos unas pautas que podrían ayudarle a mejorar su condición física. Para mejorar su flexibilidad, conviene realizar estiramientos musculares con regularidad.

EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

La composición corporal está relacionada con distintos parámetros de salud. Tener un excesivo perímetro de cintura o grasa corporal aumenta el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares.

Los valores que se obtuvieron tras su evaluación fueron los siguientes:

Talla	1ª eva: 141 cm 2ª eva: 141 cm	Perímetro de cintura	1ª eva: 85 cm 2ª eva: cm
Peso	1ª eva: 62 kg 2ª eva: kg	Porcentaje de grasa	1ª eva: 42% 2ª eva: %

Los valores de composición corporal son correctos.

EVALUACIÓN DE LA ADHERENCIA A LA DIETA MEDITERRÁNEA

Aunque no se puede entender como una valoración de la calidad global de la dieta, el seguir una alimentación similar a la definida por la dieta mediterránea se ha asociado con una mejora de distintos parámetros de salud.

Según sus respuestas al cuestionario PREDIMED, su adherencia a la dieta mediterránea en el periodo de la segunda evaluación es de puntos sobre un total de 14, mientras que en la primera evaluación obtuvo 12 puntos.

La dieta mediterránea utiliza el aceite de oliva como principal grasa para cocinar. En la dieta mediterránea se usan al menos cuatro cucharadas de aceite de oliva cada día para cada persona (incluyendo el utilizado para ensaladas, guisos...) El consumo de verduras debería ser de dos veces al día, al menos una de ellas en ensalada. Se deberían tomar al menos tres piezas de fruta al día. El consumo de carnes rojas no debería ser superior a una ración diaria. Podría reducir el consumo de mantequilla y/o nata. El consumo de bebidas azucaradas debería reducirse. El concepto de dieta mediterránea incluye el consumo de 7 vasos de vino a la semana. Se debería consumir legumbres al menos tres veces por semana. El consumo de pescado o marisco se recomienda como mínimo tres veces a la semana. Convendría reducir el consumo de galletas y/o repostería industrial.

EVALUACIÓN DE LA FUNCIÓN COGNITIVA

Según los resultados obtenidos en el cuestionario de evaluación de la función cognitiva, se aprecia la posibilidad de padecer un DETERIORO COGNITIVO LEVE. Se recomienda que informe a su médico de atención primaria de estos resultados.



ANEXO X

Red de Investigación en ejercicio físico y salud para poblaciones especiales (EXERNET)

ESTUDIO MULTI-CÉNTRICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA EN PERSONAS MAYORES

PROTOCOLO PARA LAS DETERMINACIONES ANTROPOMÉTRICAS 3.0

Con el fin de estandarizar al máximo el proceso, es importante recordar que antes de llevar a cabo las mediciones que impliquen el uso del analizador de composición corporal TANITA BC-418 (cuyas estimaciones y cálculos están basados en la determinación del contenido de agua corporal del sujeto experimental) es OBLIGATORIO:

1. Que el sujeto experimental haya realizado la última ingesta sólida al menos **2 horas** antes de llevar a cabo el test.
2. Que haya ido al servicio (orinar) previamente a la realización de los test (en las últimas 2 horas).
3. Que no haya realizado ejercicio extenuante el día anterior a la prueba.

1.- TALLA (cm) (Distancia entre el vértex y las plantas de los pies).

El participante permanecerá de pie, descalzo, en posición anatómica con los talones juntos, glúteos, espalda y región occipital pegados a la barra pero sin desplazar el tallímetro.

La medida se tomará después de una inspiración profunda manteniendo la cabeza en el plano de Frankfort¹.

2.- TANITA:

Una vez encendida la TANITA, se deben introducir los datos correspondientes:

- Peso de la ropa: **600g** (correspondiente al peso de: ropa interior, pantalón de chándal y camiseta de manga corta).
- Sexo y constitución: hombre/ mujer **estándar**.
- Edad (años).
- Talla (cm).

Antes de que se suba el participante se limpiarán las superficies metálicas de la TANITA con un pañuelo humedecido con alcohol. La prueba se realizará siempre con

¹ Plano de Frankfort: línea imaginaria que pasa por el borde inferior de la órbita ocular y el punto más alto del conducto auditivo externo, que deben estar paralelos al suelo.

ropa (la indicada anteriormente). Previamente se le pedirá al participante que se quite todos los complementos metálicos que lleve (anillos, pulseras, etc.).

Los datos relativos a la masa corporal y la composición corporal serán tomados de los resultados que ofrece la TANITA.

3.- ALTURA DE LA RODILLA (cm)

El participante permanecerá en posición decúbito supino en una camilla (si la hay) y sino permanecerá sentado en la silla colocando una pierna encima del muslo del evaluador (que estará con una rodilla en el suelo).

El eje del antropómetro debe estar paralelo al eje de la tibia y cruzar el astrágalo justo por detrás de la cabeza del peroné. Uno de los extremos del segmómetro se coloca debajo del talón del pie y el otro sobre la superficie anterior del muslo, por encima de los cóndilos del fémur en posición proximal a la rótula. [Ejercer presión para comprimir los tejidos].

La medición se realiza en la rodilla derecha, salvo que la persona tenga prótesis o algo que pueda alterar los datos de esa pierna; en este caso se toma la medida en la pierna izquierda y se apunta en la hoja de registro.

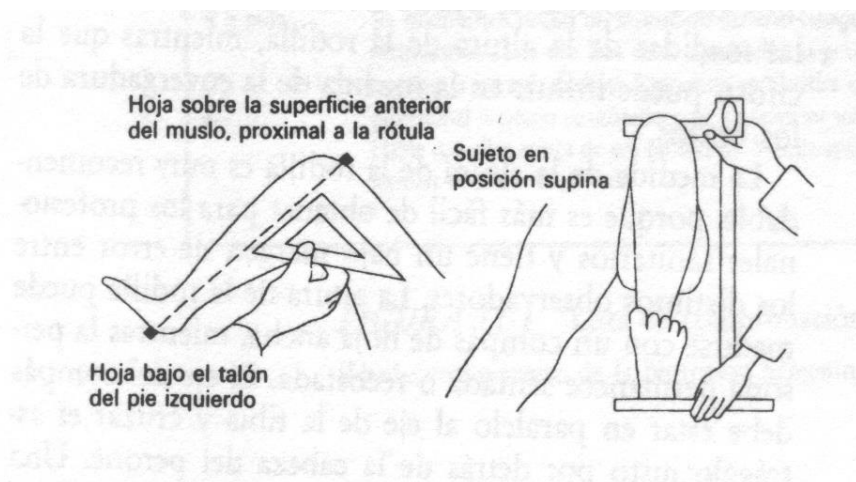


FIGURA 11-2 Medida de la altura de la rodilla.

(Usado con permiso de Gibson RA: *Principles of nutritional assessment*, Nueva York, 1990, Oxford University Press.)

Las ecuaciones para realizar una estimación de la estatura son las siguientes:

Hombre Blanco: Estatura = $59,01 + (2,08 \times \text{Altura de la rodilla [cm]})$

Hombre Negro: Estatura = $95,79 + (1,37 \times \text{Altura de la rodilla [cm]})$

Mujer Blanca: Estatura = $75,00 + (1,91 \times \text{Altura de la rodilla [cm]}) - (0,17 \times \text{edad [años]})$

Mujer Negra: Estatura = $58,72 + (1,96 \times \text{Altura de la rodilla [cm]})$

4.- PERÍMETRO DE CINTURA (cm)

El participante se colocará en posición antropométrica.

La medida se realizará a nivel del punto más estrecho entre la última costilla y la cresta ilíaca. Si la zona más estrecha no es aparente se realizará en el punto medio entre estas dos marcas.

Se pedirá al sujeto experimental que se levante la camiseta y se desabroche los botones del pantalón (si procede) para realizar la prueba.

5.- PERÍMETRO DE CADERA (cm)

El participante se colocará en posición antropométrica.

La medida (se efectuará con ropa) se tomará en el nivel de mayor circunferencia glútea.

6.- ENVERGADURA(cm)

Se medirá la máxima distancia tomada entre los dedos medios de ambas manos con el individuo de pie, de espalda al plano posterior apoyado completamente en el mismo (con pies juntos), y con los brazos hiperextendidos en el plano horizontal.

El participante se coloca con las palmas de las manos hacia fuera, al menos que esté más cómodo con las palmas al revés (hacia adentro).

A excepción de la bioimpedancia, todas las determinaciones se llevarán a cabo dos veces, siendo la media de ambas el valor correspondiente a la prueba. En el caso de que exista una importante discrepancia entre el primer y segundo valor (>0,25 cm en altura y >1 cm en perímetros), el evaluador deberá realizar una tercera determinación. Aquella medida que se considere incorrecta de entre las tres realizadas será descartada y por tanto el valor de la prueba será la media de las otras dos medidas re



ANEXO XI

Red de Investigación en ejercicio físico y salud para poblaciones especiales (EXERNET)

ESTUDIO MULTI-CÉNTRICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA CONDICIÓN FÍSICA EN PERSONAS MAYORES

BATERÍA DE PRUEBAS DE CONDICIÓN FÍSICA EXERNET 3.0

1.- TEST DE EQUILIBRIO ESTÁTICO



PROCEDIMIENTO:

- Colocarse en bipedestación (de pie) con las manos en las caderas.
- Permanecer apoyado sobre la planta de un pie. El otro pie permanecerá apoyado sobre el tobillo del pie sobre el que se sustenta.
- El evaluador realiza una demostración previa.
- Antes de efectuar el test, se dejará tiempo de prueba.
- Se efectuarán dos intentos con cada pie.

RESULTADO:

Tiempo transcurrido desde la señal de inicio hasta el momento en el que el participante apoya el pie en el suelo o pierde el equilibrio. Se tendrá en cuenta el mejor intento de los cuatro. Tiempo máximo: 60 segundos. Si el participante alcanza los 60 segundos en alguna de las repeticiones, no es necesario que realice más intentos.

2.- TEST DE FUERZA DE AGARRE (DINAMOMETRÍA MANUAL)



PROCEDIMIENTO:

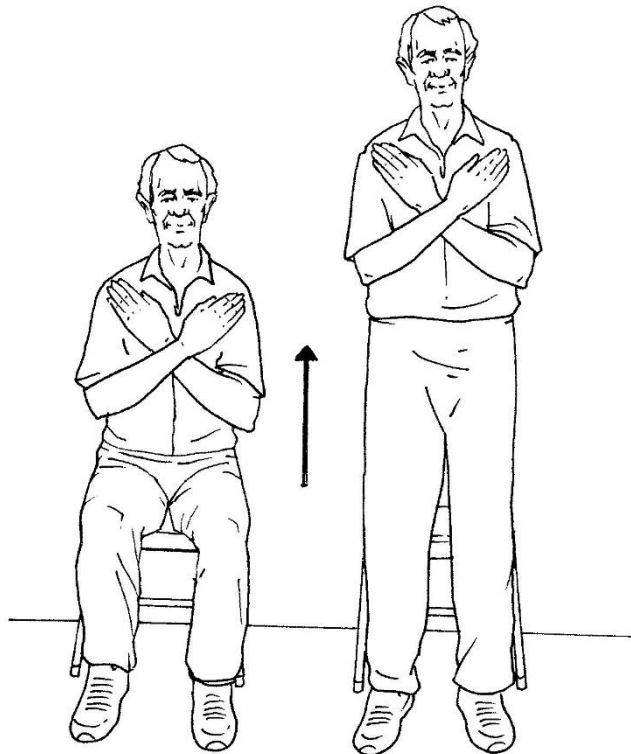
- Colocarse en bipedestación con el brazo que sostiene el dinamómetro extendido.
- El brazo se mantiene ligeramente separado del cuerpo y la pantalla del aparato mirando al examinador.
- La empuñadura del aparato se ajustará a la mano del sujeto, de forma que la segunda falange del dedo corazón quede aproximadamente en ángulo recto.
- El evaluador realiza una demostración previa.
- Antes de efectuar el test, se dejará tiempo de prueba para que el participante se familiarice con el dinamómetro.
- No se permiten movimientos favorecedores del esfuerzo (como dar una sacudida con el brazo o con el cuerpo).
- El sujeto hará presión firme y progresiva, para acabar apretando la empuñadura del dinamómetro con todas sus fuerzas.
- Se efectuarán dos intentos con cada mano de forma alternativa dejando un minuto de descanso entre tomas de la misma mano.

RESULTADO:

Se registra en kilogramos el mejor intento de cada mano.

3.- TEST DE FUERZA PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES

(Test de levantarse y sentarse en la silla)



PROCEDIMIENTO:

- Sentarse en mitad de una silla tamaño estándar (43-44 cm de altura).
- Mantener los brazos cruzados y pegados al pecho.
- A la señal de “ya”, habrá que levantarse y volverse a sentar tantas veces como sea posible.
- El evaluador realiza una demostración previa.
- Antes de efectuar el test, se dejará tiempo de prueba.
- Para que una repetición se considere válida, el sujeto debe levantarse por completo y sentarse.
- No se permiten balanceos durante la realización de la prueba.

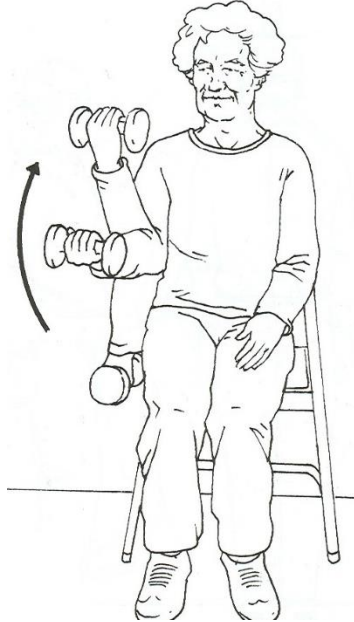
RESULTADO:

Número máximo de repeticiones realizadas en 30 segundos.

Si cuando el tiempo finaliza el participante ha realizado más de la mitad del movimiento (está en la fase de bajada para volver a sentarse), ésta se considerará como una repetición.

4.- TEST DE FUERZA PARA LAS EXTREMIDADES SUPERIORES

(Test de flexión y extensión de brazo con mancuernas)



PROCEDIMIENTO:

- Sentarse en una silla tamaño estándar (43-44 cm de altura).
- Agarrar la mancuerna (2'5 kg mujeres – 4 kg hombres) con la mano que se vaya a realizar el test.
- A la señal de "ya", habrá que flexionar y extender el brazo tantas veces como sea posible.
- Se comienza la prueba con agarre tipo martillo o con el brazo como "para dar la mano", durante la flexión se debe girar la palma de la mano hacia arriba, y al finalizar la extensión el brazo debe regresar a la posición de "para dar la mano".
- Se efectuará un intento con cada brazo.
- El evaluador realiza una demostración previa.
- Antes de efectuar el test, se dejará tiempo de prueba.

Y lo que hablamos es que, si no hace la rotación, se lo recordáramos pero sí le contaríamos las repeticiones que hiciera sin rotación.

RESULTADO:

Número máximo de repeticiones realizadas en 30 segundos.

Si cuando el tiempo finaliza el participante ha realizado más de la mitad del movimiento (está en la fase de extensión de codo), ésta se considerará como una repetición.

5.-TEST DE FLEXIBILIDAD PARA LAS EXTREMIDADES INFERIORES



PROCEDIMIENTO:

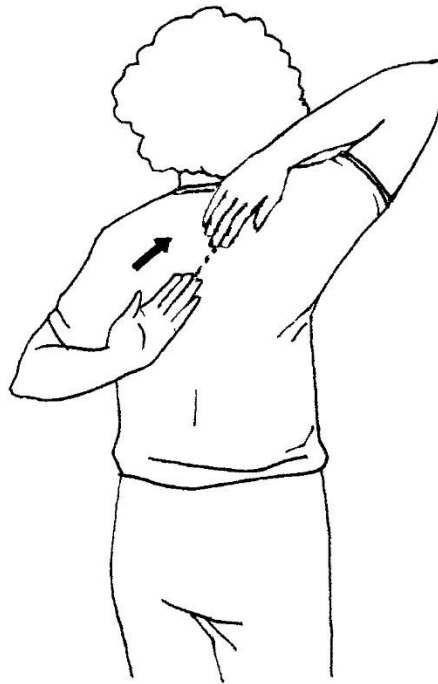
- Sentarse en el borde de una silla tamaño estándar (43-44 cm).
- Una pierna permanece flexionada con la planta del pie apoyada en el suelo. La otra está estirada lo máximo posible siguiendo la línea de la cadera, con el talón en contacto con el suelo y el pie en flexión de 90°.
- La espalda permanecerá recta, con la cabeza en línea con el tronco.
- Las manos deben estar colocadas una encima de otra, de manera que los dedos más largos queden superpuestos.
- Intentar alcanzar poco a poco la punta del pie con las manos, mientras se expulsa el aire.
- Se realizarán dos intentos (uno con cada pierna).
- El evaluador realiza una demostración previa.
- Antes de efectuar el test, se dejará tiempo de prueba.
- Se debe prestar especial atención a que el sujeto no flexione la rodilla y a que los dedos de las manos estén a la misma altura.

RESULTADO:

La máxima distancia alcanzada (cm +/-) y mantenida durante 2 segundos.

La punta del pie se considerará como 0. Si la persona no llega a tocar con los dedos la punta del pie, los cm que disten hasta ésta se anotarán como un valor negativo (-), mientras que si sobrepasa, los cm se anotarán como un valor positivo (+).

6.- TEST DE FLEXIBILIDAD PARA LAS EXTREMIDADES SUPERIORES



PROCEDIMIENTO:

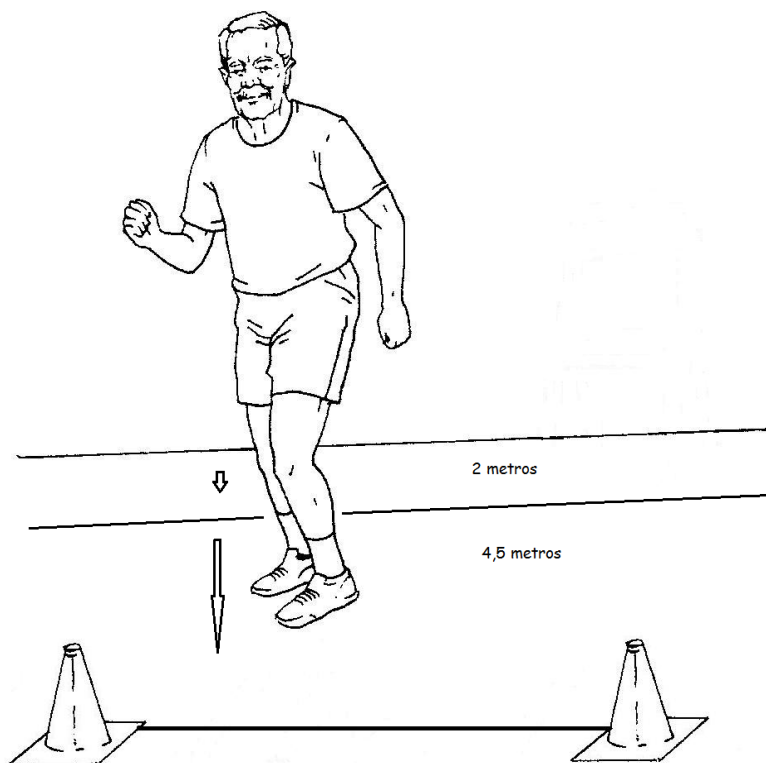
- Colocarse en bipedestación (de pie).
- Situarse una de las manos por encima del hombro, con el codo apuntando hacia arriba, los dedos extendidos con la palma de la mano hacia dentro e intentando deslizar ésta lo máximo posible a lo largo de su espalda.
- Al mismo tiempo, coloca la otra mano detrás de la espalda, con la palma hacia fuera e intenta alcanzar o sobrepasar la otra mano.
- Se realizarán dos intentos (uno con cada brazo).
- El evaluador realiza una demostración previa.
- Antes de efectuar el test, se dejará tiempo de prueba.

RESULTADO:

La máxima distancia alcanzada (cm +/-) y mantenida durante 2 segundos. En el caso de que el participante no llegue a tocarse con las manos, para la medición se tomarán como referencia los dedos que queden más cercanos entre sí. En este caso, los cm que haya entre ambos dedos se anotarán como un valor negativo (-), mientras que si las manos se tocan y sobrepasan, los cm se anotarán como un valor positivo (+).

7.- TEST DE LENTITUD

(Test de caminar 4,5 m a velocidad habitual)



PROCEDIMIENTO:

- Situarse de pie, con los pies paralelos, delante de la línea de salida.
- Cuando indique el monitor, hay que caminar a la velocidad habitual de la marcha hasta la línea de meta (2 metros lanzados + 4,5 metros de prueba).
- Se realizan dos intentos.
- NOTA: no se puede correr.
- Los conos que indiquen la línea de llegada para el participante se colocarán 2 metros por detrás de la línea oficial de llegada para evitar que decelere antes de finalizar la prueba.

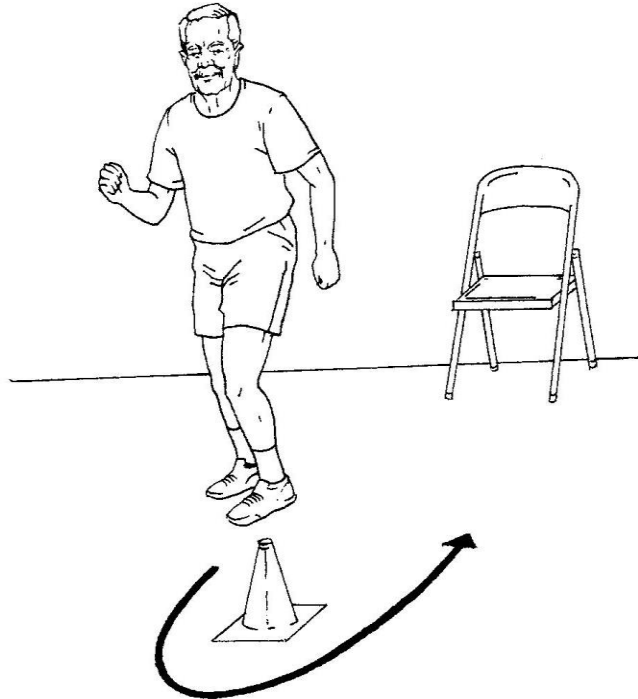
RESULTADO:

Tiempo transcurrido desde la señal de inicio hasta el momento en el que el participante cruza la línea de llegada (4,5 metros). Se tendrá en cuenta el mejor intento de los dos.

NOTA: el tiempo de la prueba se toma desde la marca de los 2 metros hasta la marca final real (4,5 metros de la prueba). Es decir, sin contar los dos metros lanzados y los dos metros finales.

8.- TEST DE AGILIDAD

(Test de levantarse, caminar 2'45 m y volver a sentarse)



PROCEDIMIENTO:

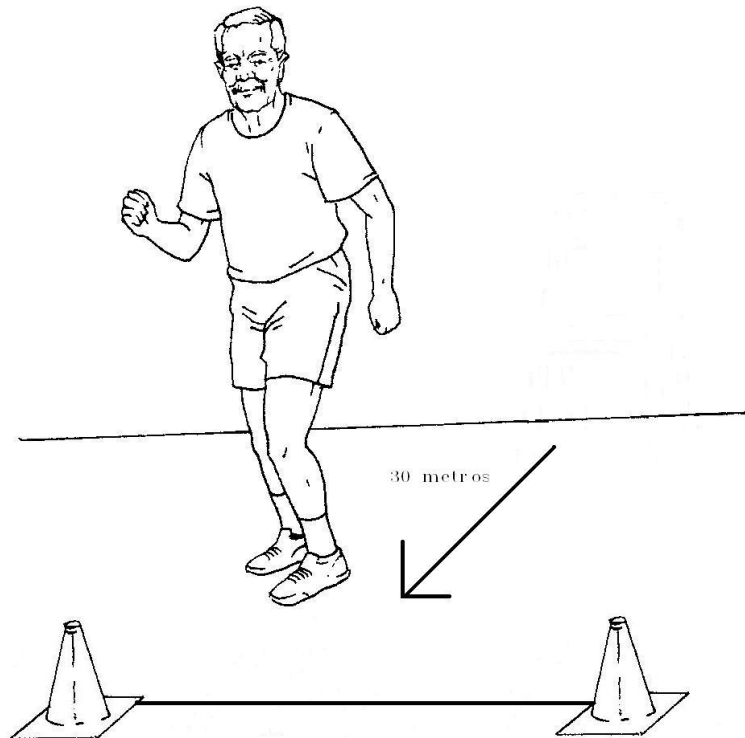
- Sentarse en el medio de una silla tamaño estándar (43-44 cm de altura) con la espalda recta y las manos sobre los muslos.
- Una pierna permanece ligeramente adelantada sobre la otra.
- Cuando indique el monitor, hay que levantarse de la silla, caminar lo más rápido posible hacia el cono, rodearlo (por cualquiera de sus lados) y volver a sentarse de nuevo en la silla.
- Se realizan dos intentos separados entre sí, al menos, por un minuto de descanso.
- El evaluador realiza una demostración previa.
- Antes de efectuar el test, se dejará tiempo de prueba.
- NOTA: no se puede correr.

RESULTADO:

Tiempo necesario desde la señal de inicio hasta el momento en que el participante vuelve a estar sentado en la silla. Se tendrá en cuenta el mejor intento de los dos.

9.- TEST DE VELOCIDAD DE LA MARCHA

(Test de caminar deprisa 30 m)



PROCEDIMIENTO:

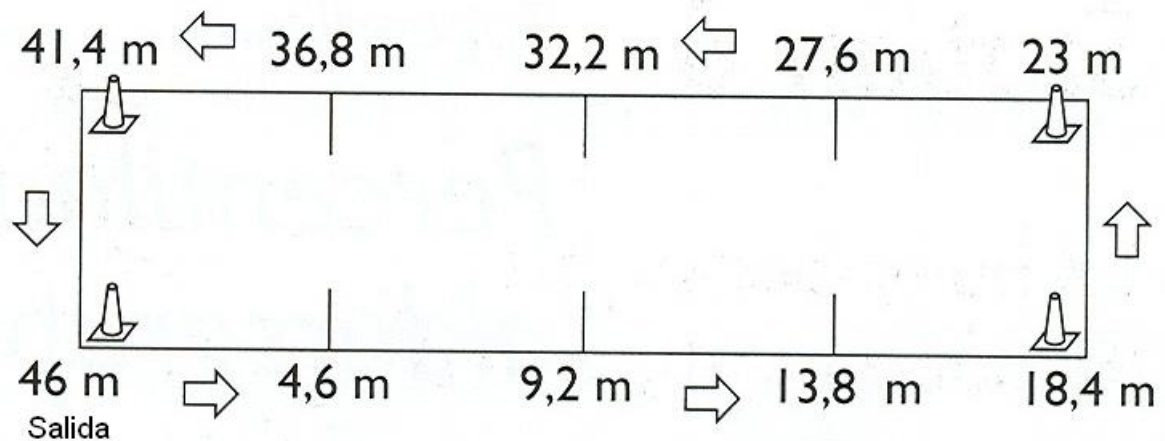
- Situarse de pie, con los pies paralelos, delante de la línea de salida.
- Cuando indique el monitor, hay que caminar lo más rápido posible hacia la línea de meta.
- Se realizan dos intentos separados entre sí, al menos, por un minuto de descanso.
- NOTA: no se puede correr.
- Los conos que indiquen la línea de llegada para el participante se colocarán 2 metros por detrás de la línea oficial de llegada para evitar que decelere antes de finalizar la prueba.

RESULTADO:

Tiempo transcurrido desde la señal de inicio hasta el momento en que el participante cruza la línea de llegada. Se tendrá en cuenta el mejor intento de los dos.

10.- TEST DE RESISTENCIA AERÓBICA CAMINANDO

(Test de los 6 minutos)



PROCEDIMIENTO:

- Situarse de pie a la altura del cono de salida.
- La prueba consiste en caminar durante 6 minutos alrededor de los conos situados en el suelo.
- El inicio tendrá lugar cuando indique el monitor.
- Conviene no comenzar demasiado rápido para mantener las fuerzas hasta el final.
- NOTA: si se siente demasiado cansado, mareado, o con algún otro tipo de malestar, PARE y avise al monitor. No se puede correr.

RESULTADO:

Número de metros que recorre la persona en los 6 minutos.

