Universidad de Alcalá
COMISIÓN DE ESTUDIOS OFICIALES DE POSGRADO Y DOCTORADO

ACTA DE EVALUACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL

Año académico 2016/17

DOCTORANDO: **NÚÑEZ MARTÍ, MARÍA JESÚS**
D.N.I./PASAPORTE: ******2693N**

PROGRAMA DE DOCTORADO: **D325-DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD**
DPTO. COORDINADOR DEL PROGRAMA: **MEDICINA Y ESPECIALIDADES MÉDICAS**
TITULACIÓN DE DOCTOR EN: **DOCTOR/A POR LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ**

En el día de hoy 7/7/2017, reunido el tribunal de evaluación nombrado por la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado y Doctorado de la Universidad y constituido por los miembros que suscriben la presente Acta, el aspirante defendió su Tesis Doctoral, elaborada bajo la dirección de **M. JULIA BUJÁN VARELA // JOSÉ LÓPEZ CHICHARRO.**

Sobre el siguiente tema: *VALORES ESPIROMÉTRICOS EN HOMBRES SANOS FÍSICAMENTE ACTIVOS*

Finalizada la defensa y discusión de la tesis, el tribunal acordó otorgar la CALIFICACIÓN GLOBAL[8] de (**no apto, aprobado, notable y sobresaliente**): SOBRESALIENTE

Alcalá de Henares, 7 de julio de 2017

EL PRESIDENTE

Fdo.: M. MUÑOZ TORREN

EL SECRETARIO

Fdo.: Javier García Estevo

EL VOCAL

Fdo.: LUIS M. LÓPEZ MOSQUERA

Con fecha 24 de julio de 2017 la Comisión Delegada de la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado, a la vista de los votos emitidos de manera anónima por el tribunal que ha juzgado la tesis, resuelve:

- [x] Conceder la Mención de "Cum Laude"
- [ ] No conceder la Mención de "Cum Laude"

La Secretaria de la Comisión Delegada

FIRMA DEL ALUMNO,

Fdo.:

[8] La calificación podrá ser **"no apto" "aprobado" "notable" y "sobresaliente"**. El tribunal podrá otorgar la mención de "cum laude" si la calificación global es de sobresaliente y se emite en tal sentido el voto secreto positivo por unanimidad.

INCIDENCIAS / OBSERVACIONES:

Universidad de Alcalá
COMISIÓN DE ESTUDIOS OFICIALES
DE POSGRADO Y DOCTORADO

En aplicación del art. 14.7 del RD. 99/2011 y el art. 14 del Reglamento de Elaboración, Autorización y Defensa de la Tesis Doctoral, la Comisión Delegada de la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado y Doctorado, en sesión pública de fecha 24 de julio, procedió al escrutinio de los votos emitidos por los miembros del tribunal de la tesis defendida por *NÚÑEZ MARTÍ, MARÍA JESÚS*, el día 7 de julio de 2017, titulada *VALORES ESPIROMÉTRICOS EN HOMBRES SANOS FÍSICAMENTE ACTIVOS*, para determinar, si a la misma, se le concede la mención "cum laude", arrojando como resultado el voto favorable de todos los miembros del tribunal.

Por lo tanto, la Comisión de Estudios Oficiales de Posgrado **resuelve otorgar** a dicha tesis la

MENCIÓN "CUM LAUDE"

Alcalá de Henares, 27 julio de 2017
EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN DE ESTUDIOS
OFICIALES DE POSGRADO Y DOCTORADO

Firmado digitalmente por VELASCO PEREZ JUAN RAMON - DNI 03087239H
Fecha: 2017.07.30 18:47:44 +02'00'

Juan Ramón Velasco Pérez

Copia por e-mail a:
Doctorando: NÚÑEZ MARTÍ, MARÍA JESÚS
Secretario del Tribunal: FRANCISCO JAVIER GARCÍA ESTEO.
Directores de Tesis: M. JULIA BUJÁN VARELA // JOSÉ LÓPEZ CHICHARRO

2016 Valores espirométricos en hombres sanos físicamente activos. Mª Jesús Núñez Martí

Universidad de Alcalá

Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud

VALORES ESPIROMÉTRICOS EN HOMBRES SANOS FÍSICAMENTE ACTIVOS

Tesis Doctoral presentada por

MARÍA JESÚS NÚÑEZ MARTÍ

Alcalá de Henares, 2016

Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud

VALORES ESPIROMÉTRICOS EN HOMBRES SANOS FÍSICAMENTE ACTIVOS

Tesis Doctoral presentada por

MARÍA JESÚS NÚÑEZ MARTÍ

Directores:
Dra Julia Buján Varela.
Dr José López Chicharro.

Alcalá de Henares, 2016

Hoja certificado de directores

Universidad de Alcalá

DEPARTAMENTO MEDICINA Y ESPECIALIDADES MÉDICAS
Facultad de Medicina-Campus Universitario
Ctra. Madrid-Barcelona, Km. 33.600
28871 Alcalá de Henares (Madrid)
Teléfonos: 91 885 45 40

Doña M Julia Buján Varela, Catedrática de Histología de La Universidad de Alcalá y Don José López Chicharro, Catedrático de Fisiología del Ejercicio, Escuela de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad Complutense de Madrid.

CERTIFICA:

Que la tesis doctoral titulada *"Valores espirométricos en hombres sanos físicamente activos"* presentada por Dª María Jesús Núñez Martí, realizada bajo mi dirección, reúne los méritos de calidad y originalidad, así como los requisitos científicos y metodológicos para optar al grado de doctor.

Lo que certificamos en Alcalá de Henares, a Dieciocho de Noviembre de dos mil dieciséis.

Fdo: M Julia Buján Varela

Fdo: José López Chicharro

Hoja certificado de Director de Departamento

Universidad de Alcalá

DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y ESPECIALIDADES MÉDICAS
Facultad de Medicina y Ciencias de la Salud
Campus Científico Tecnológico
Ctra. Madrid-Barcelona, km.33,600
28805 Alcalá de Henares (Madrid)
Teléfono: 918854533 – 4707 - 4790
e.mail: dpto.medesp@uah.es

Melchor Álvarez de Mon Soto, Catedrático de Medicina y Director del Departamento de Medicina y Especialidades Médicas

INFORMA QUE:

En su opinión, el trabajo de investigación presentado por Dª. **Mª Jesús Nuñez Martí** titulado "**Valores espirométricos en hombres sanos físicamente activos**", realizado bajo la dirección de los Dres. Dª. Julia Buján Varela y D. José López Chicharro, reúne los requisitos científicos, metodológicos, formales y de originalidad suficientes para ser defendido como Tesis Doctoral ante el Tribunal que legalmente proceda.

Y para que conste donde corresponda, a los efectos oportunos, se firma la presente en Alcalá de Henares a veinticuatro de noviembre de dos mil dieciséis.

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ · DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y ESPECIALIDADES MÉDICAS

Nada te turbe

Nada te espante

todo se pasa

Dios no se muda

la paciencia

todo lo alcanza

quien a Dios tiene

Nada le falta

sólo Dios basta

teresa de Jesús

Agradecimientos

A mi familia y amigos por su incondicional apoyo durante este tiempo de aprendizaje. A mis tutores por enseñarme que todo momento es bueno para seguir creciendo en la Universidad y en la vida profesional.

ÍNDICE

1 ABREVIATURAS 12
2 RESUMEN 15
3 INTRODUCCIÓN 21
3.1 ESPIROMETRIA BASAL 24
3.1.1 Espirometría simple 24
3.1.2 Espirometría forzada 26
3.1.3 Espirometría durante el ejercicio 28
3.2 FACTORES CONDICIONANTES DE LA ESPIROMETRÍA FORZADA EN REPOSO Y EN EL DEPORTE 29
3.2.1 Compliance 29
3.2.2 Músculos respiratorios 31
3.2.3 Etnia 33
3.2.4 Talla 35
3.2.5 Peso 38
3.2.6 Edad 40
3.2.7 Género 42
3.2.8 Altitud 42
3.2.9 Genética 43
3.3 ADAPTACIONES PULMONARES AL EJERCICIO 46
3.3.1 Reposo 47
3.3.2 Ejercicio Ligero 47
3.3.3 Ejercicio Moderado 47
3.3.4 Ejercicio de alta intensidad 48
3.4 EJERCICIO Y VARIABLES ESPIROMÉTRICAS 50
3.4.1 FVC 52
3.4.2 FEV_1 53
3.4.3 FEV_1/FVC 55
3.4.4 $FEF_{25-75\%}$ 55
3.4.5 PEF 56
3.4.6 MVV 56

3.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS.....57
3.5.1 Justificación de la investigación.....57
3.5.2 Hipótesis 57
3.5.3 Objetivos.....57
4 MATERIAL Y MÉTODOS.....60
4.1 Diseño.....60
4.2 Población del estudio y método para la recogida de datos 60
4.3 Criterios de inclusión.....60
4.4 Criterios de exclusion.....60
4.5 Variables.....61
4.6 Procedimiento.....61
4.7 Análisis estadístico 66
5 RESULTADOS.....68
5.1 DESCRIPTIVA.....68
5.1.1 Descripción de la muestra 68
5.1.2 Descripción de deportes de la población estudiada.....68
5.1.3 Descripción de variables espirométricas en reposo 69
5.1.4 Percentiles de parámetros espirométricos de varones deportistas aficionados de resistencia aeróbica 69
5.1.5 Descripción de variables ergoespirométricas en prueba de esfuerzo hasta el agotamiento.....70
5.2 COMPARATIVA ENTRE LA POBLACIÓN ESTUDIADA Y LA POBLACIÓN GENERAL (ECSC) 70
5.3 PORCENTAJES DE VALORES ESPIROMÉTRICOS PREDICHOS EN EL GRUPO ESTUDIADO.....71
5.4 CORRELACIONES 71
5.4.1 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VE_{max}.....72
5.4.2 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VO_2max (l/min) 73
5.4.3 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VCO_{2max} (l/min) 74
5.4.4 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VT_1-VE 75

5.4.5 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VT_2-VE 76
5.4.6 La correlación de las variables espirométricas de reposo y Edad 77
5.4.7 La correlación de las variables espirométricas de reposo y Talla 78
5.4.8 La correlación de las variables espirométricas de reposo y Peso 79
5.5 ANALISIS MULTIVARIANTE 80
5.5.1 Variable dependiente: FVC 81
5.5.2 Variable dependiente: FEV_1 83
5.5.3 Variable dependiente: PEF 87
5.5.4 Variable dependiente: $FEF_{25-75\%}$ 89
6 DISCUSIÓN 93
7 CONCLUSIONES 103
8 BIBLIOGRAFÍA 106
9 ANEXOS 113
9.1.1 Anexo 1. Consentimiento Informado 113
9.1.2 Anexo 2. Informe favorable Del Comité de Ética de la Universidad de Alcalá de Henares 115
9.1.3 Anexo 3. Cuestionario de Salud 116
9.1.4 Anexo 4. Información y Procedimiento 125

1. ABREVIATURAS

1 ABREVIATURAS

ACC: American College of Cardiology

AHA: American Heart Association

ATS: American Thoracic Society

BTPS: Body Temperature Pressure Saturated water vapor

CFV: capacidad vital forzada

ECSC: European Coal and Steel Community

ERS: European Respiratory Society

Ergoespirometría: prueba de esfuerzo con control electrocardiográfico y análisis de gases espirados.

FC: Frecuencia Cardiaca

$FEF_{25-75\%}$: Flujo espiratorio forzado entre el 25 y el 75%

FEV_1/FVC: relación de Flujo espiratorio en primer segundo por capacidad vital forzada

FEV_1: flujo espiratorio en primer segundo

IMC: índice de masa corporal $P \cdot T^{-2}$

Km/h: Kilómetros por hora

$l \cdot min^{-1}$: Litros por minuto

LLN: Lower Limits of Normal

min/d: minutos cada día

mmHg: milímetros de Mercurio

MVV: máxima ventilación voluntaria

PEF: Flujo espiratorio pico

PET CO_2: Presión espiratoria de Dióxido de Carbono

PET O_2: Presión espiratoria de Oxigeno

REE: Cociente respiratorio

rpm: revoluciones por minuto

SEPAR: Sociedad Española del Aparato Respiratorio

TA: Tensión Arterial

VCO_2: consumo de CO_2

VE/Q: cociente ventilación-perfusión

VE: Ventilación

VE_{max}: Ventilación máxima en esfuerzo

$VO_{2\ max}$: Consumo máximo de Oxígeno

VT_1-VE: Umbral Aeróbico

VT_2-VE: Umbral Anaeróbico

2. RESUMEN

2 RESUMEN

La Espirometría es una técnica habitual de exploración pulmonar utilizada en sujetos sanos con riesgo de desarrollar enfermedades de sistema respiratorio y en sujetos con patología para valorar evolución. La espirometría delimita la normal función pulmonar acorde a la American Thoracic Society (ATS). En Europa se establece la normalidad según la European Coal and Steel Community (ECSC) y en España la normalidad está definida por la Sociedad Española del Aparato Respiratorio (SEPAR) o por la ECSC. Esta técnica constituye un buen marcador a largo plazo de supervivencia global en ambos sexos pudiéndose utilizar como una buena herramienta en la evaluación de salud general.

Cabe destacar que la espirometría puede ser realizada en situaciones basales, Espirometría Basal, como en ejercicio, denominándose Ergoespirometría. Los diferentes parámetros que ofrecen ambas exploraciones pueden ofrecer datos de función pulmonar, a partir de la medición de flujos y volúmenes, determinando la normalidad del aparato respiratorio.

La espirometría concentra una serie de pruebas respiratorias sencillas, bajo circunstancias controladas, que miden la magnitud absoluta de los volúmenes pulmonares y capacidades. La rapidez con que pueden ser movilizados se denominan flujos aéreos. Los resultados se representan tanto en forma numérica como en impresión gráfica. En el estudio se analizan las variables de Capacidad Vital Forzada (FVC), Volumen Espiratorio Forzado (FEV_1), la relación FEV_1/FVC (FEV_1/FVC), Flujo Espiratorio Forzado entre el 25% y el 75% de la Capacidad Vital Forzada ($FEF_{25-75\%}$) y el Pico Espiratorio de Flujo (PEF).

Durante la Ergoespirometría se realiza una prueba de valoración funcional en tapiz rodante o en cicloergómetro con máscara y neumotacógrafo que determina los valores máximos de Ventilación, Consumo máximo de Oxígeno, equivalentes de oxígeno y CO_2, PET O_2 y PET CO_2 y cociente respiratorio durante el ejercicio.

Para justificar la realización de esta investigación podemos señalar que aunque la espirometría es una prueba ventilatoria validada y normalizada por poblaciones geográficas y por razas, en la revisión bibliográfica realizada, no se han encontrado estudios publicados sobre la normalidad de parámetros espirométricos basales en sujetos sanos físicamente activos, en concreto en sujetos que practican ejercicio de resistencia aeróbica. Disponer de esos valores de normalidad sería de gran utilidad y se podría incorporar como una variable más en las pruebas de esfuerzo con análisis del intercambio gaseoso realizadas en deportistas y personas físicamente activas, ayudando a valorar la normalidad fisiológica y el establecimiento de diferencias en la

capacidad funcional aeróbica entre sujetos. Desde una perspectiva práctica, el estudio de las bases fisiológicas de la espirometría en reposo y en ejercicio puede permitir utilizar estas técnicas tanto para un control de las adaptaciones al entrenamiento, como para una mayor precisión en la administración de cargas de entrenamiento.

Por tanto, se plantea la hipótesis del estudio para desarrollar la investigación, que los sujetos sanos físicamente activos y deportistas de resistencia aeróbica aficionados presentan valores espirométricos superiores a la población general. Esto hace necesario establecer una referencia específica de normalidad que pueda permitir, con mayor precisión, el control de las cargas del entrenamiento y la adaptación al mismo en este colectivo.

De acuerdo a la hipótesis planteada se establecen los objetivos del estudio. En primer lugar se comparan los valores espirométricos de la población deportista de resistencia aeróbica con los valores de referencia establecidos para la población general. Como segundo objetivo, se determinan los valores normales en este colectivo. El tercer objetivo es determinar la relación con variables antropométricas y edad, y como cuarto objetivo, se establecen las relaciones de los parámetros de espirometría basal y ergoespirometricos.

Cada participante del estudio (N=405) completó un cuestionario de salud, modificado de Heyward apéndices 1, 2 y 3 de PAR Q, en el que se recogieron edad, hábitos deportivos y nutricionales así como síntomas y alteraciones de todos los aparatos y sistemas.

Antes del test (24h) los sujetos se abstuvieron de tomar cafeína o estimulantes y no realizaron actividad física intensa, además se les informó de que no deben tomar alimentos al menos 2 horas previas al test.

En la exploración previa a la Espirometría se tomaron medidas antropométricas de peso, talla y se determinó el índice de masa corporal. La exploración cardiaca consistió en una auscultación para descartar arritmias y alteraciones valvulares, medición de la Tensión Arterial por auscultación, y un electrocardiograma de 12 derivaciones en decúbito supino y en bipedestación. Además se realizó una exploración sistemática por aparatos con especial interés a nivel del aparato respiratorio.

La exploración funcional respiratoria se realizó con el sistema ZAN 600 USB CPX, que comprende un analizador de gases espirados respiración a respiración con una aplicación para espirometría en reposo y otra especializada en espirometría de esfuerzo. Consta de un sensor de flujo y un adaptador bucal para la espirometría de

reposo y facial para la Ergoespirometría. Este aparato estará conectado a un ordenador HP.

Previamente a la realización de la espirometría se instruyó a cada sujeto sobre el procedimiento, recalcando la importancia de la máxima inspiración, el máximo esfuerzo durante la maniobra espiratoria y el evitar escapes o fugas de aire a través de la pieza bucal. La maniobra de espiración forzada se realizó en bipedestación, erguido durante toda la maniobra y con la utilización de una pinza nasal. Se eligió el mejor de todos los intentos. Posteriormente, todos los participantes realizaron un test máximo de esfuerzo en tapiz rodante o en cicloergómetro para determinar el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}). Los protocolos se individualizaron y se basaron en las rutinas y entrenamientos de los últimos tres meses. Los sujetos fueron animados durante el ejercicio hasta lograr la máxima fatiga muscular. La terminación del test será acorde a los criterios de las Guías AHA/ACC. Durante las pruebas de esfuerzo se monitorizó la frecuencia cardiaca (FC) de forma continua utilizando un electrocardiógrafo de 12 derivaciones. Se determinaron los siguientes parámetros ventilatorios CFV, FEV_1, FEV_1/CVF. $FEF_{25-75\%}$ y PEF. Y en ejercicio VO_{2max}, equivalentes de oxígeno y CO_2, PET O_2 y PET CO_2 y cociente respiratorio

Posteriormente se recogieron los datos de los sujetos en un documento digital, en el cual se separó el nombre del número asignado y ya no fue posible identificar a cada sujeto. Los participantes del estudio, todos voluntarios y de raza caucásica realizaron las pruebas de esfuerzo en el ergómetro más afín a la modalidad de actividad practicada. Los criterios para ser incluidos en el estudio fueron ser sujetos sanos que realizan ejercicio aeróbico de forma habitual (al menos 3 días por semana con una duración superior a 30 minutos cada día de 6 meses de evolución), varones mayores de 18 años y no fumadores. Se excluyeron sujetos medicados en el momento de la exploración, con procesos víricos, inflamatorios o tumorales, aquellos que presentaran alteraciones psicológicas o emocionales importantes y a los profesionales del deporte.

El análisis estadístico se realizó utilizando el paquete de software estadístico SPSS 22.0 para Windows, considerando que un valor de $p<0,05$ estadísticamente significativo. La distribución normal de los datos fue examinado mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, rechazándose para las variables PEF y FEF_{25-75}. La inspección visual de la distribución y un tamaño muestral muy elevado, N=405, justifican la realización de pruebas paramétricas. Se obtuvieron los percentiles $P_{2.5}$, P_5, P_{10}, P_{25}, P_{50}, P_{75}, P_{90}, P_{95}, $P_{97.5}$ para cada variable espirométrica. Mediante análisis unidireccional de la varianza (ANOVA) se establecieron las diferencias de los valores espirométricos de la población objeto del estudio, deportista de resistencia aeróbica aficionada, frente a los valores de referencia de la población general, además se

obtuvieron las ecuaciones de regresión para cada variable espirométrica y como método alternativo, los árboles de decisión.

Como resultados se presenta una descripción de la muestra con sujetos con una edad media de 37.54±8.47años, una talla de 1.77±0.07m y un peso de 77.18±11.52 Kg, con IMC de 24.67±3.12 Kg $\cdot m^{-2}$. Se observó que el deporte más realizado por los sujetos de la muestra es el atletismo, seguido de ciclismo. Analizando los parámetros ventilatorios de la espirometría mediante el test de Kolmogorov-Smirnov se observó que los valores de la espirometría en reposo muestran una distribución normal en las variables FVC y FEV_1, rechazándose para las variables PEF y $FEF_{25-75\%}$, sin embargo el tamaño muestral elevado N=405 y la inspección visual de la distribución, justifican la realización de pruebas paramétricas. Se determinaron los percentiles de la muestra y las medias de las variables espirométricas en reposo y en máximo esfuerzo, determinando las medias con desviaciones estándar. Se realizó la comparación de los valores espirométricos de la población investigada frente a los valores de referencia de la población general European Coal and Steel Community (ECSC), utilizados en el espirómetro en nuestro estudio, obteniendo unos valores superiores y estadísticamente muy significativos.

Se halló que las variables Talla, Peso y Edad se correlacionan con todas las variables espirométricas de reposo. El PEF muestra una baja/nula correlación con los parámetros ventilatorios basales, siendo además estadísticamente no significativas. Tanto FVC como FEV_1 son los valores espirométricos que muestran correlación con todos las variables espirométricas durante el ejercicio. Además se determinaron las ecuaciones de regresión lineal y árboles de decisión al realizar el análisis predictivo multivariante para las diferentes variables espirométricas de la población deportista de resistencia aeróbica, considerando la talla, peso y edad.

En conclusión, y en respuesta a nuestro primer objetivo, los valores medios de la espirometría basal forzada en deportistas de resistencia aeróbica aficionados fueron superiores a los valores de referencia establecidos por la ECSC para la población general. En relación al segundo objetivo del estudio, se determinan unos valores de referencia espirométricos específicos para sujetos sanos que realizan ejercicio de resistencia aeróbica. De acuerdo con el resto de estudios científicos publicados, y según el tercer objetivo, nuestro estudio confirma que las variables antropométricas (talla y peso) y la edad en sujetos varones que realizan deporte de resistencia aeróbica de forma habitual presentan correlaciones con los parámetros espirométricos basales. Y finalmente, en relación al cuarto objetivo del estudio, se puede afirmar que los deportistas de resistencia aeróbica aficionados muestran correlación significativa de todos los parámetros estudiados de la Ergoespirometría de esfuerzo.

Por tanto, nuestra hipótesis planteada en el estudio alcanzan la categoría de Tesis afirmando que los sujetos sanos, físicamente activos y aficionados al ejercicio de resistencia aeróbica presentan valores espirométricos superiores a la población general y por tanto se establece una referencia específica para dichos sujetos. Estas referencias están relacionadas con edad y variables antropométricas. Además guardan relación con los parámetros ventilatorios de la Ergoespirometría.

3. INTRODUCCIÓN

3 INTRODUCCIÓN

La práctica de la actividad física proporciona efectos positivos sobre el organismo. Los diferentes deportes y las rutinas de los entrenamientos en sujetos deportistas aficionados y profesionales inducen adaptaciones en diferentes aparatos y sistemas [1]. Es bien conocido que el sistema músculo esquelético y el cardiovascular están implicados en la actividad muscular y que ambos sistemas inducen cambios adaptativos en respuesta a una actividad física regular. En contraste, el estado de conocimiento actual sugiere que los volúmenes estáticos pulmonares no sufren adaptaciones significativas derivadas del entrenamiento, por lo que sus valores se asume son semejantes a los de la población general. Teniendo en cuenta el hecho de que todos los sistemas están implicados en el transporte de oxígeno, hemos de suponer que la función pulmonar con sus variables espirométricas deben modificarse con el entrenamiento[2].

La Espirometría es una técnica de exploración utilizada en sujetos sanos con riesgo de desarrollar enfermedades de sistema respiratorio y en pruebas preventivas en sujetos sanos y deportistas. En nuestro entorno, [3] la espirometría delimita la función pulmonar normal acorde a la American Thoracic Society (ATS), a la European Coal and Steel Community (ECSC), la European Respiratory Society (ERS) o la Sociedad Española del Aparato Respiratorio (SEPAR).

Desde 1995, los neumólogos europeos han tratado de unificar los estándares de la espirometría mediante reuniones para consensuar las actualizaciones en la ATS, ECSC y ERS. Desde sus comienzos en 2001 hasta su aprobación final en 2005, los participantes de los distintos continentes se reunieron de forma continuada. Uno de los mayores pasos fue la recomendación de que todos los instrumentos de medida de función pulmonar deberían disponer de un formato estandarizado de producción de datos por ordenador. Esto requería que los fabricantes de espirómetros no solo almacenaran sus datos en un formato específico, sino también que proporcionaran un medio de suministrar los datos de una manera estándar, sin que esto signifique que los usuarios tengan que estar atados a un fabricante en exclusiva para mantener la estructura de sus bases de datos. Esto garantizaría que sería relativamente fácil usar software para trasladar los datos de las espirometrías a las bases de datos sanitarias [4].

En España la normalidad está definida por (SEPAR)[5] y se contemplan sujetos de población general en diferentes intervalos de edad, desde los 6 hasta los 85 años (Tabla 1).

Autor (rango edad)	Sexo	Parámetro	Ecuación	r	SEE
Casan (6-20 años)	M	FVC (l)	0,02800 T + 0,03451 P + 0,05728 E – 3,21	0,947	0,443
		FEV_1 (l)	0,02483 T + 0,02266 P + 0,07148 E – 2,91	0,945	0,378
		PEF (ls^{-1})	0,075 T + 0,275 E – 9,06	0,907	1.073
		FEV_1/FVC (%)			
		$FEF_{25-75\%}$(ls^{-1})	0,038 T +0,140 E – 4,33	0,832	0,796
	F	FVC (l)	0,03049 T + 0,02220 P + 0,03550 E – 3,04	0,935	0,313
		FEV_1 (l)	0,02483 T + 0,02266 P + 0,07148 E – 2,91	0,945	0,378
		PEF (ls^{-1})	0,073 T + 0,134 E – 7,57	0,879	0,831
		FEV_1/FVC (%)			
		$FEF_{25-75\%}$(ls^{-1})	0,046 T + 0,051 E – 4,30	0,789	0,651
Roca (20-65años)	M	FVC (l)	0,0678 T – 0,0147 E – 6.0548	0,72	0,53
		FEV_1 (l)	0,0514 T – 0,0216 E – 3.9548	0,75	0,451
		PEF (ls^{-1})	0,0945 T – 0,0209 E – 5.7732	0,47	1,47
		FEV_1/FVC (%)	– 0,1902 E + 85,58	0,4	5,36
		$FEF_{25-75\%}$(ls^{-1})	0,0392 T – 0,043 E – 1.1574	0,55	1,0
	F	FVC (l)	0,0454H – 0,0211A – 2.8253	0,75	0,403
		FEV_1 (l)	0,0326H – 0,0253A – 1.2864	0,82	0,315
		PEF (ls^{-1})	0,0448H – 0,0304A + 0,3496	0,47	1,04
		FEV_1/FVC (%)	–0,244 E – 0,1126 P + 94,88	0,54	5,31
		$FEF_{25-75\%}$(ls^{-1})	0,023 T – 0,0465 E – 1.1055	0,70	0,68
García-Río (65-85 años)	M	FVC (l)	0,0001572 T^2 – 0,00000268 E^3+ 0,223	0,477	0,4458
		FEV_1 (l)	0,0001107 T^2 – 0,0445 E + 2.886	0,464	0,3797
		PEF (ls^{-1})	0,07092 T – 0,000939 E^2 + 0,347	0,221	1.7378
		FEV_1/FVC (%)	– 00198 E^2 + 87.472	0,083	5.2655
		$FEF_{25-75\%}$(ls^{-1})	0,02635 T – 0,0604 E + 2.042	0,219	0,7241
	F	FVC (l)	0,0003171 T^2 – 0,0351 E – 6.368 BSA + 0,05925 P + 3.960	0,589	0,3046
		FEV_1 (l)	0,0001726 T^2 – 0,0326 E – 2.303 BSA + 0,000122 P^2 + 3.398	0,527	0,2741
		PEF (ls^{-1})	0,0002283 T^2 – 0,0644 E + 4.001	0,209	1.1932
		FEV_1/FVC (%)	–0,155 T – 0,184 E + 116.096	0,048	5.4974
		$FEF_{25-75\%}$(ls^{-1})	0,02030 T – 0,0440 E + 1.538	0,202	0,5828

BSA: área de superficie corporal (en m^2); E: edad (en años); F: femenino; $FEF_{25-75\%}$: flujo espiratorio medio; FEV_1: volumen espiratorio forzado en el primer segundo; FVC: capacidad vital forzada; M: masculino; P: peso (en kg); PEF: flujo espiratorio máximo; T: talla (en cm).

Tabla 1 Ecuaciones de predicción para población española. Fuente: SEPAR, 2013

Los valores de referencia estandarizados de los test de la función pulmonar son, por ello, importantes para la práctica clínica y para estudios epidemiológicos[6]. La espirometría constituye un buen marcador a largo plazo de supervivencia global en ambos sexos pudiéndose utilizar como una buena herramienta en la evaluación de salud general [7, 8].

La espirometría puede ser realizada tanto en situación basal (Espirometría Basal), como en ejercicio (Ergoespirometría). Los diferentes parámetros que estudian que estudian ambas exploraciones pueden ofrecer datos de función pulmonar determinando la normalidad del aparato respiratorio. Se trata de una prueba de valoración funcional del aparato respiratorio a partir de la medición de flujos y volúmenes.

La interpretación de la espirometría se basa en la comparación de los valores alcanzados por el paciente con los que corresponderían a un individuo sano de sus mismas características antropométricas, edad y sexo según el valor teórico predicho. Este valor teórico o valor de referencia se obtiene a partir de unas ecuaciones de predicción y se ha consensuado el valor fijo del 80% del valor predicho como límite de normalidad. Aunque en sujetos de edad y talla promedio, el 80% del predicho se acerca al percentil 5, si los sujetos se encuentran en un rango de edad o talla fuera de la normalidad, este valor fijo los puede clasificar incorrectamente[5].

3.1 ESPIROMETRIA BASAL

La espirometría concentra una serie de pruebas respiratorias sencillas, realizadas bajo circunstancias controladas, que miden la magnitud absoluta de los volúmenes y capacidades pulmonares. La rapidez con que estos pueden ser movilizados se denomina flujo aéreo. Los resultados se representan tanto en forma numérica como en impresión gráfica. Existen dos modalidades fundamentales de espirometría basal: simple y forzada.

3.1.1 Espirometría simple

Consiste en realizar una inspiración máxima seguida de expulsión de todo el volumen durante el tiempo que se necesite (Fig. 1).

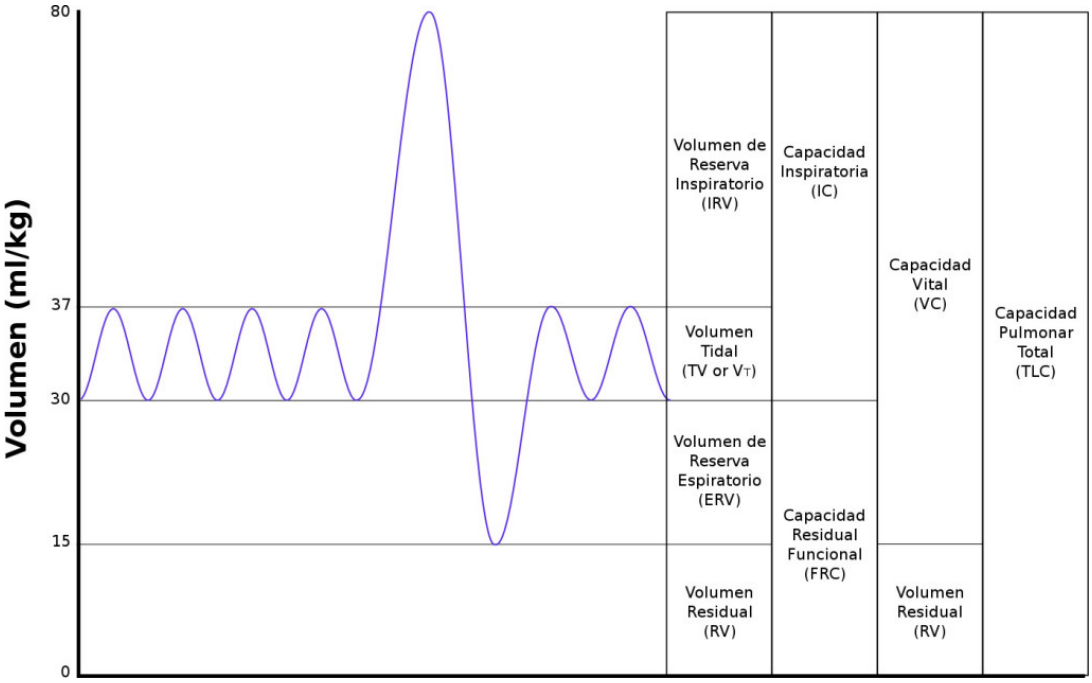


Fig. 1 Espirometría Basal. Fuente: www.separ.es.

En la espirometría simple se obtienen:

- Volumen Corriente (VC): corresponde al volumen de aire que se utiliza en cada respiración (inspiración y espiración) no forzada, es decir el aire utilizado durante el ciclo respiratorio normal. Por metodología se mide el volumen espirado ya que normalmente el inspirado y el espirado no son idénticos. Corresponde a un valor aproximado de 500 ml.
- Volumen de Reserva Inspiratoria (VRI): es el volumen extra de aire que puede ser inspirado sobre un volumen de inspiración normal. Corresponde a un valor aproximado de 3000 ml.
- Volumen de Reserva Espiratoria (VRE): es el volumen de aire que puede ser espirado en espiración forzada después del final de una espiración normal. Corresponde a un valor aproximado de 1100 ml.
- Capacidad Vital (CV): es el volumen máximo de aire que puede ser espirado tras una inspiración máxima en condiciones normales. Resulta de la suma del volumen corriente y los volúmenes de reserva inspiratorio y espiratorio.
- El Volumen Residual (VR): es el volumen de aire que queda en los pulmones al final de una espiración máxima o espiración «forzada», y no puede ser liberado de los pulmones. Corresponde a un valor aproximado de 1200 ml.
- La Capacidad Residual Funcional (CRF) se denomina al aire que queda en los pulmones después de una respiración normal (que incluye, por lo tanto, el volumen residual y el volumen de reserva espiratoria). Corresponde a un valor aproximado de 2300 ml.

La medida de los volúmenes «no movilizables» (VR y CRF) no puede realizarse lógicamente con la espirometría. Para ello, es preciso utilizar uno de los dos sistemas disponibles habitualmente, el método del helio o el estudio pletismográfico.

- Capacidad Pulmonar Total (CPT) es el volumen máximo de aire que pueden contener ambos pulmones tras una inspiración máxima. Puede obtenerse sumando la capacidad vital con el volumen residual y corresponde a un valor aproximado de 5800 ml aproximadamente.

3.1.2 Espirometría forzada

Se desarrolla metodológicamente por medio de una inspiración máxima seguida de una rápida y completa espiración con el máximo esfuerzo y en el menor tiempo posible. Es importante realizar una correcta **maniobra de espiración forzada.** Esta prueba proporciona la mayor parte de la información de función pulmonar[9].

En la espirometría forzada se obtienen los siguientes parámetros respiratorios:

- Capacidad Vital Forzada (FVC): representa el volumen de aire total que el paciente espira mediante una espiración forzada máxima. Similar a la capacidad vital (VC), pero la maniobra es forzada y con la máxima rapidez que el paciente pueda producir. El valor de la FVC en reposo oscila entre 4 y 5 litros en hombre jóvenes sanos, y entre 3 y 4 litros en mujeres jóvenes y sanas.
- Volumen Espiratorio Forzado (FEV_1): es el volumen de aire expulsado durante el primer segundo de la espiración forzada partiendo de una inspiración máxima.
- FEV_1/FVC: La relación FEV_1/FVC constituye una medida más exacta que las determinaciones aisladas de FVC o FEV_1. Corresponde a la relación entre el volumen de aire que se espira en el primer segundo, y el total de aire exhalado en la espiración forzada. Se expresa en forma de porcentaje (%), y en el adulto sano sus valores normales oscilan entre el 70 y el 80%. Aunque en algunos textos se denomina a esta relación “Índice de Tiffeneau”, esto es incorrecto, pues el índice de Tiffeneau relaciona el FEV_1 con la capacidad vital “lenta” (VC) y no con la Capacidad Vital Forzada (FVC).

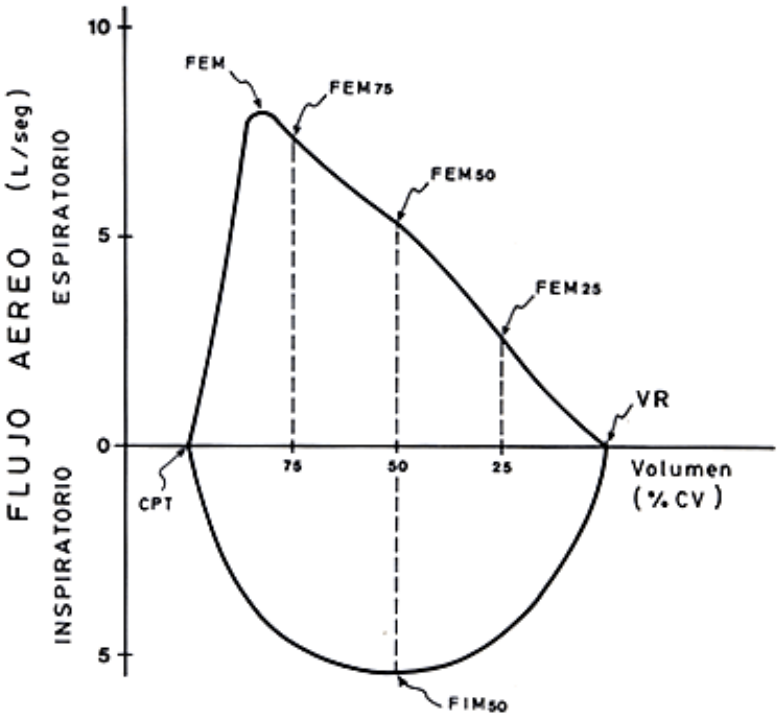


Fig. 2 Curva Flujo-Volumen. Fuente: www.separ.es.

Las curvas de Flujo-Volumen se construyen a partir de las maniobras de inspiración y espiración máximas. (Fig.2). El sujeto efectúa una espiración máxima, seguida de una inspiración máxima. La combinación de los trazados registrados durante la espiración y la inspiración dibuja la curva flujo-volumen, cuya forma identifica la normalidad de la función respiratoria

- Flujo Espiratorio Forzado entre el 25% y el 75% de la Capacidad Vital Forzada ($FEF_{25-75\%}$): Se define como el flujo de aire medido entre el 25% y el 75% de la maniobra de espiración forzada. Se expresa en litros·s^{-1}. La elección de este parámetro permite una medida más fiable del flujo espiratorio ya que depende menos de la colaboración del paciente y más del estado de la vía aérea.
- El Pico Espiratorio de Flujo (PEF) expresa la tasa de flujo espiratorio máximo conseguida tras una inspiración máxima. En los sujetos sanos proporciona el índice del calibre de las vías aéreas superiores y centrales, siendo un parámetro ampliamente utilizado en pacientes con limitación al flujo aéreo. Se alcanza muy pronto tras el inicio de la espiración. Se expresa en litros·s^{-1}.

Las dos medidas más utilizadas en la práctica clínica son el FEV_1 y el flujo mesoespiratorio ($FEF_{25-75\%}$).

Es interesante definir qué parámetros ventilatorios de la espirometría son los más adecuados para un sujeto entrenado. A veces se precisa aplicar técnicas específicas

más sofisticadas para diagnosticar una determinada alteración ya que los habituales pueden considerarle normal [10].

3.1.3 Espirometría durante el ejercicio

Realizando ejercicio de intensidad progresiva en un ergómetro, se determina el intercambio de gases respiratorios. Mediante una máscara y un neumotacógrafo, se registran los gases, consumidos (O_2) y exhalados (CO_2) por unidad de tiempo. Se expresa en $l \cdot min^{-1}$, o en $ml \cdot Kg^{-1} \cdot min^{-1}$ si se refiere al peso corporal del individuo.

En la Ergoespirometría o prueba de esfuerzo con análisis de gases espirados, se pueden obtener los siguientes parámetros ventilatorios:

- Consumo Máximo de Oxígeno (VO_{2max}): parámetro fisiológico que expresa la cantidad máxima de oxígeno que el organismo puede absorber, transportar y consumir por unidad de tiempo. Es muy variable entre individuos y depende fundamentalmente de la dotación genética. También influyen en menor grado la edad, el sexo, el peso, y el grado de entrenamientos o condición física[11].
- Consumo máximo de CO2 (VCO_{2max}): producción de CO_2 durante la respiración en esfuerzo máximo. Se expresa en $l \cdot min^{-1}$.
- Ventilación Máxima (VE_{max}): Volumen de aire respirado cada minuto en máximo esfuerzo. Se expresa en $l \cdot min^{-1}$ y depende de la frecuencia respiratoria y del volumen corriente. Puede superar los 200 $l \cdot min^{-1}$.
- Equivalente de Oxígeno (EqO_2): Expresa el grado de eficacia de la ventilación pulmonar. Es el cociente entre la ventilación y el VO_{2max}. Cuanto menor es su valor, menor cantidad de aire es necesario ventilar para captar una unidad de oxígeno, luego la ventilación pulmonar será más eficaz o económica.
- Equivalente de CO_2 (Eq CO_2): Es el cociente entre la ventilación y el VCO_{2max}. Indica el volumen de aire que debe ventilarse para que el organismo pueda utilizar 1 cm^3 de CO_2.
- $PETO_{2max}$: Presión de oxígeno al final de la espiración. Presenta unos valores entre 85 y 104 mmHg.
- $PETCO_{2max}$: Presión de CO_2 al final de la espiración. Presenta unos valores entre 40 y 50 mmHg.
- VT_1-VE: También denominado umbral aeróbico. Momento ventilatorio mínimo y estable que permite realizar ejercicio por tiempo prolongado. Se expresa en $l \cdot min^{-1}$.
- VT_2-VE: umbral anaeróbico. Situación ventilatoria característica de ejercicio de alta intensidad. Permite realizar durante un periodo corto de tiempo ejercicio intenso. Se mide en $l \cdot min^{-1}$.

3.2 FACTORES CONDICIONANTES DE LA ESPIROMETRÍA FORZADA EN REPOSO Y EN EL DEPORTE

3.2.1 Compliance

La compliance o distensibilidad es la propiedad con que se expanden los pulmones y el tórax durante los movimientos respiratorios. Está determinada por el volumen y la elasticidad pulmonar. Con los parámetros espirométricos como la FVC se puede predecir la compliance de los pulmones y de la pared torácica[12]. En condiciones normales presenta unos valores de 0.13-0.22 $l \cdot cm^{-1} H_2O$.

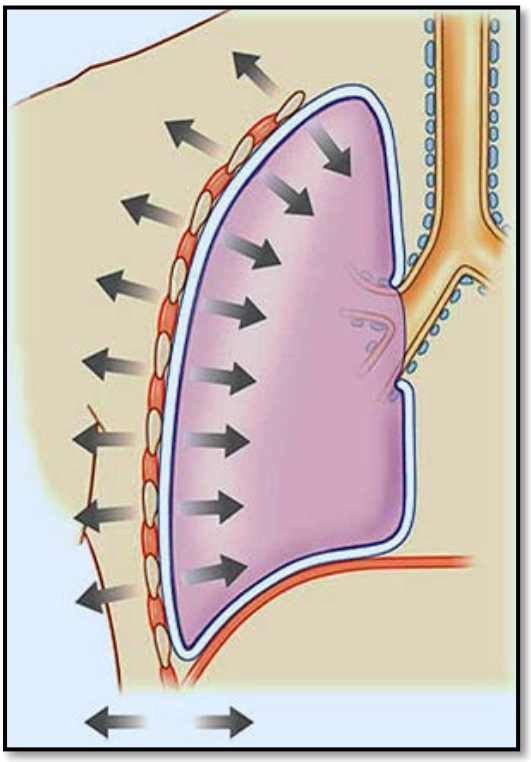


Fig. 3 Compliance Pulmonar. Fuente: Tresguerres, 2005

El tórax posee unas características específicas debidas a la elasticidad natural de músculos, tendones y tejido conectivo. [13] Por consiguiente parte del esfuerzo que efectúan los músculos respiratorios durante la respiración está destinado a estirar las estructuras elásticas de pulmones y tórax (Fig. 3). Así mismo, la presión intraalveolar causa la expansión de la cavidad torácica. La expansibilidad de los pulmones y el tórax se llama adaptabilidad. Se expresa como el aumento de volumen en los pulmones por cada unidad de aumento en la presión intraalveolar, considerándose como valores normales de 0.13 $l \cdot cm^{-1}$ de presión de agua. Cuando la presión alveolar aumenta en 1 cm de agua, los pulmones expanden 130 ml.

Existen factores que condicionan la distensibilidad, como las variaciones de las estructuras implicadas o de la forma anatómica. Se consideran dos tipos de resistencia, la tisular no elástica, propia de los tejidos que conforman las vías respiratorias, tejidos pulmonares y caja torácica, estos deben emplear parte del gasto energético en vencer la viscosidad. Y por otra parte, la resistencia de la vía aérea, que se produce al paso del aire en cada respiración. El aumento de estas resistencias produce una disminución de la compliance y consecuentemente, un aumento del gasto energético por parte de los músculos respiratorios que deben ejercitarse en mayor grado[14].

Recientemente una investigación observó que existen deportes que pueden modificar la elasticidad de los pulmones y la pared torácica, en concreto, la natación y el waterpolo. Además esta mejora de la función pulmonar parece ser superior a la de deportes no acuáticos[15].

El proceso de la respiración, especialmente en el ejercicio físico, se encuentra condicionado por la fuerza muscular torácica y abdominal, por la postura individual y por la elasticidad de los pulmones. Un estudio observó la función pulmonar en jóvenes nadadores y la repercusión en la compliance [16]. Estos deportistas incrementaban estas capacidades activando los erectores de la columna vertebral y el músculo supraespinoso. Otros como el esternocleidomastoideo, el trapecio y el músculo del diafragma en constante movimiento, incrementaban la elasticidad pulmonar. El volumen de reserva inspiratorio es un parámetro que refleja la fuerza muscular, la movilidad torácica y el balance entre la elasticidad de los pulmones y la caja torácica. El volumen inspiratorio de reserva en nadadores fue un 25% superior respecto a los sujetos sedentarios, con significación estadística. Sin embargo el volumen espiratorio de reserva, que depende de los músculos abdominales, no mostró más que un 10% más que los sedentarios, no observándose una diferencia estadísticamente significativa.

Es probable que un entrenamiento de hipertrofia más prolongado, como lo propone Pherwani et al, induzca a que los sujetos con más de 5 años en la práctica de natación consigan una hipertrofia del diafragma y una mayor compliance. Estos beneficios se objetivaron en los parámetros de la función pulmonar, en concreto en CV, VRI, FVC y FEV_1 que fueron superiores a los sedentarios.

La intensidad del entrenamiento podría modificar las variables de la función pulmonar. En el estudio sobre dos grupos de jóvenes que fueron sometidos a 20 semanas de ejercicio de alta y moderada intensidad, se observaron adaptaciones en el sistema cardiovascular y en el VO_{2max}. En la espirometría basal forzada se observó, a las 20 semanas un incremento significativo de PEF, FVC y MVV. Esta mejora podría

deberse a la inspiración y espiración forzada regular en periodos prolongados, implicando a los músculos respiratorios, tanto voluntarios como involuntarios. De esta forma los pulmones podrían insuflarse y desinsuflarse de forma máxima, lo que supone un estímulo importante para la producción de surfactante pulmonar en el espacio alveolar y por tanto, lograr un aumento de la compliance [17].

3.2.2 Músculos respiratorios

Los diferentes músculos de la inspiración y espiración condicionan la respiración normal. El diafragma es el principal músculo respiratorio, responsable de más de las dos terceras partes del aire que entra en los pulmones durante la respiración tranquila. No obstante, para el normal desarrollo del ciclo respiratorio es necesaria la participación de otros músculos, ya que el diafragma no aporta más de un 50% del volumen pulmonar. Entre los músculos inspiratorios se encuentran, además del diafragma, los intercostales externos, los esternocleidomastoideos, los deltoides y serratos anteriores, los escalenos y los sacroespinales. Cualquier alteración de la función muscular respiratoria se verá reflejada en los valores espirométricos. Igualmente, para la correcta espiración los músculos abdominales deben mantener una adecuada función (Fig. 5). Los intercostales internos y el serrato posteroinferior se consideran coadyuvantes[14, 18].

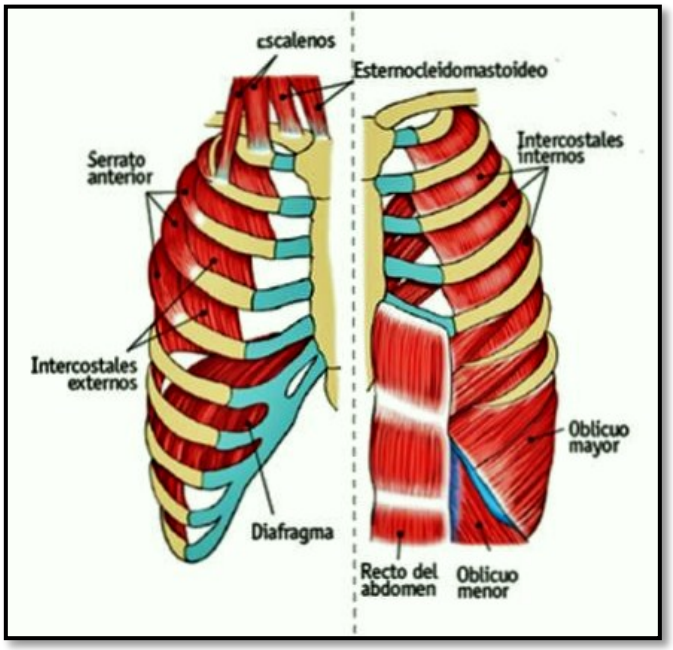


Fig. 4 Músculos respiratorios. Fuente: Guyton, 2011.

Cuando la fuerza de los músculos respiratorios presenta una reducción superior al 50% sucede una disminución significativa de la CV. Así, este dato es utilizado en los

diagnósticos de los trastornos neuromusculares. Se puede considerar que el componente inspiratorio de la CV informa de la función de los músculos inspiratorios y el volumen de reserva espiratorio de los músculos espiratorios[14].
Si se observa una pérdida de la CV de un 25-50%, se debe realizar el diagnóstico diferencial de parálisis o debilidad del diafragma. Si por el contrario, aparece una alteración de la contracción muscular en el inicio de la espiración forzada se origina un retraso en la presentación del PEF o un alargamiento del tiempo PEF, con retrasos o caídas en la curva de flujo-volumen. También se puede apreciar durante la espiración forzada una disminución del FEV_1 cuando acontecen alteraciones en la contracción muscular por debilidad[19].

Los músculos respiratorios pueden considerarse una pieza fundamental en el proceso de la respiración, especialmente en sujetos que realizan deporte de forma habitual. Cuando además se realiza entrenamiento específico, se observan mejoras claras en la fuerza muscular inspiratoria, en la resistencia y en el rendimiento[20].

La mayoría de los estudios publicados en relación a las modificaciones de los valores espirométricos con el entrenamiento se han realizado en yoga o natación. Ambas disciplinas deportivas desarrollan una respiración contra resistencia, sostenida en los practicantes de yoga y en el medio acuático, en el caso de los nadadores.

En deportes como el yoga las respiraciones son profundas y contra resistencia. Los parámetros espirométricos se modifican cuando se mantiene al menos 6 a 12 semanas el entrenamiento. Se observan niveles de PEF superiores a las esperados justificándose por el fortalecimiento de los músculos respiratorios y la mejora de la función pulmonar. Además los valores espirométricos se mantienen en niveles adecuados a pesar del transcurso de tiempo. Al compararlos con otros deportistas que no realizan entrenamientos de fuerza de los músculos respiratorios, como los corredores de resistencia, los valores espirométricos son superiores, aunque no es una diferencia estadísticamente significativa[21].

En los nadadores, la presión del agua y la resistencia de las vías aéreas estimulan los receptores centrales. El patrón respiratorio se modifica con una inspiración rápida, acortando la capacidad residual. Doherty et al. Estudiaron a un grupo de nadadores profesionales y observó que los valores de función pulmonar eran superiores a los deportistas sub-élite. Estas diferencias se explicarían por el mejor estado de forma física, el mayor desarrollo muscular de la parte superior del cuerpo y por el mejor entrenamiento de los músculos inspiratorios. Asimismo observaron que era importante determinar el número de años de entrenamiento de este colectivo. Si se iniciaba a edades tempranas los valores espirométricos eran superiores, y se acompañaban de un mayor rendimiento en la natación de competición[22]. Además

si estos nadadores realizaban 12 semanas de entrenamiento de músculos respiratorios mejoraban el rendimiento deportivo y los valores espirométricos[23].

De modo más específico, se desarrolló un análisis en 1625 nadadores adolescentes. Se efectuaron espirometrías y mediciones antropométricas. Mientras que el flujo en vías aéreas no se afectaba por la natación, los parámetros de flujo inspiratorio eran significativamente más elevados en aquellos que entrenaban de forma regular por un periodo de 7-8 años. Este efecto fue atribuido al entrenamiento de los músculos inspiratorios. Por el contrario, la capacidad vital y el flujo aéreo durante la espiración no se modificaron con los entrenamientos de natación[24]. Estos resultados fueron observados igualmente en una investigación sobre 8 nadadores sprinters de 15-22 años de edad, cuyos valores espirométricos fueron superiores a los esperados. El análisis de regresión múltiple demostró que el Volumen Inspiratorio Forzado en el primer segundo era el único parámetro determinante y significativo que se relacionaba con las marcas en esa distancia, es decir, con el rendimiento, explicando el 66% de la varianza. El autor proponía la implicación de los músculos inspiratorios recomendando analizar este parámetro en deportistas y realizar mediciones para comprobar su mejora, pudiendo llegar, incluso, a predecir las marcas deportivas[25].

Por otra parte, en la edad adulta y ancianidad parece existir una disminución de la fortaleza de los músculos respiratorios y de las variables de función pulmonar. Se produce una reducción de la superficie alveolar y un aumento del espacio muerto, condiciones que se asocia a una hiperinsuflación de ambos pulmones, con una reducción de la capacidad de difusión alveolo-capilar, y por tanto una menor ventilación pulmonar. El entrenamiento de natación parece disminuir este proceso, observándose unos valores superiores en deportistas veteranos que en sedentarios de edades semejantes[26].

En cuanto a otros deportes, diversos autores han demostrado cómo el entrenamiento aeróbico aumenta la fuerza de los músculos respiratorios y la capacidad de resistencia en individuos sanos. Este efecto se traduciría a su vez en un incremento de FEV_1 y FVC [16, 26, 27].

3.2.3 Etnia

Está demostrado que la raza es considerada como un importante determinante de la función pulmonar. Cuando comparamos los valores espirométricos de los descendientes europeos caucasianos con otras razas, se observa habitualmente unos volúmenes estáticos y dinámicos inferiores y unos flujos espiratorios forzados menores, pero similares o incluso superiores al considerar la relación FEV_1/FVC.

La raza negra presenta volúmenes pulmonares inferiores a los individuos de raza blanca, pudiendo alcanzar diferencias de hasta 23%. De forma similar los americanos de México muestran unos valores espirométricos ligeramente superiores a los hispánicos no originarios de México. El mismo estudio sugiere que los valores de referencia para los americanos chinos pueden estimarse en el 88% de los predichos para los blancos, pero este ajuste puede no ser válido para las diferentes etnias asiáticas [28]. Los orientales e indios también muestran cifras inferiores a los caucasianos[29]. Estas diferencias persisten después de controlar variables como edad, talla, tabaquismo, polución ambiental, actividad diaria y altitud. Un estudio realizado sobre sujetos sanos no fumadores de Calcuta, observó valores inferiores a los caucásicos, americanos, europeos, jordanos e israelíes. Es probable que el estilo de vida activo, el estado nutricional y el nivel económico expliquen en parte estas diferencias, aunque hay que considerar también el medio ambiente industrial y la gran polución de esta ciudad [30].

La magnitud de las diferencias observadas entre distintas etnias no ha sido bien definida ya que estas son inferiores en asiáticos que han crecido en un ambiente y dieta occidental[6]. Si no se cuenta con valores propios para evaluar una determinada población, se sugiere utilizar factores de corrección, aunque la ATS sugiere no realizar correcciones para TLC y VR en hispanos o nativos americanos que viven en USA, pero sí para americanos africanos, asiáticos e indios. No existe aún una clara explicación para estas diferencias raciales, se atribuye en parte a factores como forma y altura de la caja torácica, mayor masa pulmonar (mayor número o tamaño alveolar) o incluso a diferente relación tronco/extremidades o variaciones en el cociente masa muscular/masa grasa.

Es importante poder predecir la normalidad en un examen espirométrico, en base a la talla y la edad, en una población determinada, ya sean países como Finlandia [31], Australia [3], o España [32], áreas geográficas [33, 34], o simplemente en relación a las diferentes razas[35].

Es importante resaltar el esfuerzo de la comunidad científica por intentar unificar los valores de referencia para cualquier sujeto que realiza una espirometría y que pueda ser utilizado independientemente de la etnia o edad, el estudio Quanjer propone fórmulas predictivas para sujetos desde los 3 años a los 95 controlando la raza del sujeto explorado[36].

La etnia condiciona los valores de función pulmonar observando unos niveles habitualmente inferiores a la raza caucásica. Diversos estudios coinciden en señalar que el tamaño corporal de los sujetos es el factor determinante de los niveles espirométricos[33-35, 37, 38]. Así en sujetos pequeños de una determinada etnia, los

valores espirométricos obtenidos muestran rangos inferiores a los esperados. Esta circunstancia motiva la adaptación en cada población de los niveles de referencia específica.

En el ámbito deportivo, existe una expectación por determinar si los mejores rendimientos deportivos van acompañados de unas características especiales en la función pulmonar.

Una reciente investigación estudió la dominancia de los corredores keniatas en carreras de media y larga distancia. Los altos niveles de VO_{2max} y la proporción de fibras musculares lentas son similares a los corredores europeos o caucasianos. En contraste, el gasto de oxígeno durante la carrera es menor, logrando velocidades mayores con gran economía de carrera. Esta parece ser la razón, ya que la función pulmonar presenta limitaciones al flujo espiratorio y unos altos niveles de implicación de los músculos respiratorios. Según el autor del estudio, los corredores keniatas no parecen poseer un sistema pulmonar con ventajas fisiológicas pulmonares, y los excelentes resultados en las competiciones podrían atribuirse a variaciones en la estructura y composición musculo esquelética [39].

3.2.4 Talla

La talla o estatura ha sido considerada uno de los factores más influyentes en los valores espirométricos. En relación a los volúmenes pulmonares, la talla es la variable predictiva más potente.[40]

Se puede observar cómo a lo largo de la vida la relación de la talla varía con los volúmenes pulmonares. Las diferentes características de cada edad suponen cambios específicos en la función respiratoria. Durante la edad pre-escolar y escolar, la relación entre talla y volúmenes pulmonares se muestra como una relación lineal. Posteriormente en la adolescencia, el crecimiento pulmonar se ve retrasado después del rápido aumento de la talla que ocurre durante el “estirón” puberal, y por ello cambia esta relación[41].

Un amplio estudio realizado sobre una población infantil española coincide en relacionar la talla con los valores espirométricos obtenidos en las valoraciones funcionales pulmonares en ambos sexos[32]. El estudio en diferentes poblaciones, como la iraní, valoró sujetos de 8 a 18 años hallando una correlación positiva de la talla con el parámetro espirométrico de FEV_1 para ambos sexos[6, 33]. Así mismo, Nadeem et al, realizaron tomas de parámetros antropométricos y espirométricos a 519 estudiantes entre 18 y 24 años de edad, y observaron una correlación positiva de todos los parámetros ventilatorios con la talla, aunque refieren que el coeficiente de correlación fue menor para PEF y FEF_{50}[34].

Otros estudios corroboran estos resultados acerca de la estrecha relación entre los valores espirométricos, especialmente de FEV_1 y las variables antropométricas de estatura en poblaciones de Bangladesh[6, 33] (Fig. 5).

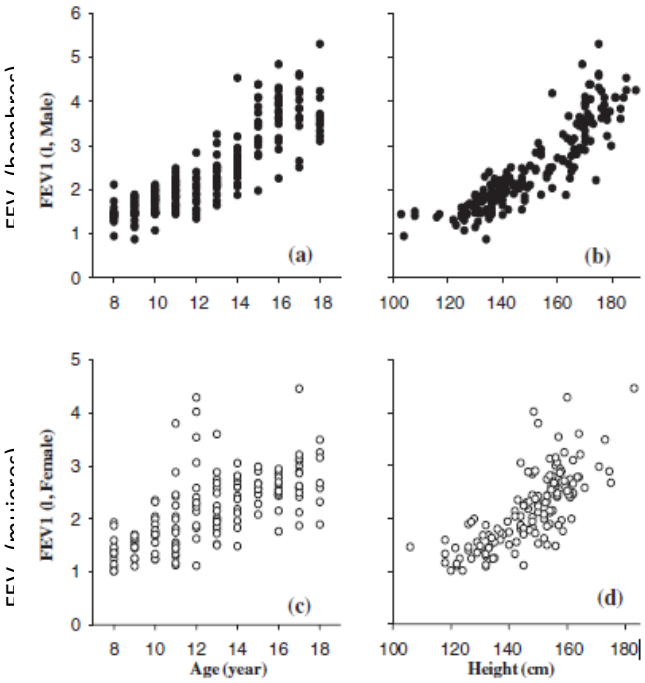


Fig. 5 Correlación de FEV_1 con la edad y la talla. Fuente: Boskabady, 2004

Una revisión sobre 29 estudios realizados en población autóctona de África sub Sahariana mostraba que, tanto en hombres como en mujeres, la talla condiciona los parámetros espirométricos, en concreto de FVC y de FEV_1[42].Coincidiendo con estos resultados diversos estudios relacionan positivamente la talla del sujeto con CV, FVC y FEV_1 [30, 35, 43] (Fig. 6).

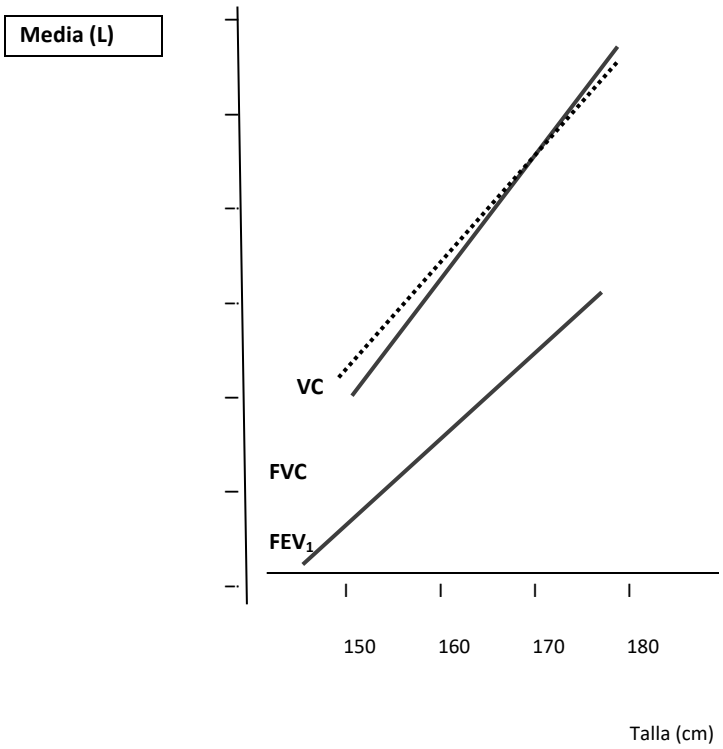


Fig. 6 Relación positiva de la talla del sujeto con CV, FVC y FEV_1.
Fuente Chatterjee, 1988.

También se observaron resultados semejantes en un estudio realizado en un colectivo italiano de 1280 aspirantes a oficiales de 16 a 23 años. Tras realizar una espirometría basal, comprobaron una correspondencia positiva de la talla del sujeto, perímetro torácico y los valores espirométricos FVC y FEV_1[44].

Los parámetros ventilatorios de diferentes estudios realizados en Karachi, India, en Irán y Oriente Medio también se relacionaron positivamente con la altura del participante, sobre todo en las mujeres de talla alta, que mostraron un FEV_1 superior[12].
En sujetos de elevada estatura se observan valores de 6-7 litros de FVC siendo habituales según estudios descriptivos sobre sujetos sanos[45].

Por tanto, desde diferentes poblaciones, ya sean europeas, africanas o asiáticas se obtienen los mismos resultados en cuanto a la relación de la talla respecto a las variables de función pulmonar, a mayor talla resultados espirométricos más elevados, especialmente de FEV_1

La práctica deportiva contribuye al correcto desarrollo musculo esquelético, cardiovascular y pulmonar. En concreto, recientemente, Johari et al observó cómo los triatletas presentan una clara relación entre sus medidas antropométricas, la talla, y los parámetros de función pulmonar. Los sujetos con más estatura presentan además más masa muscular[46]. La mayoría de los estudios con sujetos deportistas consideran la talla como variable fundamental, ya sea para predecir resultados o para comparar diferentes poblaciones [2, 15, 47, 48](Fig. 7).

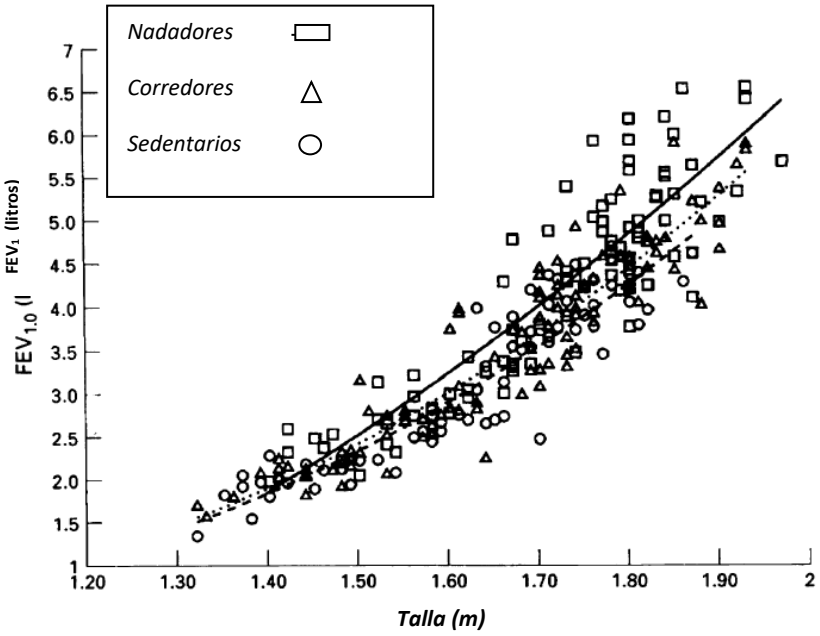


Fig. 7. Relación de FEV_1 y Talla en sujetos nadadores, atletas y sedentarios. Fuente: Doherty,1997

Parece claro que la talla condiciona junto a otras variables como el peso o la edad, los valores de función pulmonar, pero en relación al deporte practicado surge la duda de si los deportes de resistencia aeróbica o de potencia influyen más o menos en los resultados espirométricos. Un original estudio evaluó sujetos de 18 a 65 años que practicaban diferentes disciplinas deportivas y observó una clara relación de la talla con actividades de potencia mostrando niveles de FVC y FEV_1 superiores a los esperados[2].

3.2.5 Peso

Las tablas normalizadas de la espirometría toman como parámetro determinante el peso. El aumento o disminución parece influir de forma notable en los valores espirométricos.

La distribución de la grasa corporal, sobre todo su depósito a nivel abdominal, ha sido objeto de investigación debido a su repercusión sobre la función respiratoria. La acumulación de tejido graso repercute negativamente en la función ventilatoria de adultos y niños, encontrándose que un aumento del IMC se encuentra normalmente asociado a una reducción del FEV_1, de FVC, de la capacidad pulmonar total, de la capacidad residual funcional y del volumen espiratorio de reserva (ERV)[49]. En este sentido, Lazarus et al.[50] observaron una reducción de la función pulmonar

directamente proporcional al incremento de la grasa corporal, sugiriendo la necesidad de controlar el peso corporal en el seguimiento de los valores de función pulmonar de los pacientes. En varones adultos se han registrado reducciones del volumen espiratorio forzado en un segundo (FEV_1) de entre 13,9 y 23 ml por cada kg ganado de peso [51].

Es frecuente observar en determinados individuos cómo la cantidad de grasa corporal tiende a aumentar, y la masa muscular tiende a disminuir, especialmente en sujetos ancianos. Esta situación puede dar como resultado una proporción inversa entre peso corporal y volúmenes pulmonares[52].

Por otra parte, las restricciones torácicas que repercuten en la función muscular se encuentran a menudo asociadas a la obesidad y se atribuyen a los efectos mecánicos de la grasa sobre el diafragma. La debilidad de este músculo en la obesidad se asocia a ineficiencia muscular y a una reducción de la compliance de la caja torácica. Esta situación sucede en un 25% de sujetos con obesidad sin complicaciones y en un 40% en obesos con síndromes de hipoventilación. También se ha observado en estos pacientes un incremento en la resistencia de las vías aéreas. Apoyando esta hipótesis se han desarrollado estudios, en adultos de mediana edad, que demostraron que ambos extremos en el peso corporal, es decir los sujetos con bajo peso y aquellos con obesidad presentan valores bajos de FVC[50].

En sujetos con IMC por debajo de la normalidad los valores espirométricos son inferiores a los esperados. Probablemente se vea condicionado por un tamaño menor corporal, de la caja torácica y por ende, de los volúmenes pulmonares. Parece pues, que los parámetros de función respiratoria son inferiores cuando existe sobrepeso o en situaciones especiales de bajo peso o ancianidad.

En la práctica deportiva habitual, el peso determina junto a otros factores, los valores obtenidos en la espirometría. En diferentes estudios se confirma cómo en concreto, el peso muscular es el condicionante de unos niveles de función pulmonar superiores.

Según un estudio realizado en un grupo homogéneo de adolescentes sanos, los rangos de FEV_1 y FVC se relacionaron con el peso muscular. Parece que estos hallazgos podrían sugerir una función pulmonar superior en los atletas jóvenes si la proporción de peso muscular es más elevada[53]. Así mismo, en un estudio poblacional en Brasil se observó cómo el peso magro o peso muscular sería un buen factor predictivo en la espirometría, estableciendo una alta correlación con el buen estado físico deportivo[54].

En cuanto a las alteraciones de peso como en sobrepesos importantes, IMC superiores a 30 kg · m^{-2}, se observa que los parámetros de función pulmonar, capacidad residual funcional y reserva espiratoria, decrecen de forma exponencial resultando mediciones inferiores a las esperadas[10].

Recientemente, un grupo investigador portugués, confirmó los datos anteriores y además los relacionaron con valores de composición corporal. En sujetos con IMC elevados, con sobrepeso u obesidad, los parámetros espirométricos fueron significativamente disminuidos. Por otra parte, se confirmó que la actividad física regular induce cambios en el Índice de Masa Corporal y en los diámetros de cintura y cadera con unos niveles espiratorios superiores[55]. En el estudio se proponía realizar el ejercicio supervisado para disminuir los parámetros antropométricos alterados, y mejorar la función pulmonar mejorando por tanto, el estado de salud.

3.2.6 Edad

La edad es considerada una variable fundamental en la valoración de la función pulmonar y en la determinación de alteraciones patológicas. A lo largo de la vida los volúmenes pulmonares se modifican de acuerdo a diferentes variables, pero sin duda la edad adquiere una relevancia semejante a la talla, el peso o el género. Se han realizado diferentes estudios de la función respiratoria desde el nacimiento hasta la ancianidad. Jones et al. [41] realizaron un estudio sobre la función pulmonar en recién nacidos, y observaron que el volumen pulmonar crece muy rápido durante el primer año de vida y que mantiene una relación proporcional a la estatura del niño, por lo que los valores de referencia en estas edades deben observar esta aceleración en el aumento del volumen pulmonar y su interacción directa con el crecimiento en la talla.

De igual modo, un estudio realizado en la población infantil española hace observar la relación de las variables espirométricas con la edad. En el crecimiento los parámetros de la espirometría aumentan, especialmente el PEF que en niñas presentaba mayor correlación con la edad. [32]

Una investigación sobre más de 300 adolescentes corrobora los diversos estudios acerca de la estrecha relación entre los valores espirométricos con la edad [6, 34] (Fig. 8).

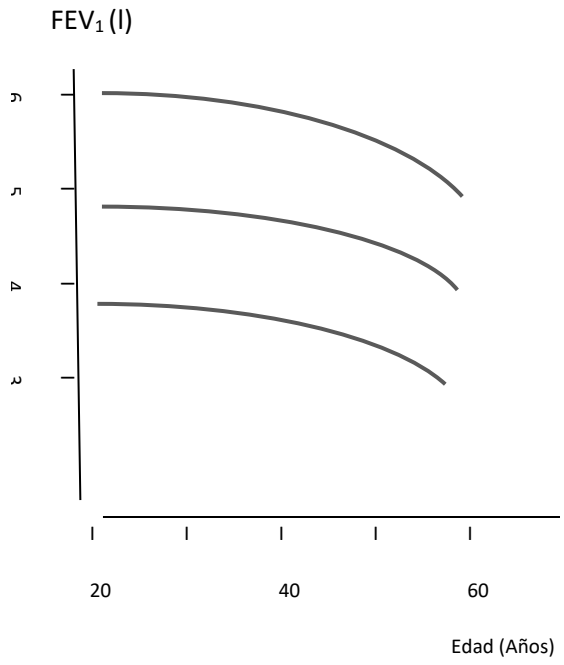


Fig. 8. Relación de edad y valores espirométricos FVC y FEV_1.
Fuente: MacAuley, 1999

La relación entre los procesos de crecimiento y envejecimiento y los cambios en la función pulmonar ha sido una de las variables más estudiadas en los últimos 20 años. En la época adulta, desde los 18-20 años en adelante, la función pulmonar va decreciendo según va aumentando la edad. Goldman, en 1959, fue el primero en demostrar que junto con la reducción de la altura con la edad también se producía una reducción en las capacidades pulmonares. El proceso de envejecimiento se caracteriza por una pérdida de fuerza muscular, de la capacidad cardiovascular y de la movilidad articular. Produce también una disminución general de la capacidad física que incluye una menor capacidad de transporte de oxígeno en sangre, menor trabajo cardíaco, afectando asimismo a las características específicas pulmonares como es la compliance de la caja torácica que se reduce. Pero no sólo es menor la compliance, también se ha observado un descenso de los valores promedio de flujos espiratorios y de las presiones máximas generadas[56, 57], que junto a una reducción de movilidad de la articulación costovertebral podrían causar una mecánica pobre de la respiración[58].

Sin embargo, existen autores que han podido comparar adultos jóvenes con ancianos y refieren que la edad no provoca cambios en el tamaño pulmonar (capacidad pulmonar total), pero sí en la capacidad funcional residual (FRC) y el volumen residual que aumentan mientras que la capacidad vital y la inspiratoria declinan a lo largo de la vida[54, 59, 60].

Diferentes estudios han relacionado los valores espirométricos con la edad[31]. Se confirma que a mayor edad, menores son los valores de FEV_1. Independientemente del sexo, se observó que hombres y mujeres, a mayor edad menor FVC y FEV_1 presentaban[61]. El estudio realizado en Karachi, la ciudad más importante de Pakistán, sobre 601 sujetos sanos y con diferentes actividades laborales, incluyendo estudiantes, fueron sometidos a test de función pulmonar. Tras completar un cuestionario de anamnesis edad, sexo y hábitos tabáquicos, se tomaron medidas antropométricas y se realizaron al menos tres maniobras espirométricas según las recomendaciones de American Thoracic Society. Los resultados mostraron, de forma semejante a los demás estudios, que existía una correlación negativa entre la función pulmonar y la edad[37].

3.2.7 Género

Se ha asumido durante muchos años que las mujeres adultas poseen una capacidad de difusión pulmonar, unos volúmenes pulmonares y unos flujos espiratorios máximos inferiores a los hombres de igual talla y edad, sin conocer de manera clara el motivo de estas diferencias[62]. La movilidad torácica y abdominal podría justificarlas parcialmente ya que el rango de los movimientos respiratorios normales de hombres y mujeres no son significativamente diferentes, pero en la respiración profunda las mujeres presentan unos movimientos notablemente menores al que realizan los hombres.

Una de las teorías postuladas al respecto[63] atribuye esta diferencia a la distinta cantidad y distribución de la grasa corporal. Sin embargo, las variaciones en la composición de la grasa corporal entre géneros sólo podrían justificar alrededor de un 7-10%. Lo que resulta indudable es la presencia de unas diferencias en la capacidad de difusión de oxígeno y en los factores mecánicos de la función respiratoria, como son el tamaño de la caja torácica y la movilidad abdominal [56]. La ATS expone que los parámetros de función pulmonar son superiores en hombres respecto a las mujeres, aún con el mismo peso o edad[14] e incluso después de corregir los valores por la talla corporal[29]. MacAuley ponderó esta comparación en un 68% del FVC de los hombres[61].

3.2.8 Altitud

No se ha encontrado diferencia en los parámetros de función pulmonar entre individuos que viven a nivel del mar y a 1400 metros sobre el nivel del mar. Sin embargo, se observa cómo los parámetros espirométricos son inferiores al vivir en una altitud superior a los 3000m [64]. Existen estudios realizados en ciudades de la cordillera de los Andes que muestran que los niños originarios de zonas de baja

altitud, al migrar precozmente a grandes alturas, o que han nacido y crecido en esta situación, muestran valores de función pulmonar significativamente menores que los niños que han nacido y crecido a bajas altitudes [65] .

Según la ATS, hasta una altitud de 1500m no parece tener referencia de reducción en los volúmenes pulmonares. Otra situación es la exposición aguda a altitud, en la que se puede observar una ligera disminución en volúmenes pulmonares, sobre todo por el aumento de líquido torácico[29].

Una revisión de 29 estudios (9690 hombres y 2638 mujeres de diferentes regiones de África y de USA) sobre sujetos sanos mostró que los parámetros espirométricos FVC y FEV_1 fueron superiores en los residentes en el Sur de África que los que viven en el Este o en África Central. Incluso los hombres del Sur de África muestran valores superiores a los de USA. Los autores refieren que la altitud es una variable importante que condiciona los parámetros de normalidad de la espirometría y que debe tenerse en cuenta el lugar dónde se realice la prueba. Por ello, proponen a la altitud como la variable explicativa más importante de la variación de FVC y FEV_1 en esta población. Los estudios realizados en USA con una altitud media de 400m no fueron considerados como una variable predictiva estadísticamente significativa. Es interesante cómo los autores cuantificaron un aumento o disminución de las variables espirométricas de FVC de 110ml por cada 1000m de altura desde la costa a la altura en Nueva Guinea[42].

3.2.9 Genética

El nivel máximo de la función pulmonar alcanzado en el inicio de la edad adulta y su posterior declive con la edad es probablemente influenciada por factores genéticos y ambientales[66].

Diversos estudios realizados sobre la población oriental, australiana o finlandesa discriminan y estudian sus valores espirométricos para ofrecer las tablas más ajustadas a cada población, teniendo como variable de base la diferencia genética que existe entre las diferentes poblaciones[3, 29, 34, 42, 67].

Así mismo, se analizó una población de 3000 empleados del sector ferroviario de la ciudad de Helsinki, representando a la población finlandesa sana. Con los datos de sus espirometrías se confeccionaron unas tablas de normalidad para dicha población pudiendo de esta manera predecir los valores espirométricos en una población genéticamente semejante[31].

Existen diferentes estudios que intentan relacionar determinados polimorfismos con las variables espirométricas. El avance tecnológico permite que estudios como

Genome-Wide Association Studies (GWAS) puedan identificar numerosos loci que influyen en la función pulmonar. Para ello se contó con un amplio número de sujetos de la población europea, 27.249 adultos, sobre los que se valoraron la presencia de cambios en el volumen espiratorio forzado en el primer segundo (FEV_1). El meta-análisis global producido sugiere una evidente asociación con el locus IL16/STARD5/TMC3 del cromosoma 15 ($P = 5.71 \times 10^{-7}$) [68].

Hancock en sus investigaciones propuso para FEV_1 un locus asociado diferente, el (INTS12-GSTCDNPNT) con una alta significación estadística. Además identificó 8 loci asociados con FEV_1/FVC (HHIP, GPR126, ADAM19, AGER-PPT2, FAM13A, PTCH1, PID1 y HTR4). Estos descubrimientos ofrecen nuevas perspectivas para la función pulmonar no patológica[66].

Otro estudio semejante sobre la población de ascendencia europea (46.411 personas) observó la asociación del genoma con el FEV_1 y con FEV_1/FVC. Se identificaron nuevas regiones que muestran asociación (combinado $P<5 \times 10^{-8}$) con la función pulmonar en MFAP2 , TGFB2 , HDAC4 , RARB , MECOM (también conocido como EVI1) , SPATA9 , ARMC2 , NCR3 , ZKSCAN3 , CDC123 , C10orf11 , LRP1 , CCDC38 , MMP15 , CFDP1 y KCNE2. La identificación de estos 16 nuevos loci puede proporcionar información sobre los mecanismos moleculares que regulan o modifican la normal función pulmonar[69].

Repapi et al, identificaron el locus 4q31 asociado con el FEV_1 o FEV_1 / FVC y variantes comunes en cinco loci adicionales, el 2q35 en TNS1 ($P = 1{,}11 \times 10^{-12}$) , el 4q24 en GSTCD ($2{,}18 \times 10^{-23}$) , el 5q33 en HTR4 ($P = 4{,}29 \times 10^{-9}$) , en 6p21 AGER ($P = 3{,}07 \times 10^{-15}$) y el 15q23 en THSD4 ($P = 7{,}24 \times 10^{-15}$) ARN_m. Los análisis mostraron la expresión de TNS1, GSTCD, Ager, HTR4 y THSD4 en el tejido pulmonar humano. Estas asociaciones ofrecen mecanismos para comprender la regulación de la función pulmonar e indicar posibles objetivos para actuar sobre enfermedades respiratorias [70].

VALOR ESPIROMÉTRICO	GEN / LOCI	
FEV_1	IL16/STARD5/TMC3 del cromosoma 15 INTS12-GSTCDNPNT	MFAP2 TGFB2
FEV_1/FVC	HHIP GPR126 ADAM19 AGER-PPT2 FAM13A PTCH1 PID1 HTR4	HDAC4 RARB MECOM SPATA9 ARMC2 NCR3 ZKSCAN3 CDC123 C10orf11 LRP1 CCDC38 MMP15 CFDP1 KCNE2+ 2q35 en TNS1 4q24 en GSTCD 5q33 en HTR4 6p21 AGER 15q23 en THSD4

Existe controversia en cuanto a si la genética puede determinar o no unos valores superiores de función pulmonar en sujetos deportistas. Se sugiere que determinados deportes, como la natación pueden hacer confluir a sujetos con unas características

genéticas especiales, que por el momento y el avance del conocimiento científico no es posible cualificar o cuantificar. Sólo se describe en algunos estudios que la genética puede ser la explicación a las variaciones observadas en deportistas en sus espirometrías. Tal es el caso de Dimitrou et al, que atribuye una dotación genética específica en nadadores que acrecentaría su función pulmonar[22]. Su estudio se realizó sobre 450 sujetos sanos entre 10 y 21 años, distribuidos en 159 nadadores, 130 atletas-jugadores de baloncesto-canoístas-remeros y 170 controles sedentarios. Todos fueron sometidos a valoraciones espirométricas y antropométricas. El resultado del estudio no pudo definir claramente si las características antropométricas de los nadadores con mayores volúmenes pulmonares mostraban una función pulmonar mayor por los entrenamientos o por la dotación genética[22].

3.3 ADAPTACIONES PULMONARES AL EJERCICIO

La respuesta pulmonar tiene como función principal el control homeostático de la concentración de los gases en la sangre arterial. El sistema respiratorio durante la práctica deportiva, especialmente de alta intensidad, ha de realizar las siguientes funciones: por un lado, contribuir a oxigenar y disminuir el grado de acidez de una sangre venosa mixta marcadamente hipercápnica e hipoxémica, y por otro, mantener un bajo grado de resistencia vascular pulmonar para evitar ó minimizar el paso de agua al espacio intersticial pulmonar (edema).

La consecución de estas funciones, que el aparato respiratorio debe garantizar durante el ejercicio, puede en ocasiones provocar unas consecuencias, que a su vez, se tornarán en limitaciones funcionales, como son la aparición de una fatiga significativa de los músculos respiratorios, y la demanda excesiva por parte de estos músculos de flujo sanguíneo y/o de oxígeno (VO_2) que tenga como consecuencia una demanda competitiva importante con los músculos esqueléticos locomotores que participan activamente en el ejercicio.

Un adecuado intercambio gaseoso entre el alveolo y la sangre requiere un óptimo acoplamiento entre la ventilación alveolar y la perfusión sanguínea a los alvéolos (VE/Q)[1].

Con respecto al efecto del desentrenamiento sobre la VE_{max}, un estudio analizó el efecto de un período de entrenamiento variado (9 horas semanales de carrera continua, ejercicios con pesas, bádminton, etc.) de 4 años de duración, seguido de un período de «desentrenamiento» de 2 años. Los resultados mostraron cómo la VE_{max} se incrementaba significativamente tras 4 años de entrenamiento, para disminuir, también de un modo significativo, tras el período de «desentrenamiento». Además, el VO_{2max} de los sujetos entrenados presentó un comportamiento similar[27].

3.3.1 Reposo

En reposo, la ventilación alveolar suele ser de aproximadamente 4,2 $l \cdot min^{-1}$, mientras que unos 5 litros de sangre atraviesan el lecho capilar pulmonar cada minuto (no olvidemos que el pulmón constituye el único tejido del cuerpo humano en el que la totalidad del volumen sanguíneo atraviesa su lecho vascular cada minuto). Así, el cociente entre ventilación alveolar y perfusión pulmonar, o cociente «ventilación-perfusión» (VE/Q) promedio en los pulmones es de 0,8. Este cociente no es igual en toda la extensión de los pulmones, ya que las áreas pulmonares de los vértices estarían en términos relativos mejor ventiladas y peor perfundidas que las de las bases. [71]

3.3.2 Ejercicio Ligero

Durante el ejercicio ligero la ventilación aumenta de manera lineal con la intensidad del trabajo físico desde condiciones de reposo hasta ejercicios de intensidad moderada (< umbral anaeróbico); el gasto cardiaco, por su parte, aumenta también de manera lineal con la intensidad del ejercicio casi hasta el esfuerzo máximo. Por consiguiente, el cociente VE/Q durante la realización de ejercicios de intensidad moderada (< umbral anaeróbico) tiende a mantenerse cerca de la unidad, con relaciones ligeramente superiores (1,2-1,3) en las bases y en los vértices[72].

Si consideramos a los buceadores profesionales deportistas de bajo componente dinámico y practicantes de ejercicio ligero, observamos según una reciente revisión que los valores pulmonares funcionales, según diferentes autores participantes de una amplia revisión, pueden aumentar o disminuir. Se ha observado que durante los primeros años de buceo profesional el flujo periférico bronquial disminuye y con ello el $FEF_{75\%}$. A los 10-12 años de experiencia profesional, esta disminución se acentúa y afecta a los flujos $FEF_{25-75\%}$. Los autores reflejan que este colectivo deportivo está sometido a un medio hiperbárico y este puede ser el principal motivo de las alteraciones que aparecen en la función pulmonar[73].

3.3.3 Ejercicio Moderado

Durante la realización de ejercicio de intensidad moderada la ventilación y perfusión regionales se hacen más uniformes, produciendo un cociente VE/Q mucho más equilibrado en todo el pulmón. Aunque el flujo sanguíneo aumenta en vértices y bases, en términos relativos lo hace más en los vértices, debido principalmente al aumento de presión en la arteria pulmonar que se asocia al ejercicio; de esta forma los vértices intervienen de una forma más notable en la captación de oxígeno.

El entrenamiento de resistencia induce cambios significativos o adaptaciones en la ventilación pulmonar durante el ejercicio tanto submáxima como de máxima intensidad.

3.3.4 Ejercicio de alta intensidad

En el ejercicio de máxima intensidad al incrementarse el VO_2max de un individuo por medio del entrenamiento, también aumenta la ventilación máxima. En efecto, al mejorar la condición aeróbica, el mayor requerimiento energético del organismo —expresado como VO_2— necesario para poder soportar cargas de ejercicio más elevadas se traduce en una mayor producción de CO_2 (VCO_2) que debe ser eliminado a través de una ventilación alveolar incrementada.

Por otro lado, a altas intensidades de ejercicio (>umbral anaeróbico) se produce un incremento desproporcionado de la ventilación alveolar. La ventilación puede pasar de 5 $l \cdot min^{-1}$ en condiciones de reposo hasta alrededor de 200 $l \cdot min^{-1}$ en atletas entrenados durante un ejercicio muy intenso, lo que representa una proporción de 1 a 35. En cambio, el incremento del gasto cardíaco suele ser lineal con relación al esfuerzo realizado, aun en esfuerzos máximos, pudiendo aumentar hasta 5 ó 6 veces en deportistas jóvenes y entrenados desde condiciones de reposo hasta un ejercicio de máxima intensidad (desde 5 $l \cdot min^{-1}$ hasta 25 ó 30 $l \cdot min^{-1}$, respectivamente), una proporción mucho menor que para el incremento de la ventilación. Por consiguiente, en individuos sanos, el cociente VE/Q puede aumentar por encima de 5,0, siendo además la perfusión del lecho capilar pulmonar bastante uniforme para asegurar una adecuada oxigenación de la sangre procedente del sistema venoso. Por consiguiente, el espacio muerto anatómico disminuiría al aumentar la relación ventilación-perfusión.

No se conocen completamente las razones reales por las cuales la relación VE/Q se incrementa durante ejercicio de alta intensidad, aunque se han postulado varios mecanismos. En primer lugar, el incremento del cociente VE/Q podría ser causado por una vasoconstricción no uniforme en el lecho vascular pulmonar (Fig. 9). Otros autores otorgan importancia a la existencia de un cierto grado de broncoconstricción pulmonar a altas intensidades de ejercicio. Por último, el intercambio gaseoso pulmonar expresado como VE/Q podría verse alterado por la aparición de edema pulmonar intersticial durante ejercicios muy intensos. Además, este edema pulmonar no se reabsorbería hasta transcurridos 20 minutos de ejercicio[72].

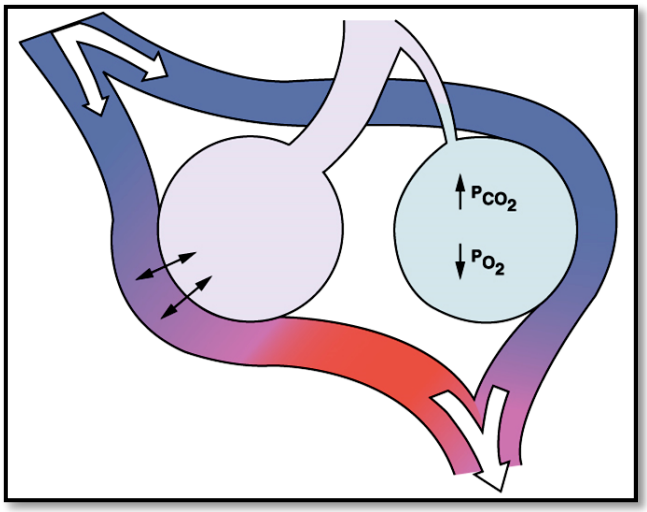


Fig. 9 Intercambio gaseoso en ejercicio intenso. Fuente: Levy 2009

Durante el ejercicio la ventilación minuto (VE) puede aumentar significativamente incrementando la frecuencia de las respiraciones, la profundidad de las mismas, o ambas. Durante un ejercicio intenso, la frecuencia respiratoria de varones jóvenes y sanos suele ser de 35 a 45 respiraciones por minuto, si bien pueden encontrarse valores de hasta 60 ó 70 respiraciones por minuto en atletas de elite durante un ejercicio de máxima intensidad Por otra parte, es normal hallar cifras de volumen corriente respiratorio de 2 ó más litros de aire. [74]Por tanto, a altas intensidades de ejercicio, cuando aumentan tanto la frecuencia respiratoria como el volumen corriente, la ventilación minuto puede alcanzar y superar los 100 litros por minuto (17 veces más que los valores de reposo). En atletas varones bien entrenados en deportes de resistencia, la ventilación máxima ($VE_{máx}$) puede superar los 185 litros por minuto habiendo alcanzado valores de 220 l/min en ciclistas profesionales de resistencia. De todos modos, incluso para unos valores tan altos de ventilación minuto, el volumen corriente no suele exceder el 55-65% de la capacidad vital en los seres humanos, ya sean éstos sujetos sedentarios o atletas bien entrenados (señalar que el aumento del volumen corriente se produce a expensas sobre todo del volumen de reserva inspiratorio, afectando al volumen de reserva espiratorio en menor cuantía).

Por otra parte, la respuesta ventilatoria al CO_2 se correlacionaría negativamente con la VE_{max} tras un período de entrenamiento, y la respuesta o sensibilidad respiratoria a la hipoxia sería menor en atletas bien entrenados que en individuos sedentarios. Ambas disminuciones en la respuesta ventilatoria a la hipoxia y a la hipercapnia en individuos entrenados vendrían a demostrar que los atletas bien entrenados pueden tolerar mejor incrementos en la presión parcial de CO_2 y descensos en la presión

parcial de O_2 durante un ejercicio de máxima intensidad. Esta capacidad de los atletas entrenados estaría también en relación con el aumento de la $VE_{máx}$ observada como consecuencia del entrenamiento[27].

3.4 EJERCICIO Y VARIABLES ESPIROMÉTRICAS

Diversos estudios han observado la influencia de la actividad física en la fisiología cardiorrespiratoria, observando variaciones en los resultados de la valoración espirométrica. Por consiguiente parece interesante determinar los patrones de función pulmonar en relación al entrenamiento.

Los resultados mostrados en diferentes estudios tratan de analizar la relación entre los volúmenes pulmonares y el buen nivel de actividad física. El estudio de Neder et al. propone que esta relación es moderada, lo cual se confirmaría al observar que los sujetos jóvenes más activos desde punto de vista deportivo, presentarían unos parámetros espirométricos superiores[54].

Coincidiendo con estos resultados, un estudio comparativo entre sujetos sedentarios frente a practicantes de ejercicio supervisado reflejó que existían diferencias en los parámetros espirométricos presentando valores superiores en general en aquellos que realizan ejercicio de forma asidua[55](Fig. 10).

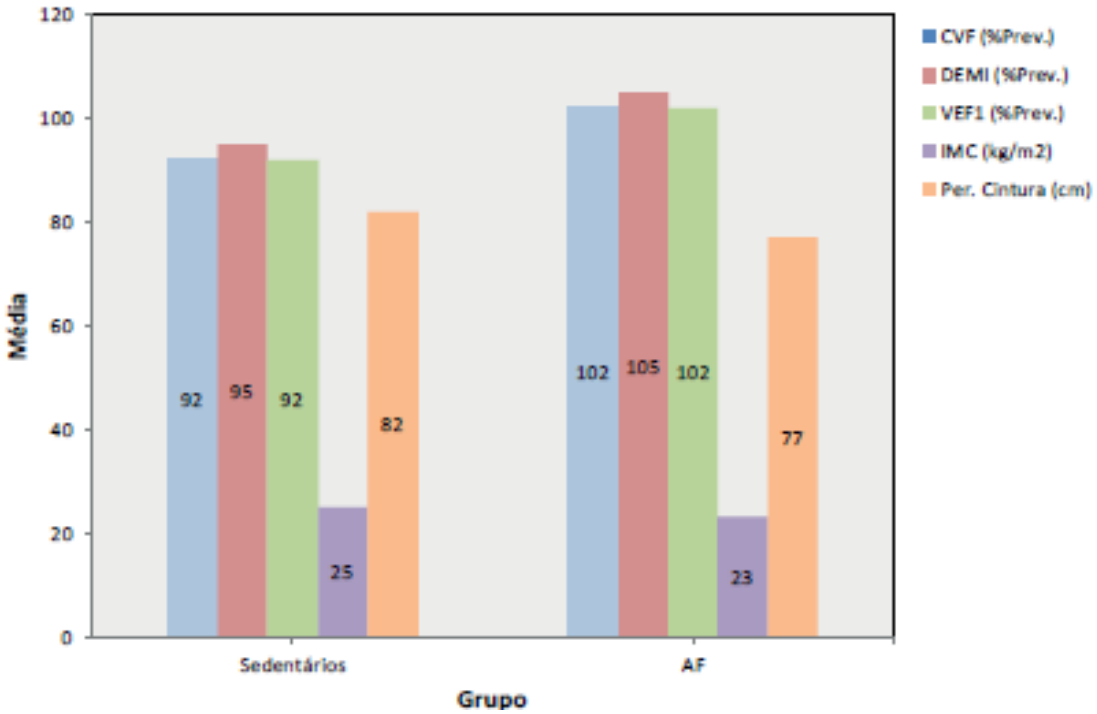


Fig. 10. Medias de valores en sujetos sedentarios y físicamente activos. Fuente: Paulo, 2013.

Al estudiar los diferentes deportes y sus valores espirométricos, parece que la disciplina deportiva que produce un mayor efecto adaptativo de la función pulmonar es la natación[75] (Fig. 11).

Grupos	FVC(L)	FEV(L)	FEV_1/FVC (%)
Natación	4.61±0.91**	3.74±0.78	80,69±8.41*
Resistencia	3.88±0.87	3.31±0.90	85.51±13.65
Pelota	4.20±0.71	3.76±0.61	89.92±6.78
Fuerza	4.63±1.22*	3.70±0.75	79.26±18.17*
Estático	4.11±0.87	3.71±0.84	90.36±10.50
Control	4.00±0.88	3.58±0.70	90.0±6.30

**p<0.001 vs. grupo control*

***p=0.015 vs. grupo control*

Fig. 11 Valores espirométricos en diferentes grupos. Fuente: Rong et al. 2008

De igual forma, el estudio de Lazovic-Popovic realizado sobre diferentes deportes, muestra unos valores espirométricos superiores en nadadores al compararlos con futbolistas y controles. El entrenamiento, aún de moderada intensidad, tendría un impacto positivo en los niveles de la función pulmonar[47].

En atletas profesionales se llevó a cabo un estudio según las diferentes disciplinas, determinándose los parámetros ventilatorios. En los jugadores de baloncesto, waterpolo y remo se observaron niveles de VC y FVC y FEV_1 superiores a los sujetos controles. Los futbolistas y los jugadores de vóley presentaban un VC menor pero un FVC superior en fútbol en comparación con el grupo control sedentario[48].

La realización regular de actividad física mejora la eficiencia de la función pulmonar, especialmente de FEV_1, además de contribuir de forma preventiva a mejorar también los trastornos asociados al estilo de vida sedentario[21](Fig. 12).

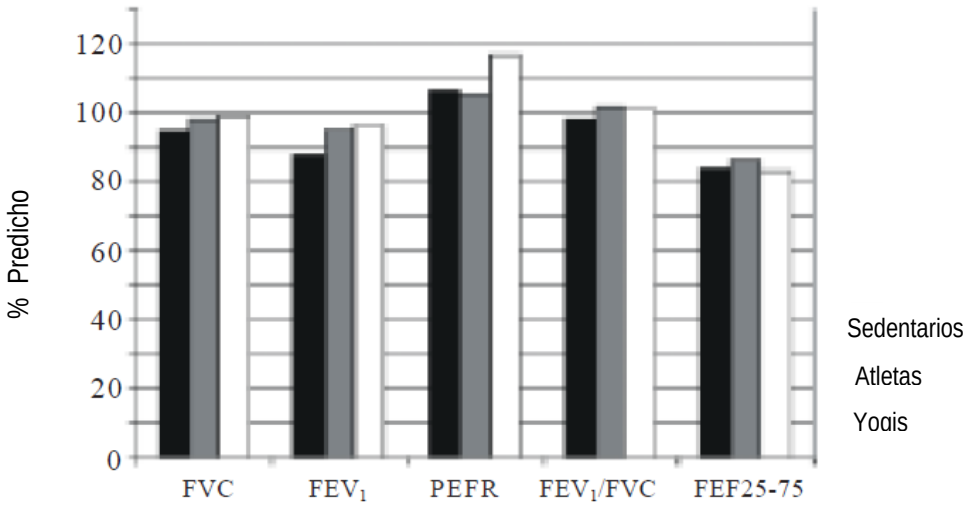


Fig. 12. Parámetros de función pulmonar en atletas, yogis y sedentarios. Fuente: Prakash, 2007

3.4.1 FVC

La FVC predice la compliance pulmonar y de la pared torácica. Diversos autores refieren que los niveles de FVC y FEV_1 tras 8 semanas de ejercicio controlado aumentan. Estas variaciones podrían ser debidas a la broncodilatación inducida por el ejercicio, a la reducción de las resistencias aéreas y a la mejora de la ventilación pulmonar[12].

MacAuley et al, observaron también una estrecha relación entre la actividad física y la función pulmonar. En los hombres más activos la FVC era superior, incluso controlando variables que pudieran incidir, como edad, IMC, ingesta de alcohol, tabaquismo, educación y clase social. Se observó una diferencia de 0.51 l entre los más activos frente al grupo menos activo[61].

De igual forma, Palka menciona en un estudio homogéneo de deportistas adolescentes sanos, que los parámetros respiratorios son superiores a los jóvenes sedentarios, en concreto muestra una FVC un 7% superior[53].

Unos valores superiores a la normalidad en los sujetos físicamente activos se pueden encontrar también en atletas que profesionalmente realizan resistencia aeróbica con niveles de 7-8 litros de FVC [45](Tabla 2).

Grupo		Edad (años)	IMC (Kg/m²)	PC (cm)	FVC (% prev)	DEMI % Prev	FEV_1
Ejercicio	m±DS	21.48±2.79	23.10±2.11	76.83±5.42	102.28±5.49	104.79±6.35	101.86±6.46
Sedentario	m±DS	20.86±1.27	25.10±2.74	82.14±7.24	92.21±4.51	94.79±3.82	92.43±4.10
Total	m±DS	21.28±2.41	23.75±2.50	78.56±6.53	99.00±7.01	101.53±7.35	98.79±7.29
PC: Perímetro de cintura; DEMI: Débito Espiratorio Máximo instantáneo							

Tabla 2 Valores espirométricos en sujetos deportistas y sedentarios.
Fuente: Paulo, 2013.

Es interesante observar las diferencias espirométricas en los buzos, que a diferencia de la natación no precisa de un componente dinámico alto para su desarrollo. Un estudio realizado las Fuerzas Armadas Polacas describe un análisis sobre buceadores profesionales y candidatos en formación. 52 buzos, 42 profesionales y 10 candidatos fueron sometidos a una valoración pulmonar mediante una espirometría en los exámenes médicos periódicos o previos a la certificación oficial. Se observó que el 95% de los buzos obtenían valores de FVC un 30% superior a los predichos[76].

Una reciente investigación analiza la relación entre los tiempos empleados en completar una carrera de maratón y las pruebas de función pulmonar. Sobre un total de 110 maratonianos observaron que los sujetos más rápidos mostraban unos valores de FEV_1 por Kg de peso más elevados, también un mayor FVC/Kg que los corredores más lentos. Observaron además, que el tiempo empleado en la carrera de maratón se correlacionaba con FVC, FEV_1 de forma estadísticamente significativa. Estos resultados sugieren una relación entre la función pulmonar y las marcas en la carrera de maratón, y que una mayor capacidad pulmonar por Kg de peso puede ser un buen indicador de rendimiento en los corredores aficionados a la carrera de maratón[77].

3.4.2 FEV_1

Los rangos de FEV_1 pueden variar con la práctica del ejercicio físico. El entrenamiento puede modificar los niveles de esta variable espirométrica como se refiere en un estudio realizado en 2012 en atletas máster de 35 a 86 años comparando sus niveles con los de la población sedentaria de edad semejante. Aquellos que realizaban ejercicio físico desde su adolescencia presentaban niveles de FEV_1 superiores al grupo sedentario y a lo esperado para su edad. Estas variaciones serían secundarias a los entrenamientos, considerando que estos valores además ya eran superiores en su juventud[78]. En otros deportes, como el buceo profesional el FEV_1 disminuye del

40 al 70% respecto a los valores esperados, debido a las características especiales de esta especialidad deportiva[76].

Por otra parte, al comparar deportistas que emplean en sus ejercicios de forma consciente la respiración, como el yoga, con deportistas de resistencia como los maratonianos, la diferencia era significativamente mayor en sujetos que practican yoga que en los corredores de maratón. Aunque ambos grupos revelaron niveles de función pulmonar superiores a la población sedentaria[21].

De igual forma se investigó un grupo de 159 nadadores y otras disciplinas deportivas frente a un grupo sedentario. Los hallazgos confirmaron que los nadadores, hombres y mujeres, presentaron unos niveles de ventilación pulmonar superiores a los demás deportistas y al grupo de sedentarios, en concreto el FEV_1 fue un 11% superior a los niveles esperados[22].

Un reciente estudio serbio observó las espirometrías en diferentes especialidades deportivas de natación y futbol, frente a sujetos sedentarios. Los dos grupos entrenados obtuvieron valores de FEV_1 y FVC superiores a los sedentarios, además observaron unos valores mayores en nadadores que en futbolistas[47] (Tabla 3).

Grupo	Nadadores	Futbolistas	Controles	N/F/C $_1$	N/F$_2$	N/C$_2$	F/C$_2$
Valores de medidas espirométricas (L)							
VC	6.2 (1.3)	5.4 (0.8)	5.1 (0.9)	<0.001**	<0.001**	<0.001**	0.006**
FVC	5.9 (1.3)	5.2 (0.8)	4.9 (0.9)	<0.001**	0.001**	<0.001**	0.008**
FEV_1	4.9 (0.8)	4.6 (0.7)	4.4 (0.9)	<0.001**	0.005**	<0.001**	0.014*
FEV_1/FVC	80.6 (7.6)	85.9 (8.4)	84.5 (6.9)	<0.001**	<0.001**	0.026*	ns
PEF	9.5 (2.1)	9.2 (2.0)	9.2 (2.1)	ns			
MVV	169.3 (45.7)	160.9 (35.5)	161.2 (35.8)	ns			
Porcentaje de valores predichos de espirometría (%)							
VC	116.2 (14.7)	98.8 (10.8)	101.1 (10.0)	<0.001**	<0.001**	<0.001**	ns
FVC	115.1 (12.0)	98.1 (12.2)	99.9 (9.9)	<0.001**	<0.001**	<0.001**	ns
FEV_1	112.1 (10.2)	101.9 (12.7)	102.5 (9.7)	<0.001**	<0.001**	<0.001**	ns
FEV_1/FVC	96.3 (9.4)	102.0 (9.9)	100.7 (8.1)	0.002**	0.001**	0.047*	ns
PEF	103.9 (13.3)	102.8 (20.9)	103.3 (16.3)	ns			
MVV	114.9 (18.1)	106.4 (22.2)	113.3 (19.7)	ns			
Los valores se expresan como media(DS); N:nadadores; F:futbolistas;C:controles;ns:no significativa;							
$_1$ Kruskal-Wallis ANOVA para muestras independientes							
$_2$Test U Mann-Whitney							
*Nivel de significación: p<0,05							
**Nivel de significación: p<0,01							

Tabla 3 Valores de función pulmonar en nadadores, futbolistas y sedentarios.
Fuente: Lazovic-Popovic, 2016

De los diferentes parámetros utilizados para la medición de las funciones pulmonares, tal vez FEV_1 sea el más relevante en la detección de los cambios pulmonares de manera sencilla y eficaz en la clínica diaria[79].

3.4.3 FEV_1/FVC

Durante los entrenamientos el deportista va adquiriendo mejores niveles de función pulmonar, tal sucede también con la relación FEV_1/FVC.

Existe una circunstancia especial de la función pulmonar, como es el caso de los buceadores, estos presentan una FVC superior a la media de la población con marcadores de atrapamiento aéreo, FEV_1/FVC, reducido. Esta situación hace que en ocasiones se declare no apto para la actividad física a profesionales del buceo. Esporádicamente se puede observar un FEV_1/FVC reducido en la población general con un alto nivel de entrenamiento muscular y en profesionales que fuerzan la espiración en sus entrenamientos, pero no es lo habitual. Los músculos respiratorios entrenados son la primera causa que incrementa los volúmenes pulmonares en la espiración forzada. Este efecto además se acompaña de distensión a nivel ductal y alveolar[76].

Degens et al, realizó un estudio comparativo de atletas frente a una población sedentaria, y observó que las espirometrías realizadas a los sujetos mostraban una relación FEV_1/FVC aproximadamente un 5% más alto en los sujetos sedentarios que en los atletas[78].

Los efectos del entrenamiento han sido valorados en sujetos sanos, pero se ha publicado uno de los escasos estudios realizados en sujetos quemados, en el que se demuestra que mejoran las capacidades cardiovasculares y respiratorias gracias a un entrenamiento dirigido. Al realizar las valoraciones al final de un periodo de entrenamiento personalizado, siempre superior a 12 semanas, se observó que los participantes presentaban unos valores de FEV_1/FVC menores que el grupo control sano, pero muy superiores a los quemados no entrenados[80].

3.4.4 $FEF_{25-75\%}$

El mesoflujo o $FEF_{25-75\%}$ se modifica con el ejercicio como lo refieren distintos estudios al valorar la función pulmonar en los deportistas. En los nadadores se observó un $FEF_{25-75\%}$ superior en hombres respecto a las mujeres y de ambos respecto a la población sedentaria[25, 75].
Determinados deportes han sido objeto de estudio por las peculiaridades que producen en los deportistas, como es el caso de los buceadores. Al realizar un estudio en sujetos que de forma habitual hacían inmersiones, se observó que el 70%

de los valores de $FEF_{25-75\%}$ de la espirometría basal estaban en un rango entre el 50 y el 70% de los valores esperados. Diversos estudios confirmaron un deterioro del flujo de pequeñas vías aéreas relacionadas con el buceo, confirmando también un claro descenso de $FEF_{25-75\%}$ según los buceadores envejecen. Es probable que una de las razones sea que cierto número de alveolos y ductos alveolares no sean utilizados normalmente en la respiración de los buzos profesionales. Así pues, la población de buceadores mostraba unas características espirométricas especiales con $FEF_{25-75\%}$ inferiores a los esperados. Los autores proponen que sería interesante observar los cambios a largo plazo y si la limitación de las vías ductales podrían condicionar y/o limitar la vida diaria de estos profesionales[76].

3.4.5 PEF

El estudio de PEF en la función pulmonar durante el ejercicio muestra según Degens et al, una relación positiva. Además esta relación muestra niveles superiores en hombres respecto a las mujeres y respecto a los sedentarios. Por otra parte, un estudio en atletas máster confirmó que los valores de PEF se mantienen a pesar de que el PEF disminuye con la edad. La mejora de la función respiratoria de los atletas máster puede ser reflejo de su predisposición a practicar y participar en actividades y competiciones deportivas de forma habitual y rutinaria[78].

3.4.6 MVV

La prueba de **máxima ventilación voluntaria (MVV)** se emplea generalmente en el ámbito deportivo. Valora la máxima capacidad mecánica pulmonar de ventilar aire[81]. Normalmente la MVV representa un valor un 25% superior al de la ventilación pulmonar máxima obtenida en una prueba de esfuerzo, lo que indica que el ejercicio físico (aun el de máxima intensidad) no llega a solicitar del pulmón toda su capacidad mecánica de movilizar aire. Los valores de MVV en deportistas suelen ser ligeramente superiores a los de la población general. Los valores medios son de 180-190 litros/minuto en deportistas de resistencia varones y de 130-140 en mujeres deportistas de tamaño medio alto [82]. El valor de la MVV puede mejorarse con el entrenamiento específico de los músculos respiratorios y con el propio entrenamiento de resistencia aeróbico. Así en deportistas de elite se encontró diferencias muy pequeñas entre MVV y VE_{max}, ya que su alto grado de entrenamiento les permitía alcanzar intensidades de ejercicio que suponían un alto estrés para el sistema ventilatorio.

3.5 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS

3.5.1 Justificación de la investigación

Aunque la espirometría es una prueba ventilatoria validada y normalizada por poblaciones geográficas y por razas, en nuestro conocimiento no hay estudios publicados sobre la normalidad de parámetros espirométricos basales en deportistas de resistencia aeróbica aficionados y con la modalidad de ejercicio de resistencia aeróbica. Disponer de esos valores de normalidad sería de gran utilidad y se podría incorporar como una variable más en los reconocimientos médicos deportivos realizados en deportistas y personas físicamente activas, ayudando a valorar la normalidad fisiológica pulmonar y el establecimiento de diferencias en la capacidad funcional aeróbica entre sujetos[83, 84]. Desde una perspectiva práctica, el estudio de las bases fisiológicas de la espirometría en reposo puede permitir utilizar estas técnicas tanto para un control de las adaptaciones al entrenamiento, como para una mayor precisión en la administración de cargas de entrenamiento

3.5.2 Hipótesis

Los sujetos sanos físicamente activos, deportistas de resistencia aeróbica aficionados, presentan valores espirométricos superiores a la población general. Esto hace necesario establecer una referencia específica de normalidad que pueda permitir, con mayor precisión, el control de las cargas del entrenamiento y la adaptación al mismo en este colectivo.

3.5.3 Objetivos

Para dar cumplimiento a esta hipótesis se plantea como objetivo de la investigación:

1. Comparar los valores espirométricos de nuestra población deportista de resistencia aeróbica aficionados con los valores de referencia establecidos para la población general (CECA).

2. Hallar unos valores de normalidad de la espirometría basal forzada que puedan ser utilizados como referencia en hombres sanos y físicamente activos, en concreto, deportistas de resistencia aeróbica.

3. Determinar la relación entre los valores espirométricos y edad, así como con las variables antropométricas, Talla y Peso.

4. Establecer relaciones entre los valores espirométricos y variables relacionadas con la ventilación y el intercambio gaseoso durante el ejercicio (VO2max, VEmax, VE/ VO2max, VE/ VCO2max)

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4 MATERIAL Y MÉTODOS

4.1 Diseño

Se realizó un estudio descriptivo transversal referido a la población de deportistas de resistencia aeróbica aficionada, por tanto sujetos físicamente activos, que acudió al centro de medicina deportiva entre marzo 2015 y junio de 2016.

4.2 Población del estudio y método para la recogida de datos

Los sujetos fueron seleccionados al realizar unos exámenes médico-deportivos de forma voluntaria. Todos realizaron una espirometría basal y una ergoespirometría.

Los participantes del estudio mostraban variada condición física aeróbica y nivel de entrenamiento, todos habían realizado ejercicio con regularidad durante al menos los últimos 6 meses y su esquema de entrenamiento consistía al menos en 3 sesiones por semana de ejercicio cardiovascular, carrera, natación o ciclismo. Los sujetos realizaron las pruebas de esfuerzo en el ergómetro más afín a la modalidad de actividad practicada.

Todos los deportistas seleccionados fueron de raza blanca caucásica. Además todos participaron voluntariamente en la investigación, conforme a los principios enumerados en la Declaración de Helsinki, otorgando su consentimiento verbal y escrito (Anexo 1).

El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Universidad de Alcalá de Henares (Anexo 2).

4.3 Criterios de inclusión

- Sujetos sanos que realizan ejercicio aeróbico de forma habitual (al menos 3 días por semana con una duración superior a 30 minutos cada día)
- Sujetos, varones, mayores de 18 años
- No fumadores

4.4 Criterios de exclusion

- Sujetos medicados en el momento de la exploración
- Sujetos con procesos víricos, inflamatorios o tumorales
- Alteraciones psicológicas o emocionales importantes
- Profesionales del deporte

4.5 Variables

Como variables independientes se consideraron la edad, la talla, el peso y actividad física.

Las variables dependientes se consideraron la capacidad vital forzada (FVC), el volumen espirado máximo en el primer segundo de la espiración forzada (FEV_1), el flujo espiratorio forzado entre el 25% y el 75% de la capacidad vital forzada ($FEF_{25-75\%}$) y el flujo espiratorio máximo o pico (PEF).

4.6 Procedimiento

Cada participante del estudio completó un cuestionario de salud, en el que se recogían edad, sexo, hábitos deportivos y nutricionales así como síntomas y alteraciones de todos los aparatos y sistemas (Anexo 3).

Además el deportista recibió información sobre el procedimiento de la evaluación y los pasos de la exploración clínica. (Anexo 4)

Antes del test (24h) los sujetos se abstuvieron de tomar cafeína o estimulantes y no realizaron actividad física intensa. Se les informó de que no debían tomar alimentos al menos 2 horas anteriores al test.

La exploración previa a la Espirometría consistió en tomar medidas antropométricas de peso, talla, (Balanza con Tallímetro SECA 799), porcentaje de grasa corporal mediante pliegues cutáneos (Plicómetro Holtain) y se determinó el IMC. La exploración cardiaca se inició con la auscultación para descartar arritmias y alteraciones valvulares, se midió la Tensión Arterial por auscultación, y se realizó un electrocardiograma de 12 derivaciones en decúbito supino y en bipedestación. Además se realizó una exploración sistemática por aparatos con especial interés a nivel del aparato respiratorio.

La exploración funcional respiratoria se realizó con el sistema ZAN 600 USB CPX , (Messgeräte Gmbit, Alemania) que comprende un analizador de gases espirados respiración a respiración con una aplicación para espirometría en reposo y otra especializada en espirometría de esfuerzo. Consta de un sensor de flujo y un adaptador bucal para la espirometría de reposo y facial para la Ergoespirometría. Este aparato está conectado a un ordenador HP.

Previamente a la realización de la espirometría se instruyó a cada sujeto sobre el procedimiento, recalcando la importancia de la máxima inspiración, el máximo esfuerzo durante la maniobra espiratoria y el evitar escapes o fugas de aire a través de la pieza bucal (Fig. 14).

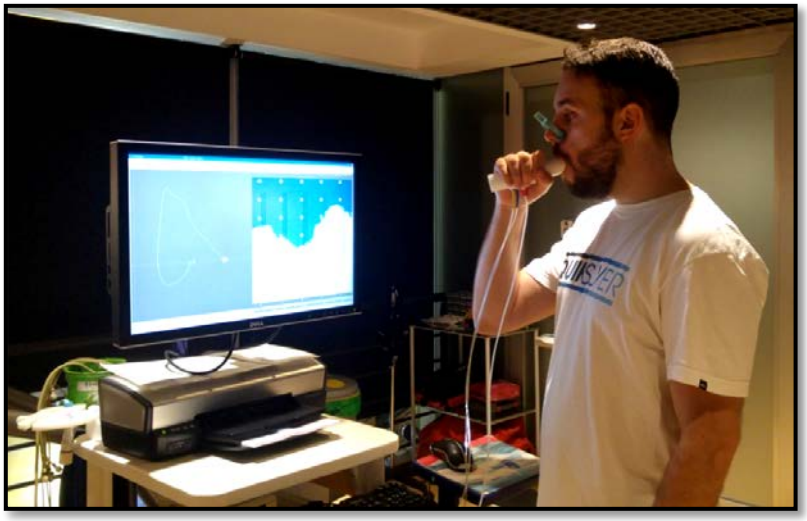


Fig. 13 Realización de espirometría. Fuente: Centro Médico Reebok, 2016.

La maniobra de espiración forzada se realizó en bipedestación, cuidando que el tronco y la cabeza estuvieran erguidos durante toda la maniobra y con la utilización de una pinza nasal. La maniobra comenzaba con respiraciones normales, a continuación el sujeto debía inspirar de forma completa, hasta llegar a la inspiración máxima, y tras una breve apnea, expulsaba el aire a la máxima velocidad posible, manteniendo el esfuerzo durante toda la maniobra con una duración mínima de seis segundos hasta llegar al volumen residual[85, 86]. El número de maniobras fue de tres hasta un máximo de ocho ya que por encima de este número no se consiguen valores satisfactorios. El descanso entre espirometrías fue de al menos quince segundos. La corrección de la maniobra se juzgó tanto por la forma de iniciarse como por la finalización de la misma, observando tanto al paciente como el trazado de la gráfica. A nivel gráfico, el trazado debía seguir una deflexión neta, brusca y posteriormente dibujar una concavidad hacia arriba sin rectificaciones cuya finalización no debía ser perpendicular o brusca[32].

Fig. 14 Flujómetro, Jeringa de calibración, boquilla y pinzas.
Fuente: Centro Médico Reebok, 2016.

Para obtener una alta calidad de datos de la función pulmonar fue necesario que la instrumentación fuera precisa y estuviera bien ajustada, que el paciente o sujeto fuera capaz de aceptar un entrenamiento y capaz de repetir las medidas y que el técnico estuviese motivado para optimizar las respiraciones del paciente[38, 40]. (Fig. 15)Aunque lo más importante para obtener unos parámetros de función pulmonar exitosos es la motivación. En los Estados Unidos los técnicos son frecuentemente terapeutas respiratorios y necesitan una preparación especial para obtener los mejores resultados. Las guías más recientes de ATS recomiendan dos años de formación especialmente en el área de fisiología y patología pulmonar. Diversos estudios han documentado que el entrenamiento para obtener buenos resultados en la espirometría requiere un mecanismo de feedback, aunque se pueden hacer sin él.

Para la calibración del espirómetro se formó a los dos profesionales que iban a realizar la técnica, pues según un estudio en Atención Primaria de Navarra, España, el 96% de los centros, los profesionales no calibraban de forma reglada los espirómetros y el 51,2 % no eran fijos. Con solo 10 horas de media de aprendizaje la calidad de la exploración mejoraba notablemente, por lo que es importante dedicar un tiempo a la formación específica de los técnicos para obtener los mejores resultados[87]. A pesar de todo, diversos estudios apuntan la dificultad de obtener una buena espirometría, aun contando con unos software sofisticados, el esfuerzo del paciente y las recomendaciones de ATS[10].

La habilidad del paciente en la cooperación a veces constituye un factor limitante ya que éste depende directamente del esfuerzo del sujeto. A aquellos que no lograban estas maniobras que recomiendan ATS, se les incentivó de manera especial con dispositivos adaptados como juegos incentivadores.

Se eligió la mejor de todos los intentos.

Las medidas espirométricas se expresaron en litros y se corrigieron a condiciones alveolares de forma automática a través del ordenador. La corrección se hizo con una temperatura corporal de 37ºC, presión barométrica del ambiente (mmHg) y saturado con vapor de agua (BTPS). La calibración del ergoespirómetro se realizó con una jeringa de precisión de tres litros de capacidad y siempre al iniciar la exploración de un nuevo sujeto.

En la espirometría basal forzada se determinaron los siguientes parámetros ventilatorios FVC, FEV_1, FEV_1/FVC. $FEF_{25-75\%}$ y PEF

Posteriormente, todos los participantes realizaron un test máximo de esfuerzo en tapiz rodante o en cicloergómetro (Fig. 16) para determinar los valores máximos de

Ventilación, VO_{2max}, VE/VO_{2max}, VE/VCO_{2max}, VCO_{2max}, PET O_2 , PET CO_2 y cociente respiratorio.

Fig. 15 Ergoespirometría en cicloergómetro. Fuente: Centro Médico Reebok, 2015.

La duración del test fue de 8-15 minutos. Durante las pruebas de esfuerzo se monitorizó la frecuencia cardiaca (FC) de forma continua utilizando un electrocardiógrafo de 12 derivaciones.

Los sujetos fueron animados durante el ejercicio hasta lograr la máxima fatiga muscular. La terminación del test fue acorde a los criterios de las Guías AHA/ACC [88].

Se consideró que se alcanzó el VO_{2max} cuando se cumplían dos de los siguientes criterios:

- ✓ una meseta o plateau del VO_2 a pesar de aumentar la velocidad o los vatios
- ✓ el cociente respiratorio (RER) igual o superior a 1.10
- ✓ si la FC superaba 10 latidos por minuto a la predicha como máxima (220 – edad)
- ✓ por fatiga voluntaria[89]

Para garantizar un medio ambiente controlado, el laboratorio se mantuvo lo más silencioso y tranquilo posible. La sala donde se realizaron los test se mantuvo a una temperatura de 21± 2ºC y a una humedad relativa de 45-55% durante las exploraciones.

El tapiz rodante utilizado fue h/p/Cosmos Quasar; Nussdorf-Traunstein/Alemania.

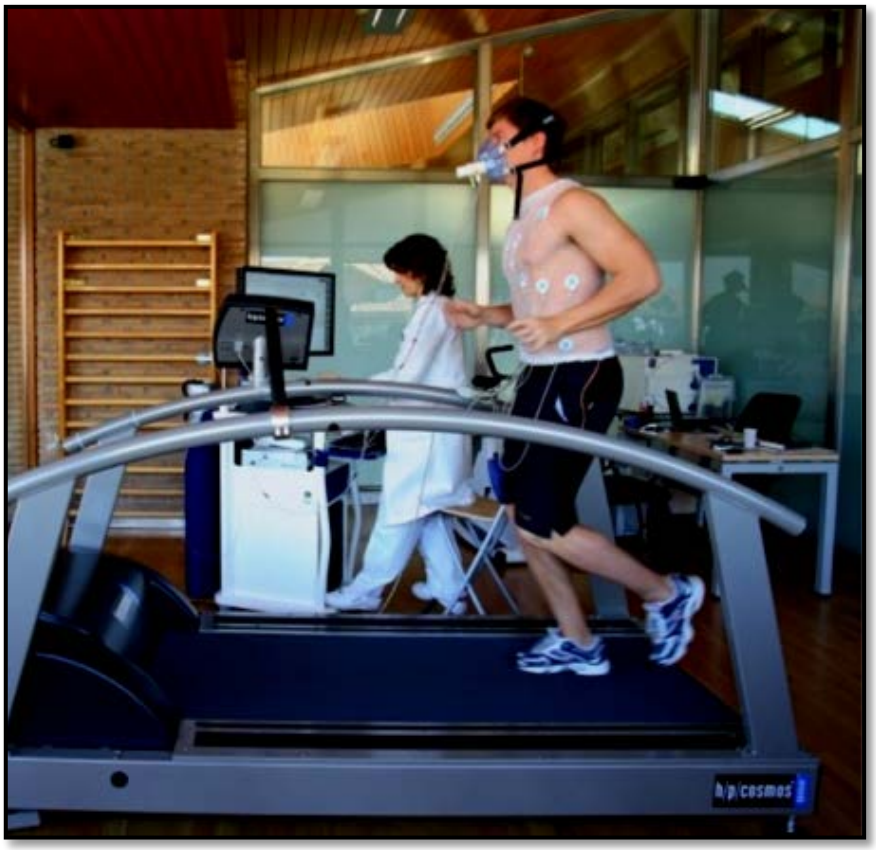


Fig. 16 Ergoespirometría en Tapiz rodante. Fuente: Centro Médico Reebok, 2016.

Los protocolos se individualizaron y se basaron en sus rutinas y entrenamientos de los últimos tres meses.

El protocolo en tapiz rodante se adaptó dependiendo de la forma física y del sexo (Fig. 17). En función del nivel de entrenamiento, el sujeto comenzó a una velocidad de 5-6 km/h, aumentando progresivamente 1 km/h cada minuto hasta el agotamiento. La pendiente en el tapiz rodante fue del 1% durante el test.

El protocolo utilizado en el cicloergómetro de freno electromagnético, Ergoline 800, consistió en:

- ✓ 1 minuto de reposo.
- ✓ Fase incremental de 25-35 vatios cada minuto.
- ✓ Cadencia o pedaleo entre 60 y 80 revoluciones por minuto.
- ✓ 3 minutos de recuperación.

La potencia se incrementó de forma continua, o en rampa. Todos pedalearon hasta el agotamiento con la animación de los investigadores en la fase final.

Al final de la prueba se informó a los participantes de sus niveles de VO_{2max} y de su frecuencia cardiaca máxima, así como del correcto funcionamiento cardiaco durante el test máximo.

4.7 Análisis estadístico

Todos los cálculos estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software estadístico SPSS 22.0 para Windows (SPSS, versión 19.0, Inc., Chicago, IL, EE.UU.) Un valor de $p<0,05$ fue considerado estadísticamente significativo. La distribución normal de los datos fue examinado mediante el test de Kolmogorov-Smirnov, rechazándose para las variables PEF y FEF_{25-75}. La inspección visual de la distribución y un tamaño muestral muy elevado, N=405 justifican la realización de pruebas paramétricas.

Los percentiles $P_{2.5}$, P_5, P_{10}, P_{25}, P_{50}, P_{75}, P_{90}, P_{95}, $P_{97.5}$ fueron obtenidos para cada variable espirométrica. Las diferencias de los valores espirométricos de la población objeto del estudio, deportista de resistencia aeróbica aficionada, frente a los valores de referencia de la población general fueron determinados mediante análisis unidireccional de la varianza (ANOVA). Se obtuvieron ecuaciones de regresión para cada variable espirométrica y como método alternativo, los árboles de decisión.

5. RESULTADOS

5 RESULTADOS

5.1 DESCRIPTIVA

Es un estudio descriptivo transversal en sujetos físicamente activos, en concreto, deportistas de resistencia aeróbica aficionados, 405 hombres. La recogida de datos se realizó a partir de marzo de 2015 y hasta junio de 2016.

5.1.1 Descripción de la muestra

En esta tabla se presentan los datos de edad, talla, peso e IMC en el grupo de varones estudiado.

	Edad (años)	Talla (m)	Peso (Kg)	IMC (Kg ·m^{-2})
Media ± DS	37.54±8.47	1.77±0.07	77.18±11.52	24.67±3.12

5.1.2 Descripción de deportes de la población estudiada

Tabla de frecuencias de deporte practicado.

Deporte	Frecuencia	%
Atletismo larga distancia (>10Km)	185	46%
Ciclismo de carretera	94	23%
Natación	71	18%
Triatlón	55	14%
Total	405	100%

Se han clasificado los deportes según la intensidad de ejercicio físico, agrupándolos así:

- Atletismo: Carrera de media y larga distancia (>10Km)
- Ciclismo de carretera
- Natación
- Triatlón.

El deporte más realizado por los varones de la muestra es el atletismo, seguido de ciclismo.

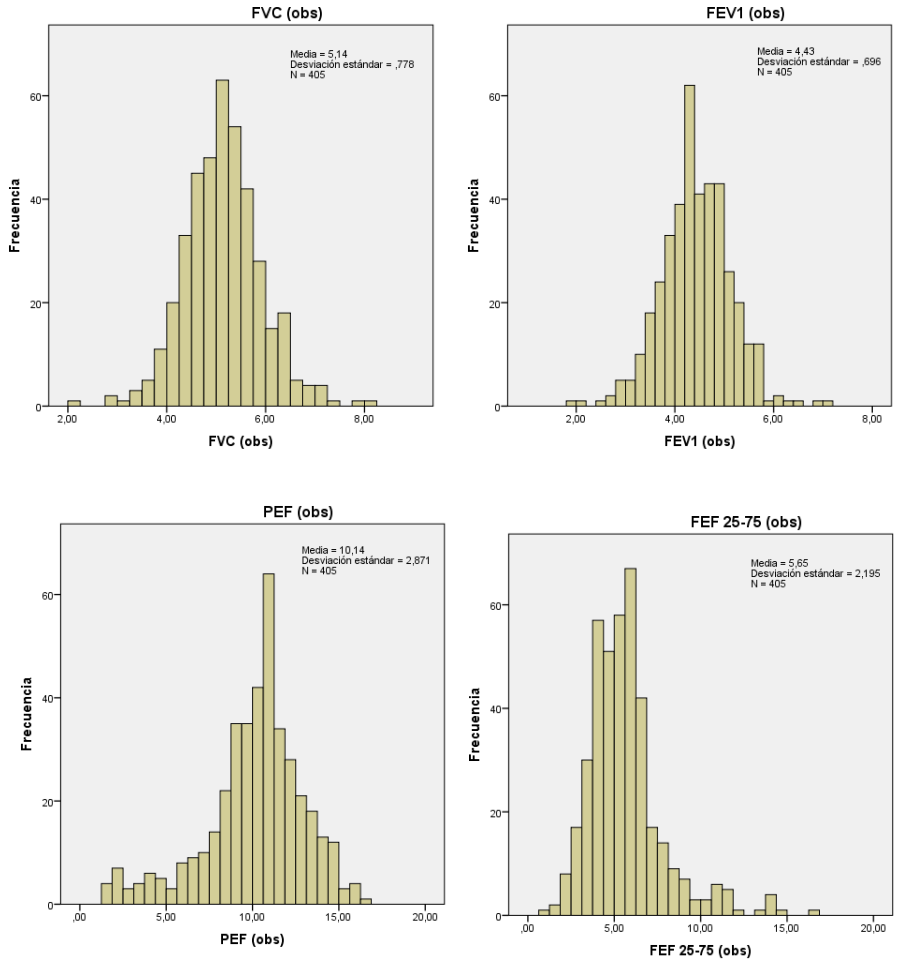
5.1.3 Descripción de variables espirométricas en reposo

	FVC	FEV_1	PEF	FEF_{25-75}	FEV_1/FVC
Media ± DS	5.14±0.78	4.43±0.70	10.14±2.78	5.65±2.20	86.34±6.69

5.1.4 Percentiles de parámetros espirométricos de varones deportistas aficionados de resistencia aeróbica

	2.5	5	10	25	50	75	90	95	97.5
FVC	3.67	3.97	4.21	4.64	5.12	5.60	6.11	6.44	6.80
FEV_1	2.99	3.28	3.59	4.00	4.41	4.86	5.30	5.57	5.72
PEF	2.45	3.93	6.36	8.93	10.53	11.86	13.50	14.40	14.87
$FEF_{25-75\%}$	2.40	2.73	3.37	4.21	5.40	6.44	8.19	10.34	11.76
FEV_1/FVC	72.42	74.35	77.46	82.64	86.80	89.85	93.78	97.61	99.83

Los valores de la espirometría en reposo muestran una distribución normal en las variables FVC y FEV_1, rechazándose para las variables PEF y $FEF_{25-75\%}$ en el test de Kolmogorov-Smirnov. La inspección visual de la distribución y un tamaño muestral muy elevado, N=405 justifican la realización de pruebas paramétricas.



5.1.5 Descripción de variables ergoespirométricas en prueba de esfuerzo hasta el agotamiento.

	N	Media ± DS
VE_{max} (l/min)	403	125.30±26.75
VO_{2max} (l/min)	405	3.89±0.78
VO_{2max} (ml/kg)	405	51.20±10.76
VCO_{2max} (ml/Kg)	405	4.42±0.91
VT1%$VO_{2máx}$ (%)	404	64.80±6.91
VT2 %VO_{2max} (%)	402	88.76±50
VT_1-VE (l/min)	403	58.37±13.81
VT_2 – VE (l/min)	401	95.93±22.49
$PETO_{2max}$	223	115.97±4.21
$PETCO_{2max}$	222	38.08±4.30

5.2 COMPARATIVA ENTRE LA POBLACIÓN ESTUDIADA Y LA POBLACIÓN GENERAL (ECSC)

La comparación de los valores espirométricos de la población deportista de resistencia aficionada frente a los valores de referencia de la población general European Coal and Steel Community (ECSC), utilizados en el espirómetro en nuestro estudio, presenta unos valores superiores y estadísticamente muy significativos.

N=405	POBLACIÓN DEPORTISTA Media±DS	REFERENCIA ECSC Media±DS	DIFERENCIA
FVC	5.14±0.78	4.83±0.52	0.31*
FEV_1	4.43±0.70	4.00±0.42	0.43*
PEF	10.14±2.87	8.73±1.84	1.41*
$FEF_{25-75\%}$	5.65±2.20	4.91±2.38	0.73*

*p<0.001.

Al presentar en porcentajes los valores espirométricos de la población objeto de estudio, se confirma que la diferencia de medias respecto a la población general es superior, mostrando una significación estadística p<0.001.

5.3 PORCENTAJES DE VALORES ESPIROMÉTRICOS PREDICHOS EN EL GRUPO ESTUDIADO

N=405	POBLACIÓN DEPORTISTA Media±DS	POBLACIÓN GRAL	DIF DE MEDIAS
FVC	106.47±12.30	100	6.47*
FEV_1	110.86±13.42	100	10.86*
PEF	115.66±22.00	100	15.66*
$FEF_{25-75\%}$	116.85±31.89	100	16.85*

Datos expresados en % media. *p<0.001

5.4 CORRELACIONES

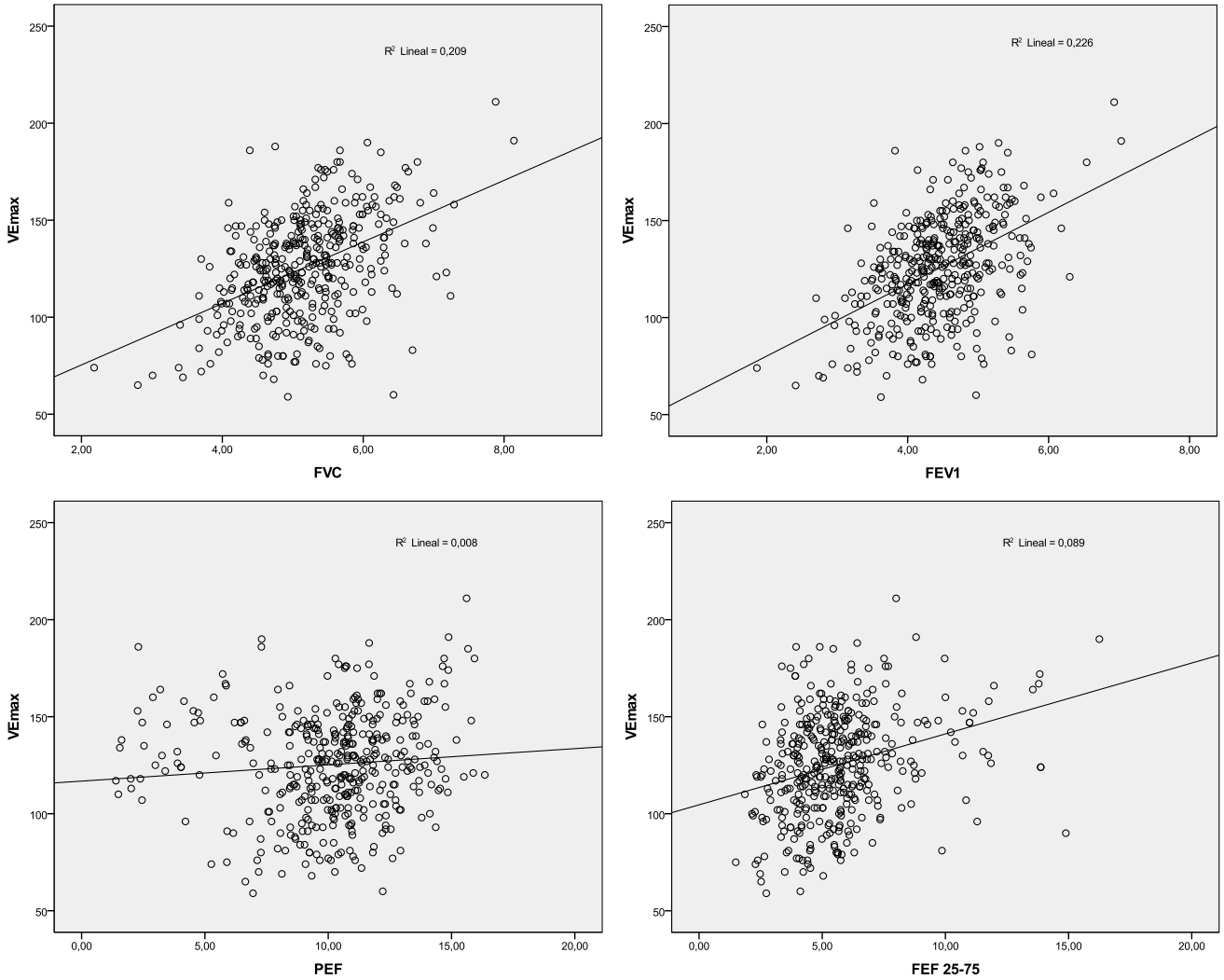
	N	FVC (l)	FEV_1 (l)	PEF (l)	FEF 25-75 (l)
VE_{max} ($l \cdot min^{-1}$)	403	0.457**	0.476**	0.090	0.299**
VO_{2max} ($l \cdot min^{-1}$)	405	0.475**	0.483**	0.082	0.289**
VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1}$)	405	0.220**	0.250**	-0.033	0.194**
VCO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1}$)	405	0.470**	0.485**	0.086	0.358**
VT_1-VE	403	0.352**	0.357**	0.066	0.204**
VT_2 – VE	401	0.438**	0.443**	0.114*	0.278**
Edad (años)	405	-0.279**	-0.357**	-0.019	-0.217**
Talla (m)	405	0.595**	0.565**	0.242**	0.189**
Peso (Kg)	405	0.305**	0.271**	0.146**	0.127*

**. p < 0.01

*. p < 0.05.

La Talla y el Peso se correlacionan con todas las variables espirométricas de reposo. El PEF muestra una baja/nula correlación con los parámetros ventilatorios basales, siendo además estadísticamente no significativas. Tanto FVC como FEV_1 son los valores espirométricos que muestran correlación con todos los presentados del ejercicio.

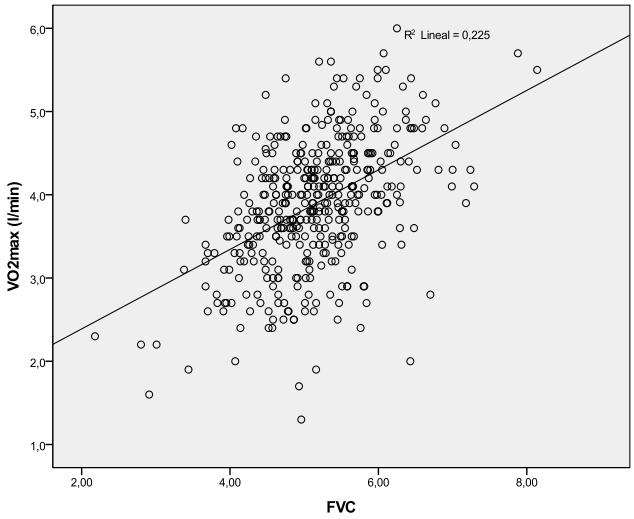
5.4.1 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VE_{max}

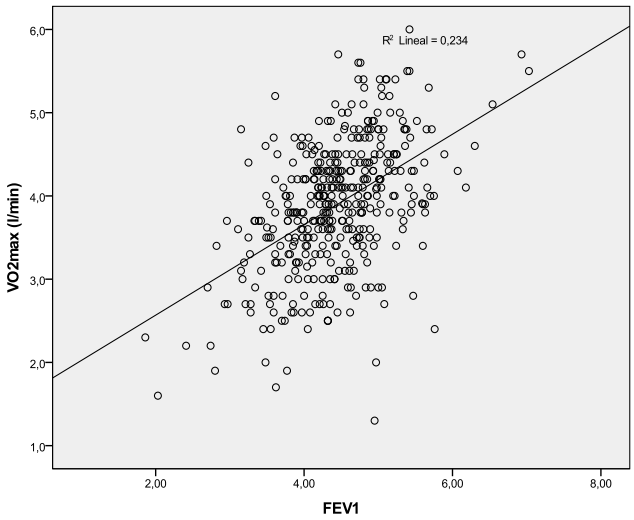


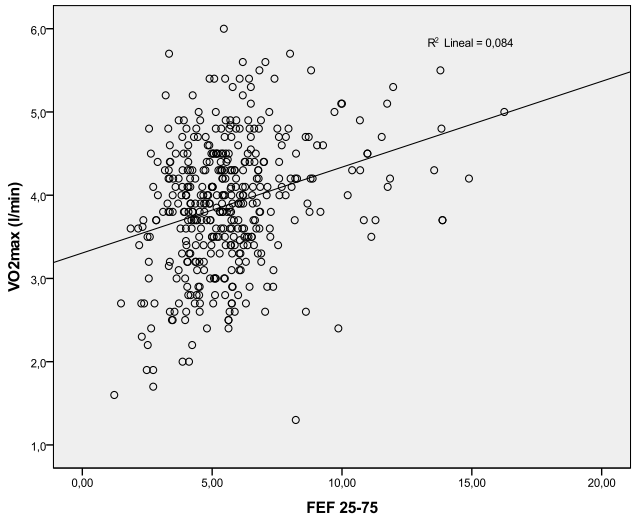
Los diagramas de puntos de dispersión presentan una correlación visual positiva en FVC y FEV_1 y la Ventilación Máxima (VE) en ejercicio, con R^2 lineal superior a 0.2. Por el contrario, como ya se observó en la tabla PEF y $FEF_{25-75\%}$ muestran una amplia dispersión de datos con R^2 lineal baja.

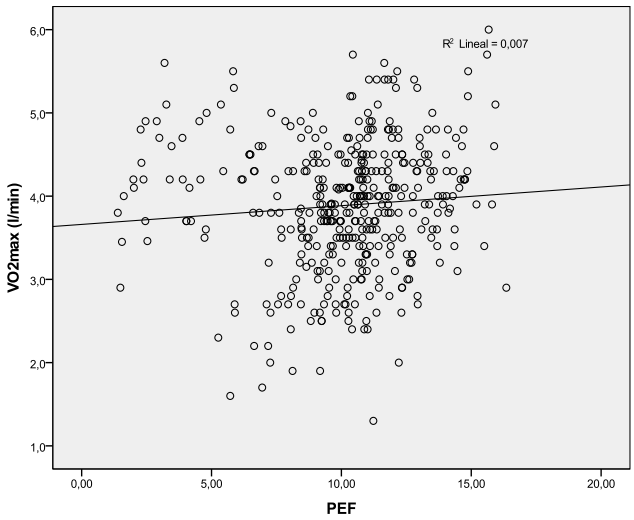
5.4.2 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VO_2max (l/min)

Los gráficos de correlación de valores espirométricos de reposo, FVC y FEV_1 y VO_{2max} muestran correlación alta, con R^2 lineal por encima de 0.2 en ambos casos. Mientras que las variables PEF y $FEF_{25-75\%}$ presentan una R^2 lineal baja.



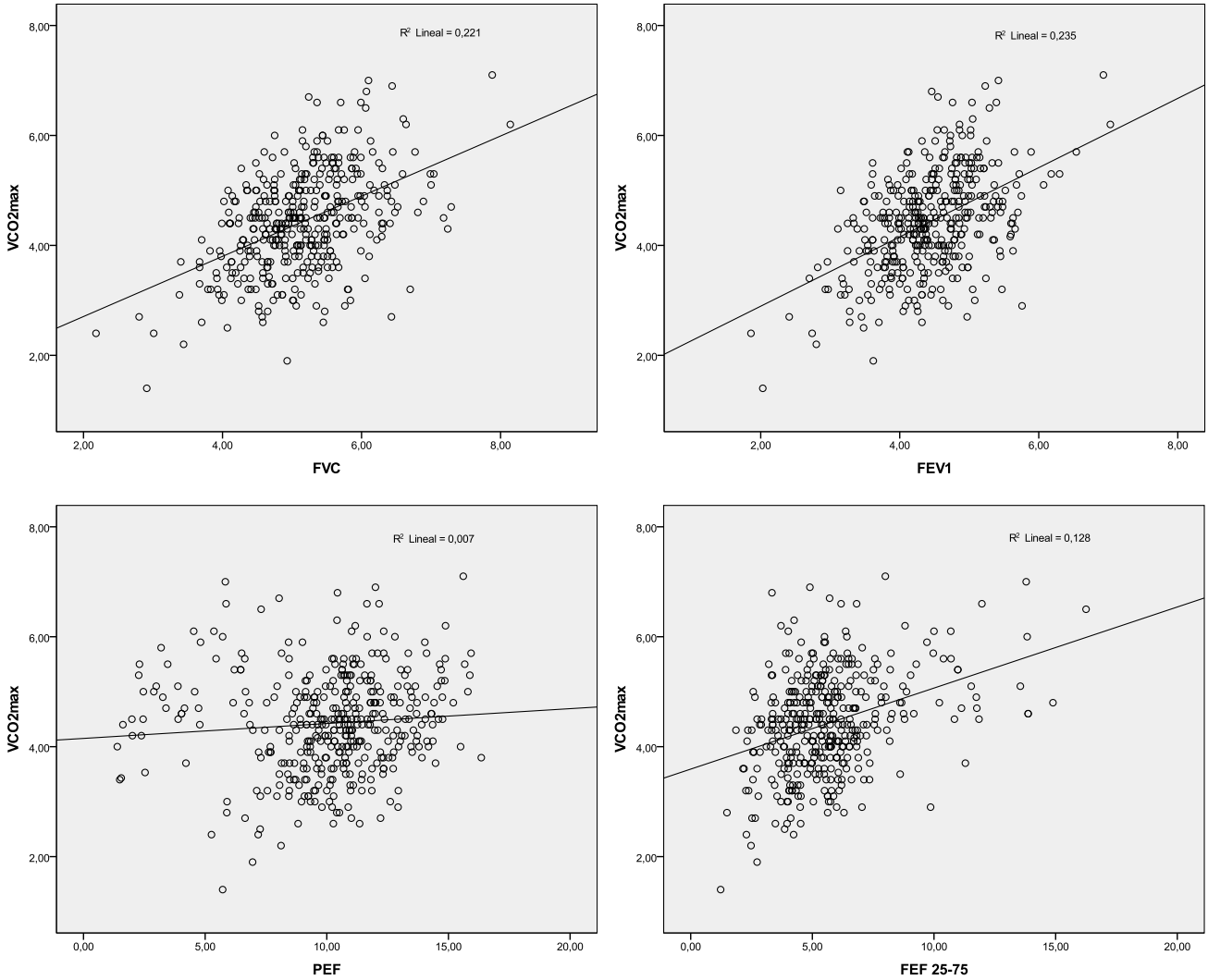






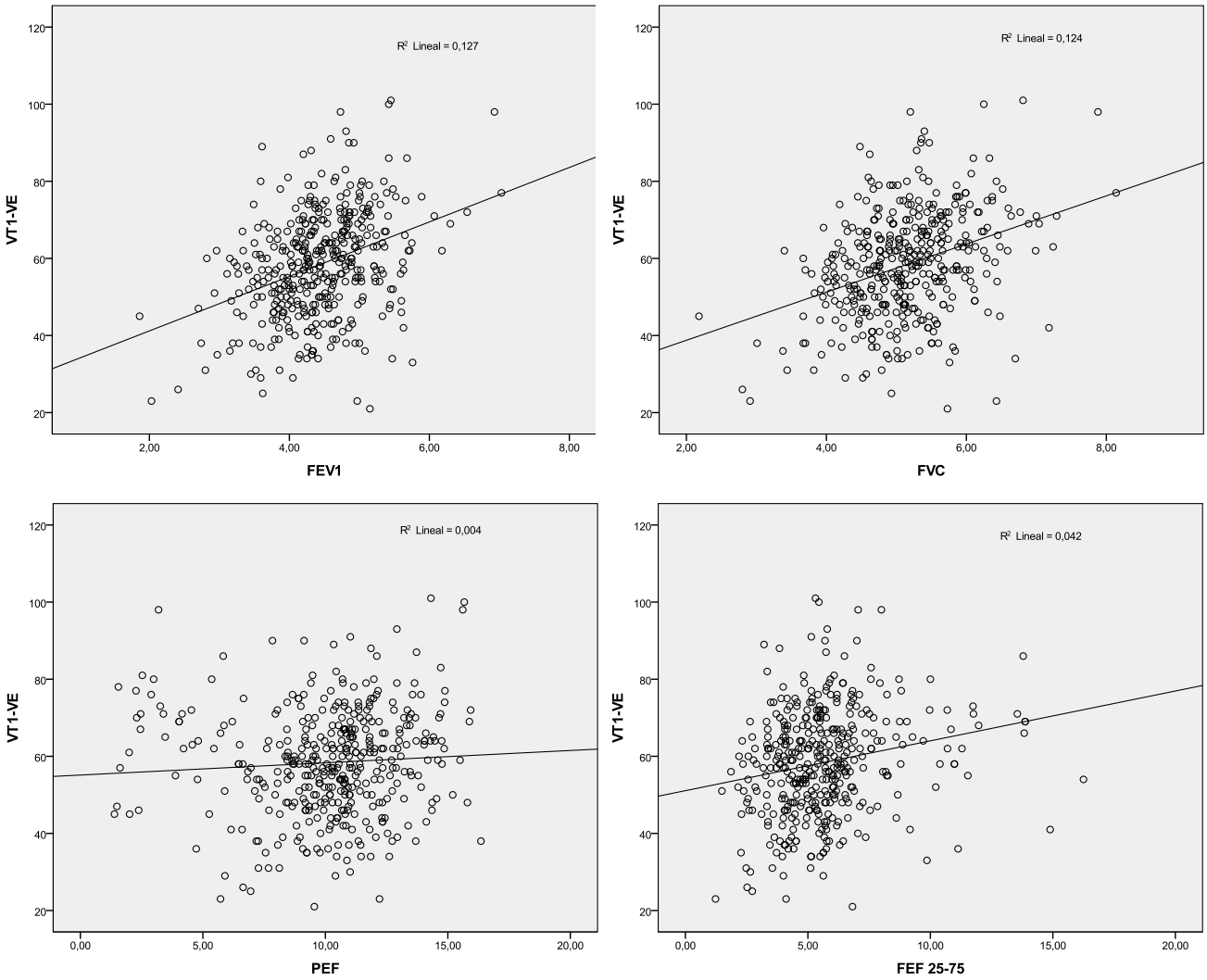
5.4.3 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VCO_{2max} (l/min)

Sucede igual que con la variable anterior, VCO_{2max} en este caso, presenta una alta correlación con FVC y FEV_1, y baja con los PEF y $FEF_{25-75\%}$.



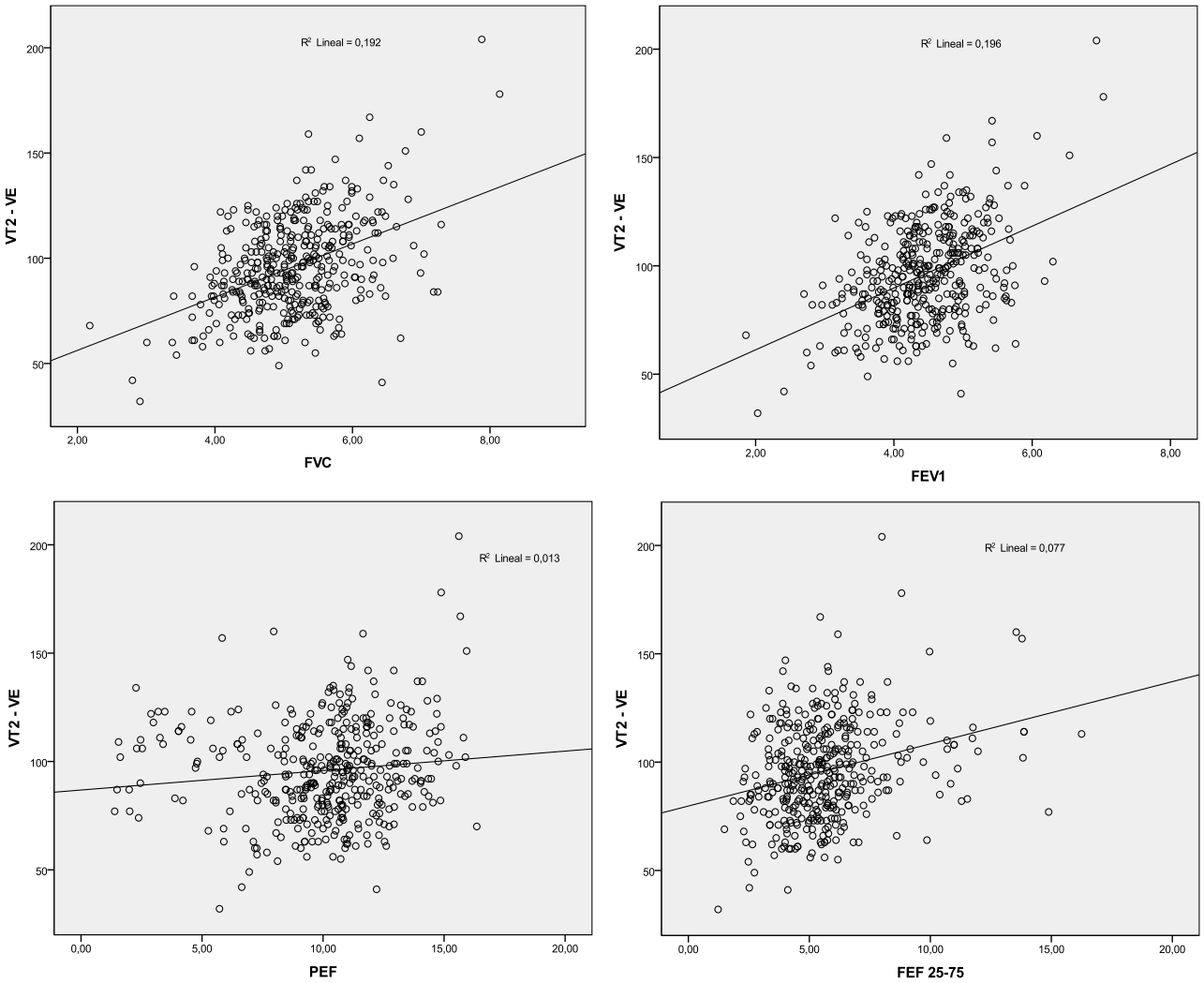
5.4.4 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VT_1-VE

Se observa una correlación de VT_1-VE con FVC y FEV_1 en los gráficos de dispersión de puntos con R^2 lineal superior a 0.12, mientras que las otras dos variables espirométricas no muestran correlación suficiente R^2 lineal<0.1



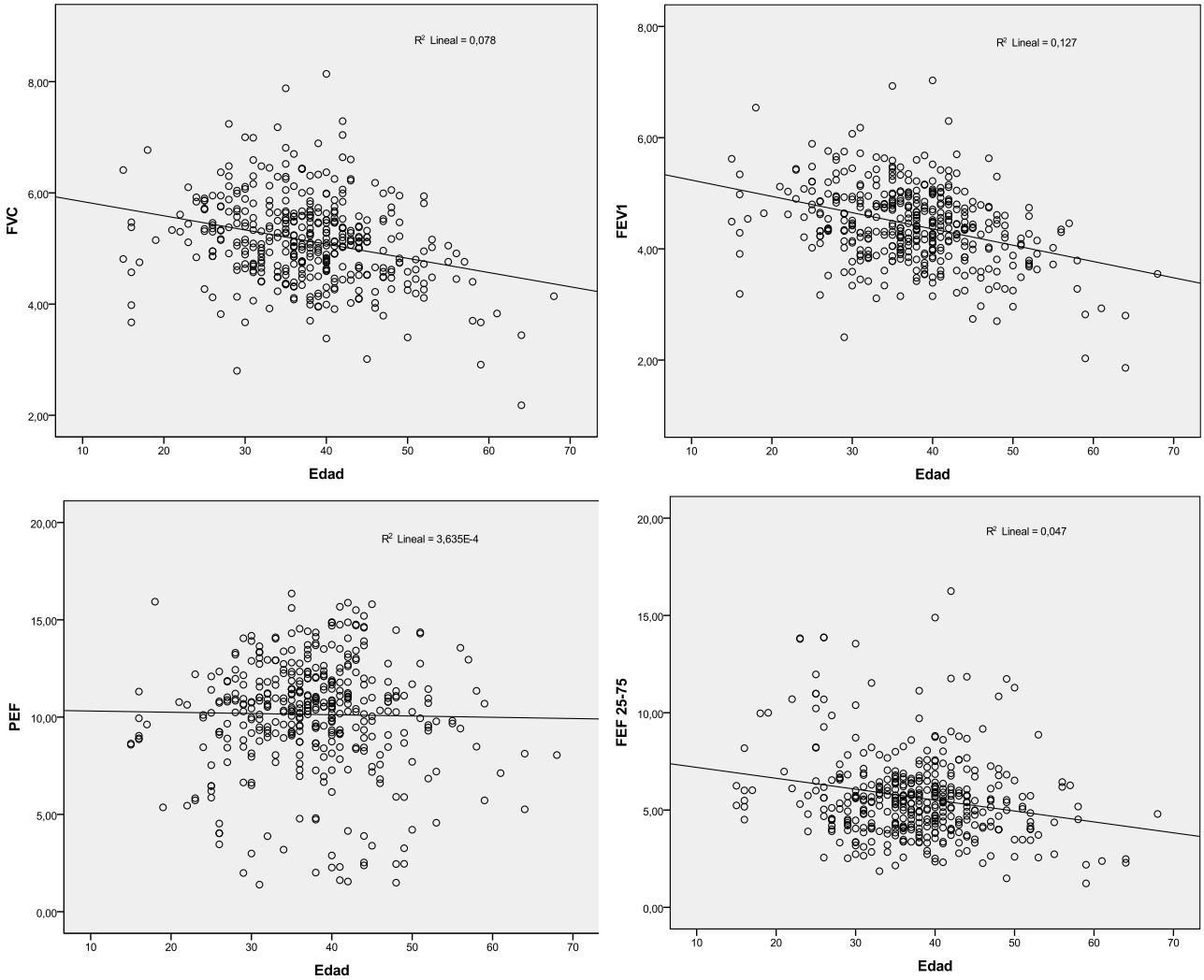
5.4.5 La correlación de las variables espirométricas de reposo y VT_2-VE

En los gráficos se presenta una correlación, R^2 lineal 0.19, de VT_2-VE con FVC y FEV_1, mientras que PEF y $FEF_{25-75\%}$ no presentan correlación.



5.4.6 La correlación de las variables espirométricas de reposo y Edad

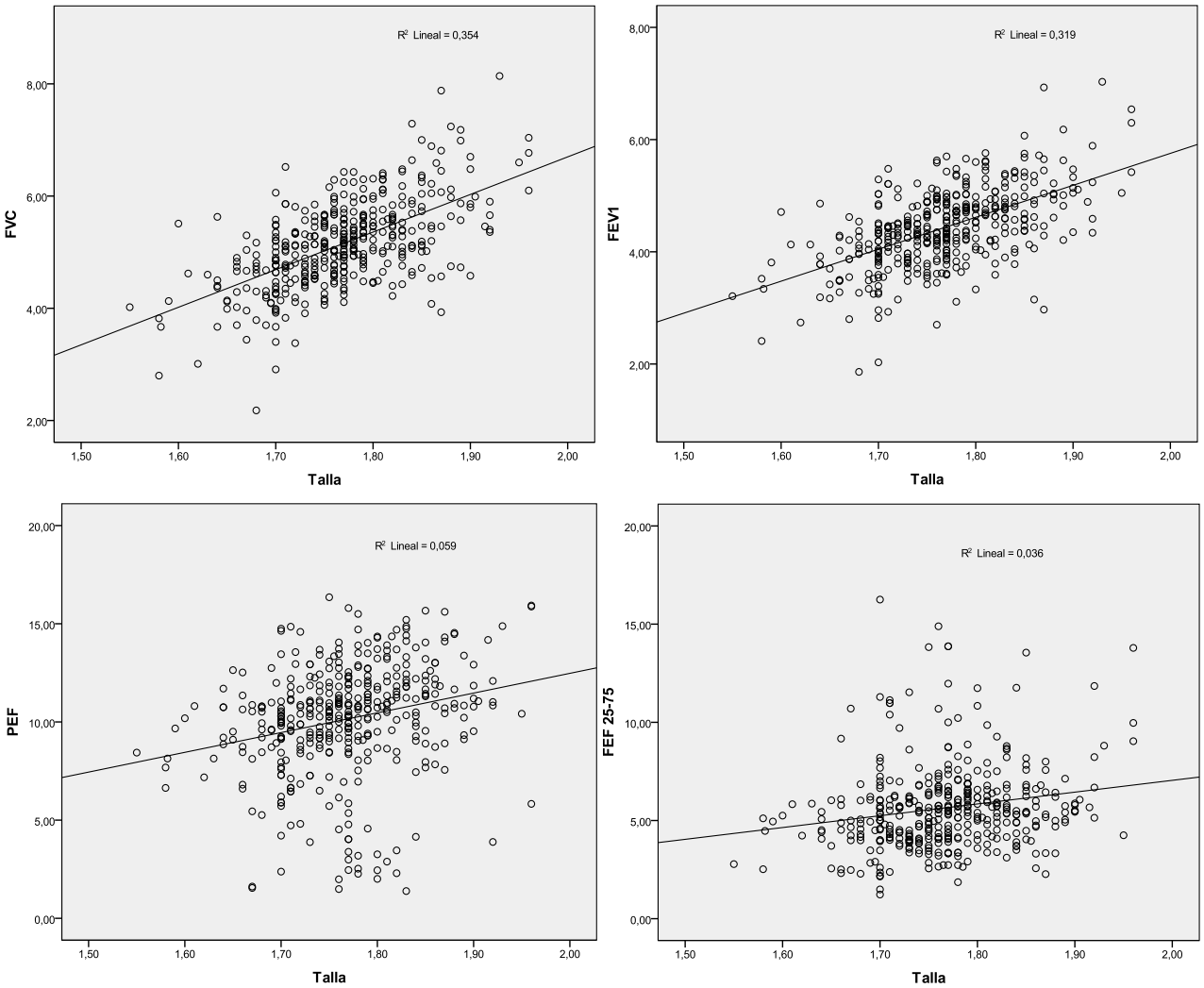
En este caso se observa una tendencia en la que al aumentar la edad, disminuye el FVC y FEV_1 La edad explicaría el 7.8% de las variaciones de FVC y el 12,7% de las variaciones de FEV_1.



5.4.7 La correlación de las variables espirométricas de reposo y Talla

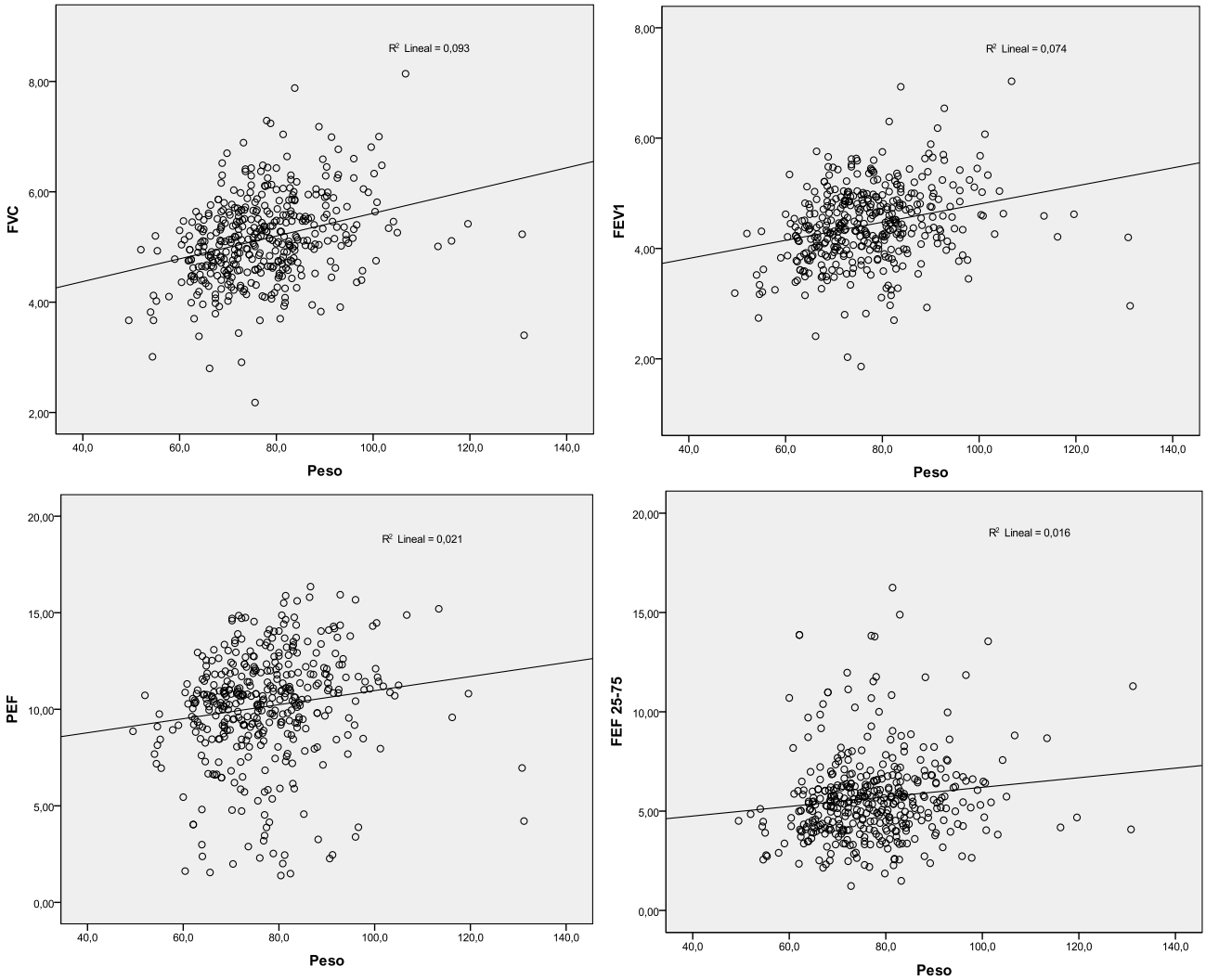
Como en casos anteriores, FVC y FEV_1 muestran una concentración de puntos en los gráficos, siguiendo una R^2 lineal elevada. Se obtendrán valores más altos en una variable si la otra variable aumenta.

Así mismo PEF y $FEF_{25-75\%}$ presentan una alta dispersión con R^2 lineal 0.059 y 0.036 respectivamente.



5.4.8 La correlación de las variables espirométricas de reposo y Peso

Se observa una tendencia positiva en las variables espirométricas respecto al Peso. Al aumentar el Peso aumentaría también FVC, FEV_1, PEF y en menor medida FEF $_{25\text{-}75\%}$.



5.5 ANALISIS MULTIVARIANTE

Con los estadísticos descriptivos de las variables espirométricas, medias, desviaciones y percentiles se dispone de valores de referencia para la población objetivo del estudio, varones que realizan actividad física de resistencia aeróbica al menos tres días por semana, más de 30 minutos al día, no fumadores y con un IMC comprendido entre 18,5 y 40.

Estas referencias son globales, sin tener en cuenta las características particulares del individuo.

En este apartado se aplican técnicas para determinar el valor esperado o predicho de las variables espirométricas en función de la Edad, Talla y Peso de la persona. Para ello se realizó un análisis predictivo multivariante mediante Regresión Lineal y Árboles de Regresión para estudiar si estas variables se combinan conjuntamente de tal forma que se pueda precisar el efecto sobre las variables respuesta, parámetros de la espirometría.

Por un lado, se aplicó la técnica de Arboles de Regresión, considerando como variable dependiente cada una de las cuatro variables de la espirometría de reposo y como variables independientes Edad, Talla y Peso. Esta técnica selecciona en primer lugar la variable más significativa y segmenta o divide el conjunto de datos en subgrupos, que presentan medias estadísticamente diferentes en la variable de estudio. El proceso de subdivisión es iterativo y en cada subgrupo formado se vuelven a considerar las variables para seleccionar la más significativa. El proceso se detiene cuando ninguna variable es significativa ($p < 0.05$) en ese subgrupo o el tamaño no supera una cota mínima establecida en 10 individuos en los subgrupos finales.

Por otro lado, se utilizó la técnica de Regresión Lineal. En esta técnica la variable dependiente se expresa en función de las variables independientes o explicativas por una ecuación lineal. Se utilizó el método de selección por pasos, en el que las variables se incorporaran al modelo seleccionando en cada paso la más significativa de las que tengan *p*-valor ≤ 0.05. La variable seleccionada es la que más aporta a la calidad del modelo teniendo en cuenta las previamente seleccionadas.

La calidad del ajuste queda determinada por el coeficiente R^2, que mide el porcentaje de variación de la variable dependiente explicada por las variables independientes.

A continuación se presenta cada variable dependiente con los dos análisis predictivos, en la regresión con la ecuación propuesta y en el árbol con la subdivisión

en los diferentes nodos, grupos homogéneos de individuos. En ambas técnicas se muestran ejemplos del valor estimado por los modelos y sus intervalos de confianza.

5.5.1 Variable dependiente: FVC

Modelos de Regresión:

Modelo	R	R cuadrado	Error estándar de la estimación
Talla	0.595	0.354	0.626
Talla, Edad	0.628	0.395	0.607

Coeficientes de la ecuación:

		B	Error estándar	Sig.
Modelo 1	(Constante)	-6.704	0.798	
	Talla	6.701	0.451	< 0.001
Modelo 2	(Constante)	-5.467	0.809	
	Talla	6.397	0.441	< 0.001
	Edad	-0.019	0.004	< 0.001

Según los datos obtenidos en el modelo de regresión y teniendo en cuenta el modelo 2, la ecuación resultante se expresa en función de la Talla y la Edad.

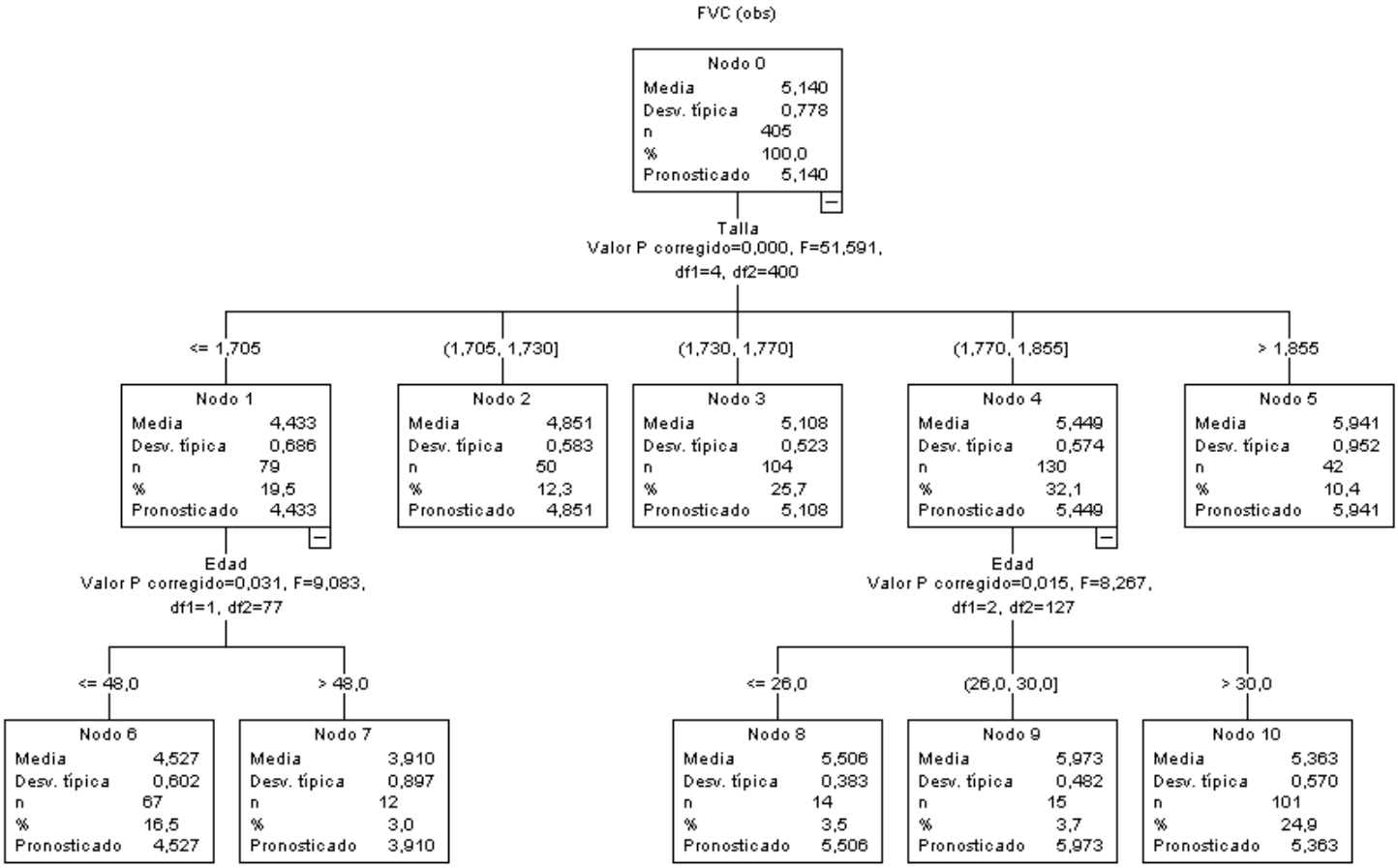
$$\widehat{FVC} = -5.467 + 6.397 \times Talla - 0.019 \times Edad$$

Ejemplo de valor estimado por el modelo de regresión para la variable dependiente FVC:

Talla	Edad	Valor Estimado	VE – 2xErrorSt	VE + 2xErrorSt
1.81	30	5.542	4.328	6.756
1.70	59	4.287	3.0735	5.501

El valor estimado para FVC en un varón de 30 años y una Talla de 1.81 m es de 5.542 con un intervalo de confianza (4.328-6.756).

Para un individuo de 1.7 m de estatura y 59 años de edad, la ecuación de regresión predice un FVC de 4.287 l con un intervalo de confianza de (3.0735-5.501)



Árbol de Regresión:

R cuadrado = 0.378

La media global sin tener en cuenta las variables explicativas es de 5.140. Utilizando Talla y Edad el árbol clasifica en 8 subgrupos diferentes, con medias en la variable FVC que varían en un rango desde 3.910 hasta 5.973.

Nodo	N	Porcentaje	Media
9	15	3.7%	5.973
5	42	10.4%	5.941
8	14	3.5%	5.506
10	101	24.9%	5.363
3	104	25.7%	5.108
2	50	12.3%	4.851
6	67	16.5%	4.527
7	12	3.0%	3.910

Ejemplo de valor estimado por el árbol de decisión.

Talla	Edad	Valor Estimado	VE – 2xDesvTip	VE + 2xDesvTip
1.81	30	5.973	5.009	6.937
1.70	59	3.910	2.116	5.704

Un sujeto con Edad de 30 años y Talla de 1,81m presenta en el árbol de decisión, un valor esperado para FVC de 5.973 l, con un intervalo de confianza de (5.009-6.937) correspondiente al Nodo 9.

Para un individuo de Talla 1.7m y 59 años la media y desviación de FVC en el árbol de decisión en el Nodo 7, determinan un valor esperado de 3.901 l, con intervalo de confianza de (2.116-5.704).

5.5.2 Variable dependiente: FEV_1

Modelos de Regresión:

Modelo	R	R cuadrado	Error estándar de la estimación
Talla	0.565	0.319	0.57538
Talla, Edad	0.632	0.400	0.54078

Coeficientes de la ecuación:

		B	Error estándar	Sig.
Modelo 1	(Constante)	-5.638	0.733	
	Talla	5.696	0.415	< 0.001
Modelo 2	(Constante)	-4.076	0.721	
	Talla	5.312	0.393	< 0.001
	Edad	-0.024	0.003	< 0.001

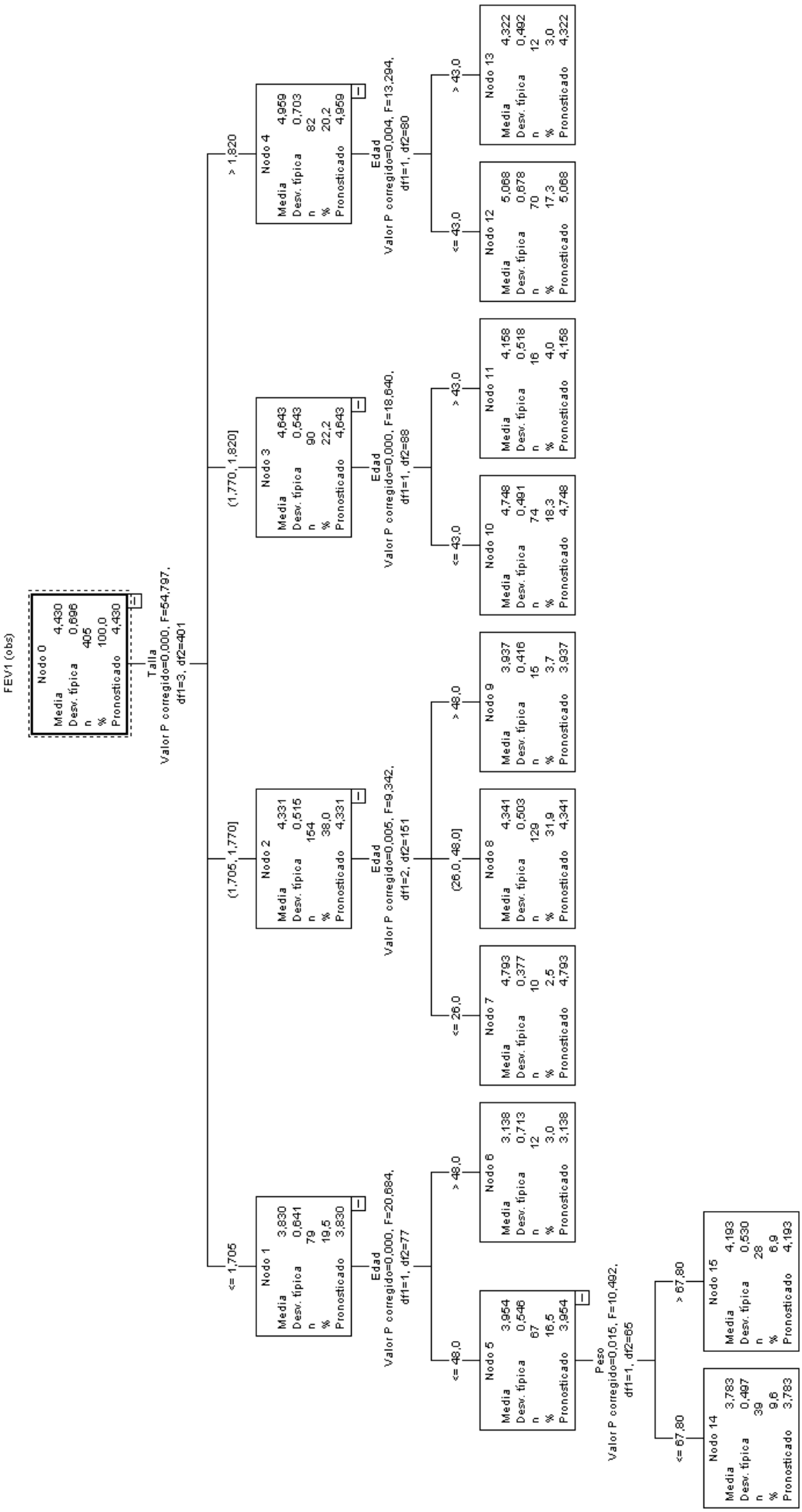
$$\widehat{FEV1} = -4.076 + 5.312 \times Talla - 0.024 \times Edad$$

Ejemplo de valor estimado por el modelo de regresión

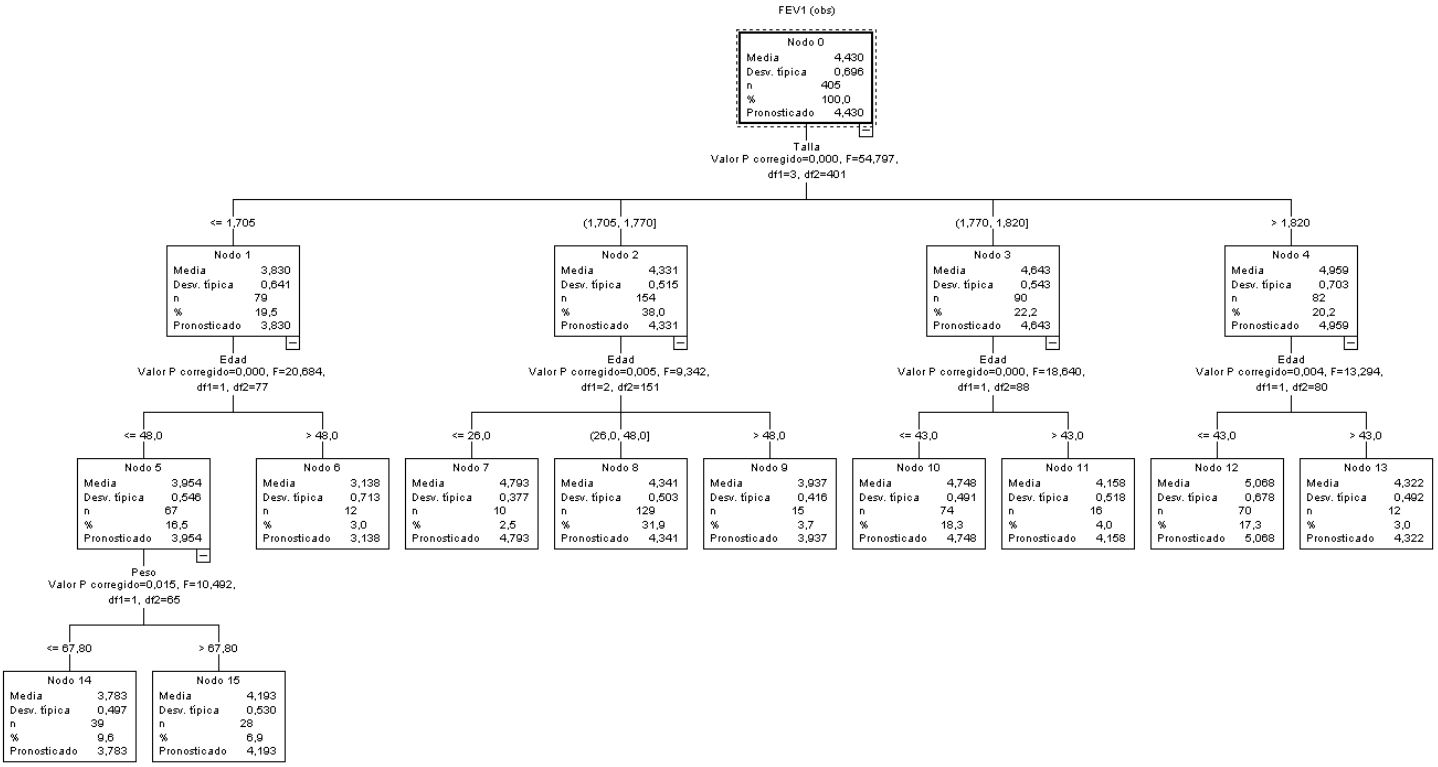
Talla	Edad	Valor Estimado	VE – 2xErrorSt	VE + 2xErrorSt
1.76	34	4.457	3.375	5.539
1.65	50	3.489	2.407	4.570

Para un sujeto de 1.76m y 34 años, el valor estimado que predice la ecuación para FEV_1 es 4.457 con un intervalo de confianza de (3.375-5.539).

Para un sujeto de 50 años y 1.65 el valor estimado en FEV_1 es de 3.489 según la ecuación de regresión.



Ampliación del Árbol de regresión



<u>Árbol de Regresión:</u>

R cuadrado = 0.416

La media global sin tener en cuenta las variables explicativas es de 4.430. Utilizando Talla, Edad y Peso, el árbol clasifica en 10 subgrupos diferentes, con medias en la variable FEV_1 que van desde 3.137 hasta 5.068.

Nodo	N	Porcentaje	Media
12	70	17.3%	5.0682
7	10	2.5%	4.7930
10	74	18.3%	4.7484
8	129	31.9%	4.3409
13	12	3.0%	4.3217
15	28	6.9%	4.1929
11	16	4.0%	4.1581
9	15	3.7%	3.9373
14	39	9.6%	3.7831
6	12	3.0%	3.1375

Ejemplo de valor estimado por el árbol de decisión

Talla	Edad	Valor Estimado	VE – 2xDesvTip	VE + 2xDesvTip
1.76	34	4.341	3.335	5.347
1.65	50	3.138	1.712	4.564

Para un sujeto de 1.76m y 34 años, la media y desviación del Nodo 8 de árbol de decisión, determinan un valor esperado para FEV_1 de 4.341 l con un intervalo de confianza de (3.335-5.347).

Un individuo de 50 años y 1.65 presentó un FEV_1 estimado de 3.138 l. dentro del rango que predice el árbol de decisión en el nodo 6, (1.712-4.564)

5.5.3 Variable dependiente: PEF

Modelo de Regresión:

Modelo	R	R cuadrado	Error estándar de la estimación
Talla	0.242	0.059	2,78895

Coeficientes de la ecuación:

		B	Error estándar	Sig.
Modelo 1	(Constante)	-7.642	3.554	
	Talla	10.058	2.009	< 0.001

$$\widehat{PEF} = -7.642 + 10.058 \times Talla$$

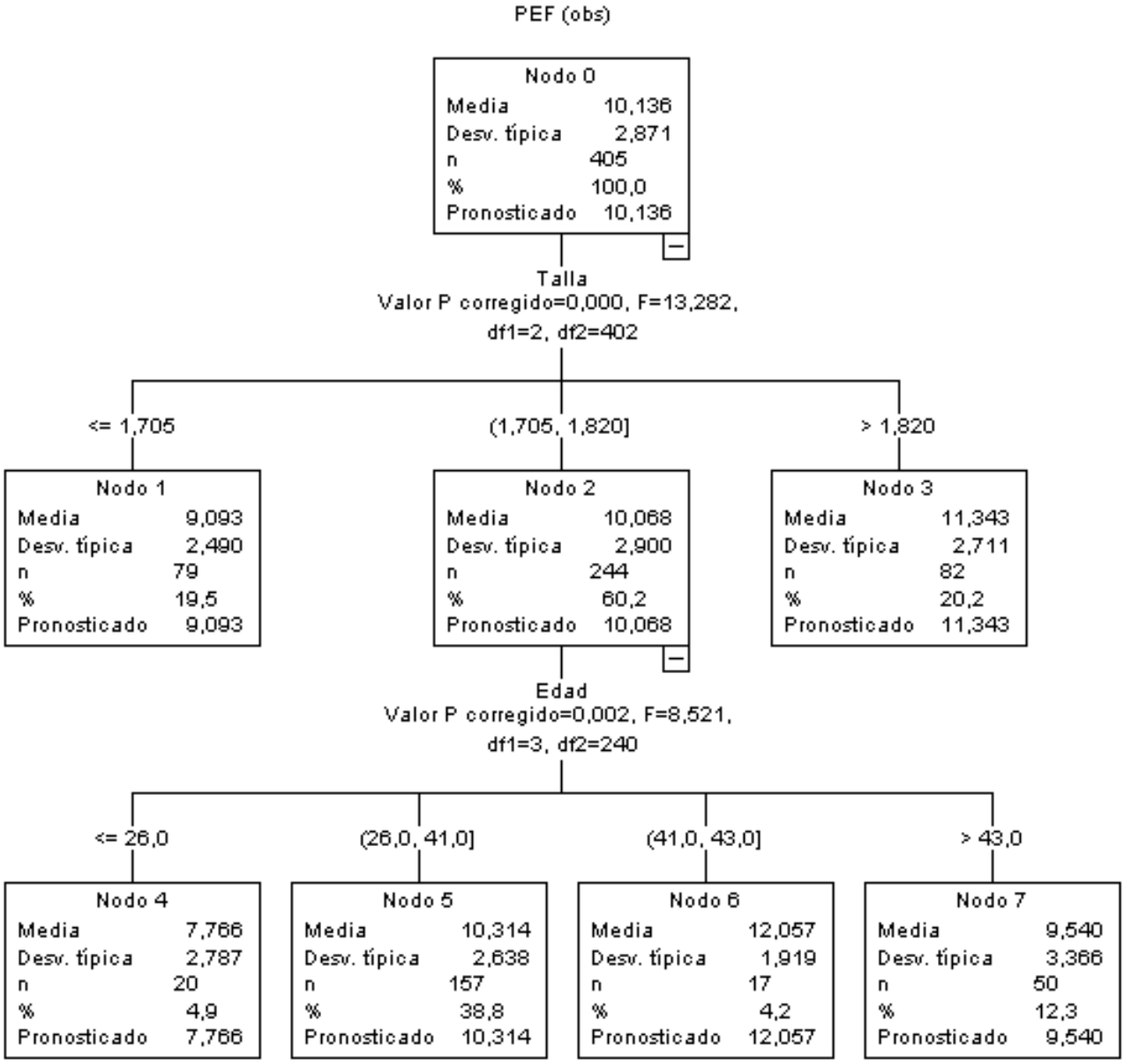
Ejemplo de valor estimado por el modelo de regresión

Talla	Edad	Valor Estimado	VE – 2xErrorSt	VE + 2xErrorSt
1.85	38	10.965	6.04	14.983
1.70	46	9.456	5.438	13.474

El modelo de regresión para la variable espirométrica PEF, tiene en cuenta una constante y la talla del sujeto. El intervalo de predicción para una talla de 1.85m es amplio (6.04-14.983).

Para un individuo de 1.7 m la ecuación de regresión presenta una media de 9.546 con un intervalo de confianza de (5.438-13.474).

Árbol de Regresión:



Utilizando Talla y Edad, el árbol clasifica en 6 subgrupos diferentes, con medias desde 7.766 hasta 12.057. La media global de la variable PEF es de 10.136.

R cuadrado = 0.123. La calidad de la predicción es baja, pero superior a la de la Regresión.

Nodo	N	Porcentaje	Media
6	17	4.2%	12.057
3	82	20.2%	11.343
5	157	38.8%	10.314
7	50	12.3%	9.540
1	79	19.5%	9.093
4	20	4.9%	7.766

Ejemplo

Talla	Edad	Valor Estimado	VE – 2xDesvTip	VE + 2xDesvTip
1.85	38	11.343	4.023	18.075
1.70	46	9.093	4.113	14.073

Para un sujeto de 1.85m y 38 años de edad, el valor estimado de PEF según el árbol de decisión en el Nodo 3, es de 11.343 con un intervalo de confianza de (4.023-18.075)

Un individuo de 1.7m y 46 años presenta una media y desviación típica para PEF de 9.093 con intervalo de confianza de (4.113-14.073) correspondiente al Nodo 1.

5.5.4 Variable dependiente: $FEF_{25-75\%}$

Modelo de Regresión:

Modelo	R	R cuadrado	Error estándar de la estimación
1 (Edad)	0.217	0.047	2.14550
2 (Edad, Peso)	0.273	0.074	2.11705

Coeficientes de la ecuación:

		B	Error estándar	Sig.
Modelo 1	(Constante)	7.752	0.484	
	Edad	-0.056	0.013	< 0.001
Modelo 2	(Constante)	5.556	0.796	
	Edad	-0.063	0.013	< 0.001
	Peso	0.032	0.009	0.001

$$\widehat{FEF25-75\%} = 5.556 - 0.063 \times Edad + 0.032 \times Peso$$

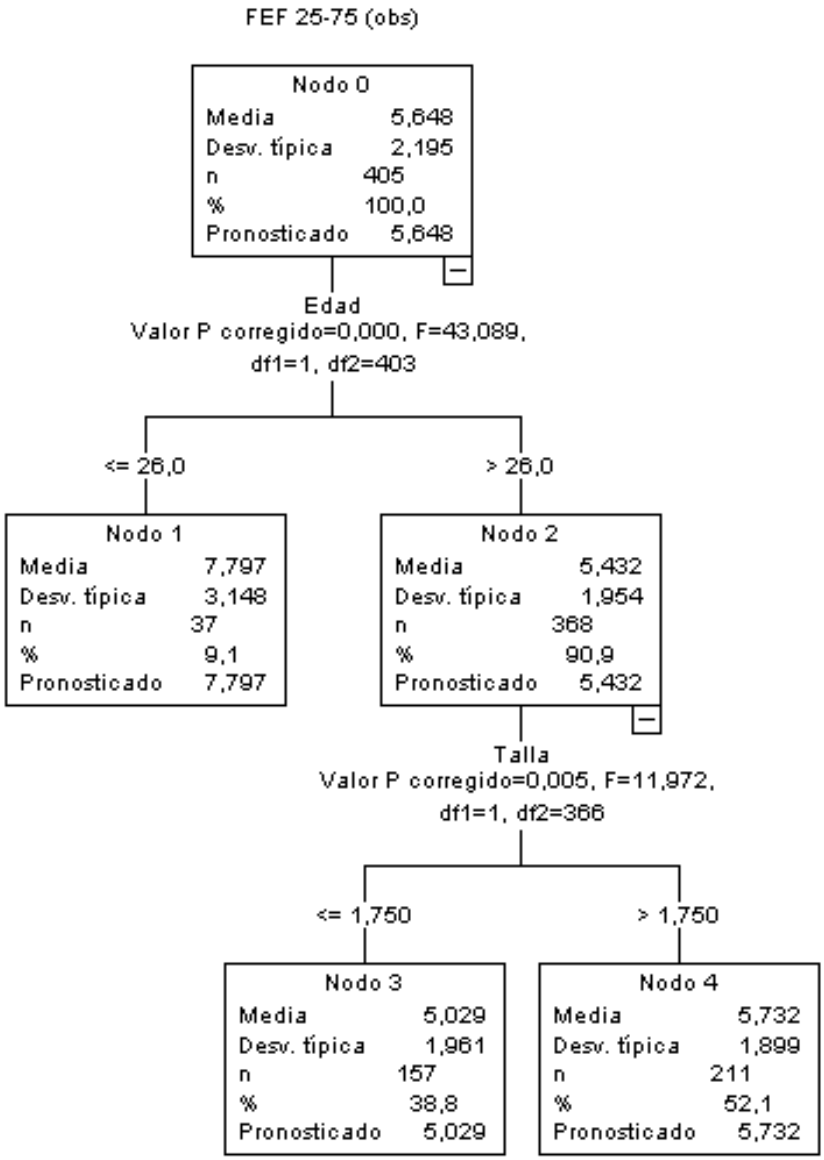
Ejemplo

Edad	Peso	Valor Estimado	VE – 2xErrorSt	VE + 2xErrorSt
32	75	5.94	1.7059	10.1741
46	83	5.314	1.0799	9.5481

Un sujeto de 32 años y 75 Kg de Peso tiene un valor estimado de FEF $_{25\text{-}75\%}$ de 5.94, en un rango de (1.7059-10.1741)

En el caso de un individuo de 46 años y 83 Kg su $FEF_{25\text{-}75\%}$ es de 5.314 l, comprendido en el rango de (1.0799-9.5481) según la ecuación de regresión.

<u>Árbol de Regresión:</u>



Nodo	N	Porcentaje	Media
1	37	9.1%	7.7968
4	211	52.1%	5.7315
3	157	38.8%	5.0292

R cuadrado = 0.122

Ejemplo

Talla	Edad	Valor Estimado	VE – 2xDesvTip	VE + 2xDesvTip
1.76	32	5.7315	1.934	9.53
1.65	46	5.0292	1.107	8.951

Este parámetro basal, $FEF_{25-75\%}$, muestra un intervalo de confianza amplio.

Para sujetos de 32 años y 1.76m de estatura se obtiene un valor medio de $FEF_{25-75\%}$ de 5.7315 l según el árbol de decisión en el Nodo 4, con un intervalo de confianza de (1.934-9.53)

Observamos que para sujetos de Talla 1.65m y Edad 46 años puede obtenerse valores de $FEF_{25-75\%}$ comprendidos entre (1.107-8.951) con una media de 5.029 l según el árbol de decisión en el Nodo 3.

6. DISCUSIÓN

6 DISCUSIÓN

La aportación principal de este estudio ha sido ofrecer nuevos valores de referencia en la exploración espirométrica en reposo a sujetos aficionados que practican de forma habitual ejercicio aeróbico de resistencia y que no se deben considerar profesionales del deporte ni tampoco sedentarios respondiendo al objetivo número 1 del presente estudio. La población estudiada, con un rango de edad de 18 a 65, muestra que los valores espirométricos son superiores en comparación con los referentes de población general en Europa y en España[5, 90]. Por ello, es importante plantear que una espirometría normal en un deportista no excluye una limitación pulmonar. Tal es la importancia de referenciar unos valores espirométricos a una población, que hasta la actualidad, y en nuestro conocimiento, no se dispone de unos niveles específicos de referencia en la espirometría. Estos datos serán especialmente útiles considerando que los sujetos sanos deportistas pueden realizar este tipo de prueba médica al menos una vez al año en sus reconocimientos deportivos o laborales, al estar incorporada como una prueba básica en las revisiones médicas.

Es necesario reconocer como limitación la falta de un grupo de sujetos sedentarios con los que se hubiera realizado una comparativa. Sin embargo, tampoco este grupo sedentario hubiera reflejado a la población general, ya que constituiría un segmento de la población. Por ello, se tomó como referencia las tablas admitidas internacionalmente en Europa y realizadas sobre la población general.

Debe considerase la gran variabilidad interindividual en los parámetros de las pruebas de función pulmonar y, a diferencia de otras variables biológicas, dependen de las características de los sujetos, sexo, edad, talla, peso, lugar geográfico y etnia[75, 91].

Así pues, si se pretende enunciar unas ecuaciones predictivas para adultos, éstas deberían incluir la edad y la talla como variables independientes, como se plantea en nuestro objetivo número 3, y utilizarlas específicamente para cada sexo. En nuestro estudio el sexo está controlado, ya que se analizan los parámetros en varones deportistas aficionados de resistencia aeróbica. Por otro lado, debemos considerar que las ecuaciones lineales son las más adecuadas para adultos, aunque pueden sobreestimar a los jóvenes adultos y subestimar a los ancianos.

Habitualmente la interpretación de la espirometría se basa en la comparación con un valor teórico o de referencia a partir de unas ecuaciones de predicción. Se utiliza el valor fijo del 80% del valor predicho como límite de normalidad. En sujetos de edad y estatura promedio el 80% del predicho se acerca al percentil 5, pero si los sujetos se

encuentran en un rango de edad o altura fuera de la normalidad, es decir en percentiles superiores al 95% o inferiores al 5%, este valor fijo los puede clasificar incorrectamente[86].

El Concepto de Lower Limits of Normal (LLN) se establece internacionalmente como rangos normales basados en el cálculo del percentil p5. Son variables y por tanto, no deberán establecerse arbitrariamente. Los pacientes cerca de LLN deben valorarse con precaución. Además se debe tener en cuenta que el uso del 80% del predicho sobre el LLN no está recomendado. Este criterio funciona solo para sujetos promedio y para número limitado de parámetros. En adultos no se debe aceptar la relación FEV_1/FVC como LLN.

Es preferible utilizar en Norte América referencias basadas en estudios de la zona y en Europa referencias sobre europeos ya que existe una importante variación entre ambas poblaciones que pueden quedar sin explicación.

Las ecuaciones de referencia, en general, no deben extrapolarse a poblaciones no afines a la población estudiada. Si la muestra no contempla sujetos de 85 años, no debe emplearse la edad inferior, y el informe debería advertir del error cometido. En nuestra muestra, no hay sujetos de edad superior a 65 años, ya que no acudieron a realizar estas pruebas espirométricas al no ser, en su mayoría aficionados al deporte. Por tanto, las ecuaciones predictivas se determinan para población semejante a la estudiada, es decir, la considerada de 18 a 65 años.

En la elección de unos valores de referencia deben también considerar la etnia de los sujetos valorados en el laboratorio. Es preferible utilizar ecuaciones basadas en valoraciones de esa etnia, aunque a veces no esto no es posible[29]. En nuestro estudio la etnia de la población es uniforme, por lo que esta variable se encuentra controlada.

El estudio Quanjer [92]es el intento de unificar los valores de referencia a cualquier sujeto independientemente de etnia o edad[90]. Los autores hallaron variaciones en FEV_1 y FVC en etnias diferentes de la caucásica, pero en las mismas proporciones para ambos parámetros, lo que hace que el cociente FEV_1/FVC sea un parámetro independiente del grupo étnico, lo cual confiere importancia a la hora de determinar los niveles de normalidad.

En relación al planteamiento de nuestro objetivo primero, confirmamos que nuestros resultados en cuanto a que los deportistas de resistencia aeróbica aficionados presentan unos valores espirométricos superiores a los de la población general coincidiendo con varios estudios que lo corroboran [2, 12, 44, 61, 75, 93]. Es conocida que la función respiratoria depende de varios factores incluido el sistema

nervioso, la fuerza de los músculos respiratorios y las dimensiones de los pulmones entre otros. Tanto el FEV_1 como FVC son variables cruciales en la detección de alteraciones pulmonares de forma fácil y efectiva. La actividad física, aún de moderada intensidad[94], induce broncodilatación en los sujetos sanos que practican deporte de forma habitual y reducen las resistencias mejorando la ventilación pulmonar y por tanto los valores espirométricos en las exploraciones ventilatorias. Así mismo, se sabe que normalmente los volúmenes y patrones de ventilación se inician por un estímulo neural desde el centro respiratorio del tronco cerebral. Este estímulo, provocado por quimio y propio receptores localizados en músculos, articulaciones y tendones envían impulsos desde el área intercostal y desde los músculos diafragmáticos. Por tanto, cabe preguntarnos si el incremento de la actividad muscular por el deporte aumenta la frecuencia y la profundidad de la respiración, mejorando la difusión de gases, el VO_{2max} y FVC que acontece y si es, probablemente, debido a los entrenamientos, a las características antropométricas y/o a la dotación genética.

En sujetos deportistas profesionales la mejora de la función pulmonar es incluso un 10-20% superior en FEV_1 al compararlos con la población general[48, 75]. En nuestro estudio, sin olvidar que no son profesionales del deporte, se confirma que FEV_1 muestra unos valores un 10.86% superior a los esperados, valorándolo respecto a la población general con los parámetros de ECSC.

Un estudio sobre 165 profesionales del deporte en Grecia describe también unos resultados superiores a los ponderados por ECSC, el autor insiste en que las referencias utilizadas habitualmente deberían ser utilizadas con precaución en los atletas con leves síntomas respiratorios por el riesgo de subestimar alteraciones del flujo aéreo[95].

Al observar las diferencias entre diversos deportes y sujetos sedentarios se confirma que los niveles espirométricos son superiores, sin embargo existen estudios que defienden que hay ciertos deportes que presentan una mejoría aún mayor que el resto. Parece ser que los jugadores de baloncesto, waterpolo y remo son los que registran valores más elevados[48]. Esto contrasta con la creencia de que todos los atletas, sin discriminar el deporte, obtienen volúmenes superiores a los sujetos sedentarios. Los deportistas que practican natación muestran una elasticidad de los pulmones y de caja torácica que conlleva a la mejora de la función pulmonar, la presión del agua contra el tórax y la elevada resistencia de las vías aéreas como resultado de la inmersión puede constituir un estímulo suficiente para que la inspiración ocurra rápidamente desde la capacidad residual funcional durante los cortos intervalos entre brazadas. La ventilación está restringida en cada ciclo respiratorio por un momento, produciendo un efecto de hipoxia intermitente, que es

un estímulo para el incremento de la respiración. Además los músculos respiratorios y el diafragma de los nadadores deben desarrollar una presión superior como consecuencia de la inmersión durante el ciclo respiratorio, por lo que induce una mejora en la funcionalidad de los músculos respiratorios. Estos factores, combinados, juegan un papel relevante en la mejora de la función pulmonar en relación a otros deportes.

Un reciente estudio sorprende al concluir que los deportes como el fútbol no presentan variaciones en los parámetros de función pulmonar respecto a sujetos sedentarios, y que a su vez, los nadadores presentan unos valores espirométricos superiores debido a sus características antropométricas genéticas. Estos resultados se justifican, primero porque estos sujetos entrenan en posición horizontal cuando los demás lo hacen en posición vertical, y además porque la presión del medio externo es superior, ya que la densidad del agua es superior a la del aire y la conducción del calor en agua es mayor que en el aire [47].

En nuestro estudio se recogieron datos de sujetos que realizaban de forma habitual ejercicio aeróbico de resistencia, o que iniciaban la práctica deportiva, no pudiendo ser considerados como sujetos sedentarios. Además los sujetos que no realizaban ejercicio, habitualmente presentaban alguna limitación como lesiones del aparato locomotor, o patologías que restringían la actividad deportiva, no pudiendo cumplir los criterios para formar parte del presente estudio.

Según el tercer objetivo, en nuestro estudio se observa que la **Talla y el Peso** se correlacionan con todas las variables espirométricas de reposo de forma significativa, resultado habitualmente utilizado como factor predictivo para los volúmenes pulmonares. En diversos estudios se confirma la relación entre FVC y FEV_1 con el peso, la estatura y edad de forma estadísticamente significativa con correlaciones superiores a 0.51 en sujetos jóvenes [2, 6], valores semejantes a los observados en nuestro estudio observando una correlación con la talla con FVC y FEV_1 superiores a 0.56 y de peso superiores a 0.27 en ambos casos con una alta significación estadística.

Este tipo de correlación se suele repetir en diversos estudios como los realizados en el norte de India[35]. Sin embargo Doherty, en un estudio observa que FEV_1 es superior en nadadores que en atletas independientemente de la talla y edad[22] justificándose por la dotación genética, el desarrollo de los músculos respiratorios y especialmente por los entrenamientos realizados desde edades tempranas, resultado que asume también Lazovic en su estudio controlando las variables antropométricas y observando que no existen diferencias en los volúmenes pulmonares[47]. Existe controversia al mostrar correlaciones, Durmic relaciona FVC

con Peso, Talla e IMC, pero FEV_1 no lo relaciona con la edad[15]. Nadeem [34] encuentra correlación de los parámetros espirométricos con la estatura, siendo valores inferiores para FEF_{50} y PEF, como sucede en nuestro estudio. La edad se mostró como variable independiente sólo para FVC y PEF, tal vez por la inmadurez pulmonar de los jóvenes objeto del estudio. Con el aumento de la edad las diferencias con los valores de referencia ECSC disminuyen, pero aun así, son inferiores a los esperados.

Coincidimos con el estudio de Sanz Ortega en que la talla es la variable biométrica que presenta un mayor coeficiente de correlación para todas las variables de función pulmonar, FVC, FEV_1, $FE_{25-75\%}$ y PEF[32].

Nuestro estudio presenta una homogeneidad en la **etnia** de la población, caucásica europea. Otros estudios con muestras de diferentes razas, como asiática, hindú o africana presentan volúmenes pulmonares estáticos y dinámicos inferiores, con flujos espiratorios forzados inferiores, pero con FEV_1/FVC similares o superiores. En poblaciones de raza negra o hindúes, estas diferencias persisten a pesar de controlar variables como edad, estatura, tabaquismo, polución atmosférica y altitud[37]. La razón de estas diferencias entre razas no está muy clara. Probablemente se deba en parte a la variación en la estructura corporal. Por ejemplo, la raza negra tiene un ratio tronco / piernas inferior a la raza blanca. El uso de la talla sentado reduce estas diferencias entre blancos y negros pero no las anula, al igual que sucede entre europeos, hindúes y asiáticos. Tal vez diferencias medio ambientales relativas a la nutrición, polución y factores socioeconómicos contribuyan a estas diferencias[28, 29, 96, 97].

La mayoría de las pruebas de función pulmonar en sujetos no europeos han demostrado una gran reducción de los volúmenes pulmonares comparado con las referencias europeas, interpretando resultados muy inferiores en poblaciones no europeas o americanas. Es importante definir ecuaciones según la etnia y basarlos en datos locales, realizándolos con las normativas y protocolos recomendados [3, 54].

Un reciente meta-análisis muestra la importancia del entrenamiento de los **músculos respiratorios** y especialmente la mejora de los parámetros de función pulmonar junto a optimización del rendimiento deportivo[20]. En nuestro estudio los sujetos participantes no realizaron entrenamiento específico de los músculos respiratorios, por lo que la mejora de los parámetros ventilatorios podría deberse, en parte, a la participación de estos músculos en la actividad deportiva habitual.

Es cierto que los protocolos de uso de los dispositivos incentivadores de los músculos respiratorios recomiendan al menos 2 series de 30 inspiraciones cada 12 h durante 6 semanas, y que la adherencia al entrenamiento no es correcta, por ello, y

considerando que los sujetos mantienen sus actividades deportivas, coincidimos con autores como Hart et al, que atribuyen al ejercicio habitual la mejora de la musculatura respiratoria y por tanto, de la función pulmonar[98].

El entrenamiento físico mejora la fuerza y la resistencia de los músculos respiratorios, produciendo una reducción de la resistencia de las vías respiratorias y un incremento de la elasticidad y expansión alveolar. Los atletas de resistencia suelen presentar una demanda de intercambio de gases mayor y más prolongada que los sujetos sedentarios[2].

Por otro lado los atletas de élite presentan unos volúmenes pulmonares muy superiores a lo normal. La intensidad de los deportes determina el fortalecimiento de los músculos respiratorios, teniendo por consiguiente, un aumento de los volúmenes pulmonares[2].

De igual forma, está descrito en determinados sujetos, como los profesionales del buceo, que la fuerza de los músculos respiratorios es causa de la mejora de los parámetros ventilatorios, y en concreto con una distensión funcional de un cierto número de alveolos y conductos alveolares, que normalmente se utilizan durante la respiración[76].

Los efectos del aumento de musculatura y de masa grasa corporal, contrarios entre sí, parecen explicar la mejora observada en la función ventilatoria que se produce al aumentar el IMC. Una vez se excede el peso normal, la función pulmonar declina. De igual manera, un aumento de los volúmenes pulmonares y de IMC, cuando la altura se estabiliza en el crecimiento de niño a adulto se atribuye al aumento de masa muscular y consecuentemente al aumento de fuerza en los músculos respiratorios[29]. En nuestro estudio se observa un IMC promedio de 24.67±3.12 $Kg \cdot m^{-2}$, que es normal, con desviaciones mínimas que no alcanzan grados de obesidad, por lo que en parte podríamos atribuir la mejora de los parámetros ventilatorios al fortalecimiento muscular tanto general como de músculos respiratorios.

No todos los estudios realizados en deportistas reflejan una mejora en los parámetros espirométricos tras un entrenamiento de los músculos respiratorios. Ozmen y cols realizaron un estudio sobre 18 futbolistas, no observando un aumento de FVC, FEV_1 tras un periodo de 5 semanas de entrenamiento de músculos respiratorios[99]. Es probable que este resultado esté condicionado por una muestra pequeña, el periodo y el tiempo dedicado al entrenamiento fueran insuficientes (dos periodos de 15 minutos por semana). Sin embargo otros estudios sobre nadadores, atribuye la mejora de los parámetros ventilatorios además de al fortalecimiento de músculos respiratorios, a la elasticidad y a la mejora de los músculos respiratorios secundario a la presión a la que están sometidos durante las inmersiones en las

brazadas[15]. Es interesante observar como en un estudio reciente se recomienda de forma explícita el entrenamiento de músculos respiratorios en los jóvenes nadadores para aumentar su rendimiento deportivo[25].

En triatletas de larga distancia se ha estudiado los parámetros de función pulmonar observándose al final de la competición una disminución de FVC, FEV_1 y PEF, hecho que atribuye a la fatiga muscular inducida por la competición prolongada (más de 6h). Tras una regresión múltiple se concluye que existe una correlación entre el descenso de PEF y el tiempo empleado en la competición, de modo que los sujetos más rápidos mostrarán en meta unos valores inferiores de PEF a los más lentos[100]. Estos resultados inducen a plantearnos si en un futuro las pruebas de función pulmonar podrán predecir rendimientos deportivos, no sólo en sujetos profesionales del deporte sino además en la población aficionada.

Nuestro estudio contempla deportistas de resistencia aeróbica aficionados, en contraste a los diferentes estudios referenciados que son profesionales del deporte, y que como en dichos estudios, no realizaron entrenamientos específicos de músculos respiratorios, por tanto, coincidimos con los autores en que parte del incremento de los valores espirométricos sea atribuible al fortalecimiento de los mismos durante el ejercicio.

Las técnicas de valoración de volúmenes pulmonares mediante espirometría exigen por parte del director del laboratorio un cuidado constante en guardar y mantener la precisión y exactitud de las medidas realizadas y debe ser consciente de las posibles fuentes de variaciones en la técnica[101]. El control de calidad incluye una adherencia fiel al protocolo para equipamientos y calibración acorde a las guías de ATS.

La temperatura del laboratorio debe ser controlada y estable, de esta forma, disminuyen los errores espirométricos cuando la temperatura se haya entre 17 y 40ºC. Los cálculos informáticos deben ser validados tanto al inicio como en el momento que se produzca una modificación en el equipo, ya sea de software o hardware.

Los laboratorios deberían usar una referencia lo más cercana a la población valorada. [79] Las referencias para sujetos más apropiadas deben seleccionarse teniendo en cuenta la edad, grupo étnico, sexo, y mostrar en cada laboratorio los criterios de selección utilizados para dar la normalidad a esa población[29, 102].

En nuestro estudio se prestó especial cuidado a la calibración y temperatura del laboratorio. Cada espirometría se precedía de una calibración de flujos y se mantenía

la temperatura entre 18 y 23ºC. Además para valorar la normalidad se utilizaron los criterios de European Coal and Steel Community (ECSC).

En relación a las valoraciones realizadas en ejercicio a los sujetos de la muestra se han observado unos VO_{2max} superiores a la población general. Blakie et al refieren en su estudio una relación de los parámetros espirométricos en ejercicio máximo con las medidas antropométricas, considerando una gran variabilidad de repuesta ventilatoria dentro de la normalidad. En su estudio observaron que las medidas realizadas durante el ejercicio (VO2max y VCO2max) mostraban una estrecha relación con la ventilación máxima (VE_{max}). En acuerdo con nuestro estudio observaron una relación de VE con FEV_1 de 0.55 y de VE con FVC de 0.47, siendo en nuestro estudio de 0.476 y de 0.457 respectivamente, muy similares y en todos los casos con $p<0.001$ [103]. Para valorar el cuarto objetivo del estudio, se observa una estrecha relación entre los valores máximos de esfuerzo (VE, VO_{2max} y VCO_{2max}) con todos los valores en reposo excepto con PEF. Hecho que no se comprueba en los estudios de Palka, en los que la correlación de las variables espirométricas aparece con la edad, estatura y con la masa libre de grasa y no con el VO_{2max}, por lo que sugiere que cuando acontece unos niveles superiores espirométricos en atletas podría ser por el aumento de masa muscular en el deporte refiriendo además que con un entrenamiento específico de los músculos respiratorios podría mejorar el rendimiento deportivo[53].

Para responder al objetivo número 2 de la investigación sobre si es posible establecer una normalidad para la población objeto del estudio, es necesario determinar que la normalidad de una espirometría es difícil de definir en deportistas, puesto que un valor aparentemente normal puede suponer infravalorar la presencia de una patología restrictiva u obstructiva[15]. Sin embargo, una aproximación de los valores espirométricos adecuados proporciona estrategias idóneas para evaluar el deterioro del aparato respiratorio[104]. Existen situaciones en las que es importante valorar esta normalidad de la espirometría, como en las recuperaciones de lesiones por quemaduras [80], en sujetos ancianos[105] o en postoperatorios. En el estudio de Brunelli se fija la atención en el FEV_1, observando que en el primer día tras una intervención quirúrgica, puede ser un 30% inferior al predicho. Tal circunstancia deberá tenerse en cuenta con el objetivo de mejorar la estratificación del riesgo ante una intervención pulmonar[106]. En el ámbito de la prevención, podemos observar cómo determinados autores recomiendan la práctica de deportes específicos para mejorar la función pulmonar y los valores espirométricos. Desde edades tempranas, tanto el waterpolo como el remo podrían mejorar la capacidad de los pulmones o incluso podría considerarse el sistema de entrenamiento de estos deportes como arte de un programa para la mejora de la función pulmonar o

utilizarse incluso en rehabilitación[48]. Lo que parece claro es que el aumento de peso, la obesidad y los hábitos deportivos irregulares conllevan una reducción de los volúmenes pulmonares, evidenciando una alteración de la función respiratoria, con una disminución de la CRF y del Volumen espiratorio de reserva, secundario a la disminución de la Compliance pulmonar y de pared torácica y una mayor resistencia de las vías aéreas. Todo ello induce unas limitaciones de la vida diaria y por supuesto también de la práctica de actividades deportivas[55].

El objetivo último de cada espirometría debería poder llegar a predecir unos resultados, como calidad de vida, morbilidad y mortalidad o riesgos y beneficios de una determinada intervención. Esto no sólo requerirá unos test de muy alta precisión y repetibles, sino además integrar estos resultados en las tomas de decisiones clínicas[10].

La falta de datos individuales relativos al entrenamiento realizado impidió conocer la posible correlación entre modalidad e intensidad del ejercicio y los valores espirométricos. Futuras líneas de investigación deberán estudiar cómo los distintos protocolos de entrenamiento pueden influir en la espirometría basal.

Considerando la importancia del entrenamiento de los músculos respiratorios, creemos que es necesario reconocer el reto de investigar el potencial del entrenamiento de músculos respiratorios como método para mejorar el rendimiento físico deportivo.

7. CONCLUSIONES

7 CONCLUSIONES

En relación a los objetivos propuestos en el presente estudio las conclusiones son las siguientes:

1. En relación con la hipótesis planteada en el estudio se confirma que los valores medios de la espirometría basal forzada en deportistas de resistencia aeróbica aficionados fueron superiores a los valores de referencia establecidos por la ECSC para la población general. Este hallazgo parece confirmar que la participación deportiva se asocia a adaptaciones estructurales y funcionales respiratorias y por ello los sujetos de la muestra presentan unos volúmenes pulmonares superiores. La experiencia de los exámenes deportivos habituales orientaban a unos valores superiores espirométricos a la población general, y este estudio confirma esta presunción de forma estadísticamente significativa.

2. En relación al segundo objetivo planteado en el estudio, se observan unos valores de referencia espirométricos específicos para sujetos sanos que realizan ejercicio de resistencia aeróbica. Esta conclusión permite utilizar en la población deportista unas referencias adecuadas, y no cometer el error de valorar como normal una espirometría patológica o de escaso rendimiento deportivo. Por tanto se evitaría dar como normal una espirometría que podría no ser tal dada su condición de deportista.

3. En concordancia con el resto de estudios científicos publicados, nuestro estudio confirma que las variables antropométricas (talla y peso) y la edad en sujetos varones que realizan deporte de resistencia aeróbica de forma habitual presentan correlaciones con los parámetros espirométricos basales. Por tanto, estas variables serán incluidas en nuestro modelo de referencia para deportistas aficionados físicamente activos y en concreto en la modalidad de resistencia aeróbica.

4. En relación a nuestro último objetivo podemos afirmar que los sujetos sanos físicamente activos, deportistas de resistencia aeróbica, muestran correlación significativa de todos los parámetros estudiados de la Ergoespirometría de esfuerzo (Ventilación Máxima, Consumo Máximo de Oxígeno, Consumo Máximo de CO_2, Equivalentes de Oxígeno y Equivalente de CO_2) con todas las variables espirométricas de reposo, excepto con PEF. Los sujetos que muestran valores elevados en la espirometría basal presentarán también valores superiores en la ergoespirometría.

Nuestra hipótesis planteada en el estudio alcanza la categoría de Tesis afirmando que:

Los sujetos sanos físicamente activos, deportistas de resistencia aeróbica aficionados, presentan valores espirométricos superiores a la población general y por tanto se establece una referencia específica para dichos sujetos.

Estas referencias están relacionadas con edad y variables antropométricas. Además guardan relación con los parámetros ventilatorios de la Ergoespirometría con todas las variables espirométricas excepto con PEF.

8. BIBLIOGRAFÍA

8 BIBLIOGRAFÍA

1. López Chicharro, J., *Fisiología del ejercicio*. 3a. ed. 2006, Madrid: Editorial Médica Panamericana. xvii, 987 p.
2. Lazovic, B., et al., *Respiratory adaptations in different types of sport.* Eur Rev Med Pharmacol Sci, 2015. **19**(12): p. 2269-74.
3. Gore, C.J., et al., *Spirometric standards for healthy adult lifetime nonsmokers in Australia.* Eur Respir J, 1995. **8**(5): p. 773-82.
4. Hankinson, J.L., J.R. Odencrantz, and K.B. Fedan, *Spirometric reference values from a sample of the general U.S. population.* Am J Respir Crit Care Med, 1999. **159**(1): p. 179-87.
5. García-Río, F., et al., *Spirometry. Spanish Society of Pulmonology and Thoracic Surgery (SEPAR).* Arch Bronconeumol, 2013. **49**(9): p. 388-401.
6. Boskabady, M.H., et al., *Prediction equations for pulmonary function values in healthy young Iranians aged 8-18 years.* Respirology, 2004. **9**(4): p. 535-42.
7. Waschki, B., et al., *Physical activity is the strongest predictor of all-cause mortality in patients with COPD: a prospective cohort study.* Chest, 2011. **140**(2): p. 331-42.
8. Schünemann, H.J., et al., *Pulmonary function is a long-term predictor of mortality in the general population: 29-year follow-up of the Buffalo Health Study.* Chest, 2000. **118**(3): p. 656-64.
9. Sanchís, J., P. Casan, and J. Castillo *Normativa para la espirometría forzada. Grupo de trabajo de la SEPAR para la práctica de la espirometría en clínica.* 1985.
10. Ruppel, G.L. and P.L. Enright, *Pulmonary function testing.* Respir Care, 2012. **57**(1): p. 165-75.
11. López Chicharro José and A. Fernández Vaquero, *Fisiología del Ejercicio*. 2006. p. 987.
12. Fatima, S.S., et al., *Physical activity and its effect on forced expiratory volume.* J Pak Med Assoc, 2013. **63**(3): p. 310-2.
13. Tresguerres, J., *Fisiologia Humana*. 2005, McGraw-Hill, Interamericana: Madrid.
14. Guyton, A.C. and J.E. Hall, *Tratado de Fisiología Médica*. 2011, Elsevier España.
15. Durmic, T., et al., *Sport-specific influences on respiratory patterns in elite athletes.* J Bras Pneumol, 2015. **41**(6): p. 516-22.
16. Pherwani, A.V., A.G. Desai, and A.B. Solepure, *A study of pulmonary function of competitive swimmers.* Indian J Physiol Pharmacol, 1989. **33**(4): p. 228-32.
17. Hulke, S.M., M.S. Phatak, and Y.P. Vaidya, *Cardiorespiratory response to aerobic exercise programs with different intensity: 20 weeks longitudinal study.* J Res Med Sci, 2012. **17**(7): p. 649-55.
18. Córdova, A., *Fisiología Dinámica*. 2003, Masson.
19. Herrera de la Rosa, A. and F. García Río, *[Functional assessment of respiratory muscles].* Arch Bronconeumol, 2000. **36**(3): p. 146-58.
20. HajGhanbari, B., et al., *Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses.* J Strength Cond Res, 2013. **27**(6): p. 1643-63.

21. Prakash, S., S. Meshram, and U. Ramtekkar, *Athletes, yogis and individuals with sedentary lifestyles; do their lung functions differ?* Indian J Physiol Pharmacol, 2007. **51**(1): p. 76-80.
22. Doherty, M. and L. Dimitriou, *Comparison of lung volume in Greek swimmers, land based athletes, and sedentary controls using allometric scaling.* Br J Sports Med, 1997. **31**(4): p. 337-41.
23. Mickleborough, T.D., et al., *Pulmonary adaptations to swim and inspiratory muscle training.* Eur J Appl Physiol, 2008. **103**(6): p. 635-46.
24. Kubiak-Janczaruk, E., *[Spirometric evaluation of the respiratory system in adolescent swimmers].* Ann Acad Med Stetin, 2005. **51**(2): p. 105-13.
25. Noriega-Sánchez, S.A., et al., *Forced inspiratory volume in the first second as predictor of front-crawl performance in young sprint swimmers.* J Strength Cond Res, 2015. **29**(1): p. 188-94.
26. Ramos, P.S., D.R. Ricardo, and C.G. Araújo, *Cardiorespiratory optimal point: a submaximal variable of the cardiopulmonary exercise testing.* Arq Bras Cardiol, 2012. **99**(5): p. 988-96.
27. Forster, H.V. and L.G. Pan, *Breathing during exercise: demands, regulation, limitations.* Adv Exp Med Biol, 1988. **227**: p. 257-76.
28. Hankinson, J.L., et al., *Performance of American Thoracic Society-recommended spirometry reference values in a multiethnic sample of adults: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA) lung study.* Chest, 2010. **137**(1): p. 138-45.
29. *Lung function testing: selection of reference values and interpretative strategies. American Thoracic Society.* Am Rev Respir Dis, 1991. **144**(5): p. 1202-18.
30. Chatterjee, S., D. Saha, and B.P. Chatterjee, *Pulmonary function studies in healthy non-smoking men of Calcutta.* Ann Hum Biol, 1988. **15**(5): p. 365-74.
31. Viljanen, A.A., et al., *Spirometric studies in non-smoking, healthy adults.* Scand J Clin Lab Invest Suppl, 1982. **159**: p. 5-20.
32. Sanz Ortega, J., et al., *[Standardization of forced spirometry. Analysis of the basal pulmonary function (PEF, FEF2575, FEF50) in a selected group of children].* An Esp Pediatr, 1990. **32**(6): p. 499-506.
33. Mosharraf-Hossain A K M and R. Chakrabortty, *Reference values of 6 minutes walk test (6 MWT) in Bangladeshi healthy subjects aged 25-55 years.* Bangladesh Med Res Counc Bull, 2014. **40**(2): p. 70-3.
34. Nadeem, M.A., S.N. Raza, and M.A. Malik, *Ventilatory function of healthy, urban, non smoking, Pakistani young adults aged 18-24 years.* Respir Med, 1999. **93**(8): p. 546-51.
35. Chhabra, S.K., et al., *Prediction equations for spirometry in adults from northern India.* Indian J Chest Dis Allied Sci, 2014. **56**(4): p. 221-9.
36. Quanjer, P.H., et al., *Implications of adopting the Global Lungs Initiative 2012 all-age reference equations for spirometry.* Eur Respir J, 2013. **42**(4): p. 1046-54.
37. Memon, M.A., M.P. Sandila, and S.T. Ahmed, *Spirometric reference values in healthy, non-smoking, urban Pakistani population.* J Pak Med Assoc, 2007. **57**(4): p. 193-5.

38. van Schalkwyk, E.M., et al., *Guideline for office spirometry in adults, 2004.* S Afr Med J, 2004. **94**(7 Pt 2): p. 576-87.
39. Larsen, H.B. and A.W. Sheel, *The Kenyan runners.* Scand J Med Sci Sports, 2015. **25 Suppl 4**: p. 110-8.
40. Miller, M.R., et al., *Standardisation of spirometry.* Eur Respir J, 2005. **26**(2): p. 319-38.
41. Jones, M., et al., *Forced expiratory flows and volumes in infants. Normative data and lung growth.* Am J Respir Crit Care Med, 2000. **161**(2 Pt 1): p. 353-9.
42. White, N.W., et al., *Review and analysis of variation between spirometric values reported in 29 studies of healthy African adults.* Am J Respir Crit Care Med, 1994. **150**(2): p. 348-55.
43. Chhabra, S.K., *Regional variations in vital capacity in adult males in India: comparison of regression equations from four regions and impact on interpretation of spirometric data.* Indian J Chest Dis Allied Sci, 2009. **51**(1): p. 7-13.
44. Meineri, G., et al., *[Vital capacity and maximal expiratory volume in 1 second: current values in 1280 subjects examined for physical and psychological fitness in the selection of officers and non-commissioned officers and theoretical reference values].* Riv Med Aeronaut Spaz, 1983. **48**(1-4): p. 93-103.
45. Wilmore, J.H. and W.L. Haskell, *Body composition and endurance capacity of professional football players.* J Appl Physiol, 1972. **33**(5): p. 564-7.
46. Johari, H.M., et al., *Effect of gender specific anthropometric characteristics on lung function in young competitive triathletes from Malaysia.* J Sports Med Phys Fitness, 2016.
47. Lazovic-Popovic, B., et al., *Superior lung capacity in swimmers: Some questions, more answers!* Rev Port Pneumol (2006), 2016.
48. Mazic, S., et al., *Respiratory parameters in elite athletes--does sport have an influence?* Rev Port Pneumol (2006), 2015. **21**(4): p. 192-7.
49. Collins, L.C., et al., *The effect of body fat distribution on pulmonary function tests.* Chest, 1995. **107**(5): p. 1298-302.
50. Lazarus, R., et al., *Effects of body composition and fat distribution on ventilatory function in adults.* Am J Clin Nutr, 1998. **68**(1): p. 35-41.
51. Chinn, D.J., J.E. Cotes, and J.W. Reed, *Longitudinal effects of change in body mass on measurements of ventilatory capacity.* Thorax, 1996. **51**(7): p. 699-704.
52. Baumgartner, R.N., et al., *Cross-sectional age differences in body composition in persons 60+ years of age.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 1995. **50**(6): p. M307-16.
53. Palka, M.J., *Spirometric predicted values for teenage boys: relation to body composition and exercise performance.* Bull Eur Physiopathol Respir, 1982. **18**(1): p. 59-64.
54. Neder, J.A., et al., *Reference values for lung function tests. I. Static volumes.* Braz J Med Biol Res, 1999. **32**(6): p. 703-17.
55. Paulo, R., J. Petrica, and J. Martins, *[Physical activity and respiratory function: corporal composition and spirometric values analysis].* Acta Med Port, 2013. **26**(3): p. 258-64.

56. Ragnarsdóttir, M. and E.K. Kristinsdóttir, *Breathing movements and breathing patterns among healthy men and women 20-69 years of age. Reference values.* Respiration, 2006. **73**(1): p. 48-54.
57. Hassel, E., et al., *Association between pulmonary function and peak oxygen uptake in elderly: the Generation 100 study.* Respir Res, 2015. **16**: p. 156.
58. Janssens, J.P., J.C. Pache, and L.P. Nicod, *Physiological changes in respiratory function associated with ageing.* Eur Respir J, 1999. **13**(1): p. 197-205.
59. Pride, N.B., *Ageing and changes in lung mechanics.* Eur Respir J, 2005. **26**(4): p. 563-5.
60. COHN, J.E. and H.D. DONOSO, *MECHANICAL PROPERTIES OF LUNG IN NORMAL MEN OVER 60 YEARS OLD.* J Clin Invest, 1963. **42**: p. 1406-10.
61. MacAuley, D., et al., *Physical activity, physical fitness and respiratory function--exercise and respiratory function.* Ir J Med Sci, 1999. **168**(2): p. 119-23.
62. Mead, J., *Dysanapsis in normal lungs assessed by the relationship between maximal flow, static recoil, and vital capacity.* Am Rev Respir Dis, 1980. **121**(2): p. 339-42.
63. Schwartz, J., et al., *Sex and race differences in the development of lung function.* Am Rev Respir Dis, 1988. **138**(6): p. 1415-21.
64. Clausen, J.L., *Prediction of normal values in pulmonary function testing.* Clin Chest Med, 1989. **10**(2): p. 135-43.
65. Caussade, S., et al., *[Spirometric values in healthy Chilean children and adolescents].* Rev Med Chil, 2015. **143**(11): p. 1386-94.
66. Hancock, D.B., et al., *Meta-analyses of genome-wide association studies identify multiple loci associated with pulmonary function.* Nat Genet, 2010. **42**(1): p. 45-52.
67. Massey, D.G. and G. Fournier-Massey, *Japanese-American pulmonary reference values: influence of environment on anthropology and physiology.* Environ Res, 1986. **39**(2): p. 418-33.
68. Tang, W., et al., *Large-scale genome-wide association studies and meta-analyses of longitudinal change in adult lung function.* PLoS One, 2014. **9**(7): p. e100776.
69. Soler Artigas, M., et al., *Genome-wide association and large-scale follow up identifies 16 new loci influencing lung function.* Nat Genet, 2011. **43**(11): p. 1082-90.
70. Repapi, E., et al., *Genome-wide association study identifies five loci associated with lung function.* Nat Genet, 2010. **42**(1): p. 36-44.
71. López Chicharro, J., *Actualizaciones en fisiología del ejercicio, 2004*. 1. ed. 2003, Madrid: Dirección General de Deportes, Consejería de Cultura y Deportes, Comunidad de Madrid. 131 p.
72. Lucía, A., et al., *Physiological differences between professional and elite road cyclists.* Int J Sports Med, 1998. **19**(5): p. 342-8.
73. Pougnet, R., et al., *Longitudinal change in professional divers' lung function: literature review.* Int Marit Health, 2014. **65**(4): p. 223-9.
74. Levy, M.N., *Fisiología.*, R.M. Berne, Koeppen, B.M., Stanton, B. A., Editor. 2009, Elsevier: Barcelona.
75. Rong, C., et al., *Lung function and cytokine levels in professional athletes.* J Asthma, 2008. **45**(4): p. 343-8.

76. Konarski, M., et al., *Lung function in divers.* Adv Exp Med Biol, 2013. **788**: p. 221-7.
77. Salinero, J.J., et al., *Respiratory function is associated to marathon race time.* J Sports Med Phys Fitness, 2016.
78. Degens, H., et al., *Relationship between ventilatory function and age in master athletes and a sedentary reference population.* Age (Dordr), 2013. **35**(3): p. 1007-15.
79. Chhabra, S.K., *Interpretation of Spirometry: Selection of Predicted Values and Defining Abnormality.* Indian J Chest Dis Allied Sci, 2015. **57**(2): p. 91-105.
80. Grisbrook, T.L., et al., *The effect of exercise training on pulmonary function and aerobic capacity in adults with burn.* Burns, 2012. **38**(4): p. 607-13.
81. Hyatt RE, Scanlon PD, and N. M, *Interpretation of Pulmonary Function Tests: A Practical Guide*. second ed, ed. L.W.a. Wilkins. 2003.
82. Hanson, J.S., *Maximal exercise performance in members of the US Nordic Ski Team.* J Appl Physiol, 1973. **35**(5): p. 592-5.
83. Mezzani, A., et al., *Standards for the use of cardiopulmonary exercise testing for the functional evaluation of cardiac patients: a report from the Exercise Physiology Section of the European Association for Cardiovascular Prevention and Rehabilitation.* Eur J Cardiovasc Prev Rehabil, 2009. **16**(3): p. 249-67.
84. Arena, R., et al., *Assessment of functional capacity in clinical and research settings: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Exercise, Rehabilitation, and Prevention of the Council on Clinical Cardiology and the Council on Cardiovascular Nursing.* Circulation, 2007. **116**(3): p. 329-43.
85. Miller, M.R. and A.C. Pincock, *Predicted values: how should we use them?* Thorax, 1988. **43**(4): p. 265-7.
86. Laszlo, G., *Standardisation of lung function testing: helpful guidance from the ATS/ERS Task Force.* Thorax, 2006. **61**(9): p. 744-6.
87. Hueto, J., et al., *[Spirometry in primary care in Navarre, Spain].* Arch Bronconeumol, 2006. **42**(7): p. 326-31.
88. Gibbons, R.J., et al., *ACC/AHA 2002 guideline update for exercise testing: summary article. A report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Committee to Update the 1997 Exercise Testing Guidelines).* J Am Coll Cardiol, 2002. **40**(8): p. 1531-40.
89. Esco, M.R., M.S. Olson, and H.N. Williford, *The relationship between selected body composition variables and muscular endurance in women.* Res Q Exerc Sport, 2010. **81**(3): p. 272-7.
90. Gáldiz, J.B. and J. Martinez Llorens, *New spirometric reference values.* Arch Bronconeumol, 2013. **49**(10): p. 413-4.
91. Gutiérrez C, M., et al., *[New spirometric reference equations for healthy Chilean adults].* Rev Med Chil, 2014. **142**(2): p. 143-52.
92. Quanjer, P.H., et al., *Multi-ethnic reference values for spirometry for the 3-95-yr age range: the global lung function 2012 equations.* Eur Respir J, 2012. **40**(6): p. 1324-43.
93. Roca, J., et al., *References values for forced spirometry. Group of the European Community Respiratory Health Survey.* Eur Respir J, 1998. **11**(6): p. 1354-62.

94. Galanis, N., et al., *Forced expiratory volume in one second and peak expiratory flow rate values in non-professional male tennis players.* J Sports Med Phys Fitness, 2006. **46**(1): p. 128-31.
95. Myrianthefs, P., et al., *Spirometry may underestimate airway obstruction in professional Greek athletes.* Clin Respir J, 2014. **8**(2): p. 240-7.
96. Zijlema, W.L., et al., *(Un)Healthy in the City: Respiratory, Cardiometabolic and Mental Health Associated with Urbanity.* PLoS One, 2015. **10**(12): p. e0143910.
97. Martínez-Briseño, D., et al., *Socioeconomic Status and Longitudinal Lung Function of Healthy Mexican Children.* PLoS One, 2015. **10**(9): p. e0136935.
98. Hart, N., et al., *Evaluation of an inspiratory muscle trainer in healthy humans.* Respir Med, 2001. **95**(6): p. 526-31.
99. Ozmen, T., et al., *Effect of respiratory muscle training on pulmonary function and aerobic endurance in soccer players.* J Sports Med Phys Fitness, 2016.
100. Seedhouse, E.L., M.L. Walsh, and A.P. Blaber, *Heart rate, mean arterial blood pressure, and pulmonary function changes associated with an ultraendurance triathlon.* Wilderness Environ Med, 2006. **17**(4): p. 240-5.
101. Marín Santos, M., M. Ramos Solchaga, and M.R. Urbez Mir, *ASSESSMENT LABORATORY OF CARDIOPULMONARY EXERCISE IN REHABILITATION*, in *Rehabilitación*. 2005, Elservier: Madrid. p. 331-42.
102. Koegelenberg, C.F., F. Swart, and E.M. Irusen, *Guideline for office spirometry in adults, 2012.* S Afr Med J, 2013. **103**(1): p. 52-62.
103. Blackie, S.P., et al., *Normal values and ranges for ventilation and breathing pattern at maximal exercise.* Chest, 1991. **100**(1): p. 136-42.
104. Vaz Fragoso, C.A., et al., *Use of lambda-mu-sigma-derived Z score for evaluating respiratory impairment in middle-aged persons.* Respir Care, 2011. **56**(11): p. 1771-7.
105. Vaz Fragoso, C.A. and T.M. Gill, *Respiratory impairment and the aging lung: a novel paradigm for assessing pulmonary function.* J Gerontol A Biol Sci Med Sci, 2012. **67**(3): p. 264-75.
106. Brunelli, A. and G. Rocco, *Spirometry: predicting risk and outcome.* Thorac Surg Clin, 2008. **18**(1): p. 1-8.

9. ANEXOS

9 ANEXOS

9.1.1 Anexo 1. Consentimiento Informado

Universidad de Alcalá

OPTIMAL HEALTH & PERFORMANCE
Centro Médico del Deporte OHP

CONSENTIMIENTO INFORMADO

He leído la hoja de información con detenimiento y he entendido los procedimientos que se va a llevar a cabo. Conozco los riesgos inherentes a la realización del test y he podido preguntar al personal sanitario sobre todos los aspectos que he considerado oportuno para tener un adecuado conocimiento de la prueba a efectuar.

Soy plenamente consciente de los riesgos y beneficios de estas pruebas y he sido informado con exactitud y claridad.

Autorizo de forma voluntaria al equipo médico de Optimal Health and Performance (Reebok Sports Club) e investigadores del proyecto a realizar la espirometría y el protocolo de prueba de esfuerzo más idóneo para obtener la máxima información sobre mi capacidad funcional y sobre la respuesta cardiocirculatoria y pulmonar al ejercicio.

Sé que puedo retirar el acceso a mis datos en cualquier momento y sin dar explicaciones.

Fdo.....

Madrid a..... de ..... de 201.....

El firmante autoriza el tratamiento de los datos personales suministrados voluntariamente a través del presente documento y autoriza la realización de estudios estadísticos con fines meramente de investigación, de acuerdo con lo establecido en la ley orgánica 15/1999, de 13 de Diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal y demás legislación aplicable y el titular de los datos puede ejercitar sus derechos de acceso, rectificación, oposición y cancelación de sus datos de carácter personal suministrados, mediante comunicación escrita. Si no desea facilitar sus datos con estos fines marque esta casilla ☐

9.1.2 Anexo 2. Informe favorable Del Comité de Ética de la Universidad de Alcalá de Henares

Universidad de Alcalá
Comité de Ética de la Investigación y de Experimentación Animal

(A rellenar por la Secretaría)
Cód. CEI: CEID/HU/201604

COMITÉ DE ÉTICA DE LA INVESTIGACIÓN Y DE EXPERIMENTACIÓN ANIMAL DE LA UNIVERSIDAD DE ALCALÁ

INFORME

El Comité de Ética de la Investigación y de Experimentación Animal de la Universidad de Alcalá ha evaluado el proyecto de tesis doctoral titulado ***"Valores espirométricos en mujeres y hombres físicamente activos"***, presentado por Dª. María Jesús Núñez Martí, adscrita al Departamento de Medicina y Especialidades Médicas de esta Universidad.

Analizados los extremos acreditados en el expediente, el Comité considera que el proyecto de tesis doctoral y el procedimiento evaluado son correctos desde el punto de vista ético y metodológico, y por lo tanto da su informe FAVORABLE.

Y para que conste, se firma este informe en Alcalá de Henares, a 31 de marzo de 2016.

María Luisa Marina Alegre
Presidenta del CEI

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ. PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

9.1.3 Anexo 3. Cuestionario de Salud

Universidad de Alcalá

OPTIMAL HEALTH & PERFORMANCE
Centro Médico del Deporte OHP

CUESTIONARIO DE SALUD

(Modificado de Cuestionario Heyward y apéndices 1, 2 y 3 de PAR Q)

Antecedentes Familiares

¿Algún miembro de su familia directa ha sido tratado o padece algunas de las siguientes enfermedades? Identificar el parentesco con usted (padre, madre, hermano, hermana, etc.)

A. Antecedentes de muerte súbita
B. Diabetes
C. Enfermedad cardiaca (angina de pecho, infarto de miocardio...)
D. Accidente cerebro-vascular (derrame cerebral, embolia, infarto cerebral...)
E. Hipertensión arterial
F. Hipercolesterolemia familiar
G. Obesidad
H. Tuberculosis
I. Alcoholismo
J. Enfermedades mentales
K. Cáncer
L. Alergias, asma
M. Otros

Antecedentes Personales

- ¿Cuándo fue la última vez que se realizó un reconocimiento médico?
- Si es alérgico/a a pólenes, medicamentos, alimentos u otras sustancias, indique los nombres.
- Si le han comentado que padece alguna enfermedad crónica ó importante, indíquelo.

- Información sobre las veces que ha sido hospitalizado/a (las mujeres no reflejarán los embarazos/partos normales).
- Información sobre las intervenciones quirúrgicas a que ha sido sometido/a
- ¿Toma algún medicamento?

LESIONES

- ¿Ha padecido lesiones importantes del aparato relacionadas o no con su actividad deportiva? SI ☐ NO☐
- Fracturas SI ☐ NO☐
- Esguinces SI ☐ NO☐
- Roturas fibrilares SI ☐ NO☐
- Lesiones de meniscos SI ☐ NO☐
- Rotura de ligamentos SI ☐ NO☐

OFTALMOLOGÍA

- ¿Ve motas como moscas volantes? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene dificultad de visión? SI ☐ NO☐
- ¿Usa gafas y/o lentillas? SI ☐ NO☐

OTORRINOLARINGOLOGÍA

- ¿Oye bien? SI ☐ NO☐
- ¿Respira mal por la nariz? SI ☐ NO☐
- ¿Sangra con frecuencia por la nariz? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene muchos catarros de nariz? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene afonía? SI ☐ NO☐

DERMATOLOGÍA

- ¿Ha tenido infecciones en la piel? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido eczemas? SI ☐ NO☐
- ¿Alergias en la piel? SI ☐ NO☐

ACCIDENTES

- ¿Ha tenido algún accidente deportivo? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido algún accidente de otro tipo? SI ☐ NO☐
- ¿Le han quedado secuelas? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido algún traumatismo craneo-encefálico en los últimos dos años? SI ☐ NO☐

SISTEMA LOCOMOTOR

- ¿Tiene alguna deformidad en el sistema locomotor? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene dolores articulares? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene problemas con ciertos movimientos o al andar? SI ☐ NO☐
- ¿Se le hinchan las articulaciones? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene problemas de columna? SI ☐ NO☐
- ¿Utiliza plantillas, correctores ortopédicos,...? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido lesiones deportivas de importancia? SI ☐ NO☐

CARDIOVASCULAR

- ¿Tiene opresión en el pecho al hacer ejercicio? SI ☐ NO☐
- ¿Le falta el aire? SI ☐ NO☐
- ¿Ha experimentado alteraciones del ritmo cardiaco, como palpitaciones o falta de latidos? SI ☐ NO☐
- ¿Ha experimentado la sensación de que el corazón se acelera excesivamente sin razón aparente? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene la tensión arterial alta? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene la tensión arterial baja? SI ☐ NO☐
- ¿Se le hinchan los pies o tobillos? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido alguna enfermedad de corazón? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene varices? SI ☐ NO☐
- ¿Siente dolores o calambres en las piernas? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene la experiencia de que sus manos o sus pies están

más fríos que las otras partes del cuerpo? SI ☐ NO☐

- ¿Tiene sensación de hormigueo, adormecimiento o pérdida de sensación en brazos, manos, piernas, pies o cara? SI ☐ NO☐

FUNCIÓN PULMONAR

- ¿Tose frecuentemente? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene mucosidad con sangre? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene catarros frecuentes? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene crisis de asma? SI ☐ NO☐
- ¿Le duele el pecho? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene expectoración? SI ☐ NO☐
- ¿Padece bronquitis de repetición? SI ☐ NO☐
- ¿Experimenta falta de respiración o respiración agitada mientras camina con personas de su edad? SI ☐ NO☐

BOCA

- ¿Le faltan piezas dentales? SI ☐ NO☐
- ¿Le sangran las encías? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido fuertes dolores de muelas? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene mal sabor de boca? SI ☐ NO☐

SISTEMA DIGESTIVO

- ¿Tiene dolores en el estómago? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene problemas con las digestiones? SI ☐ NO☐
- ¿Vomita con frecuencia? SI ☐ NO☐
- ¿Ha perdido el apetito? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene problemas al tragar? SI ☐ NO☐
- ¿Padece estreñimiento? SI ☐ NO☐

- ¿Tiene diarrea con frecuencia? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene algún bulto en el ano? SI ☐ NO☐
- ¿Sangra al hacer de vientre? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido hepatitis? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido cólicos de hígado? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido hernias? SI ☐ NO☐

SISTEMA URINARIO

- ¿Ha tenido cólicos de riñón? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene problemas al orinar? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido enfermedades de transmisión sexual? SI ☐ NO☐

ENDOCRINOLOGÍA

- ¿Ha variado últimamente su peso corporal? SI ☐ NO☐
- ¿Padece diabetes? SI ☐ NO☐
- ¿Padece alguna enfermedad endocrina?(Hipotiroidismo, hipertiroidismo, alteraciones hipofisarias, hiperprolactinemia, suprarrenales) SI ☐ NO☐

SISTEMA NERVIOSO

- ¿Le duele la cabeza con frecuencia? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene vértigos o mareos? SI ☐ NO☐
- ¿Se siente triste o desgraciado con frecuencia? SI ☐ NO☐
- ¿Se enfada fácilmente? SI ☐ NO☐
- ¿Se ha sentido excesivamente nervioso/a o con ansiedad sin razón aparente? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene pérdidas de memoria? SI ☐ NO☐
- ¿Ha tenido convulsiones? SI ☐ NO☐
- ¿Tiene problemas para dormir? SI ☐ NO☐
- ¿Suele encontrase agotado ya por la mañana? SI ☐ NO☐

- ¿Le fatiga el trabajo? SI ☐ NO☐
- ¿Ha perdido el conocimiento alguna vez en su vida? SI ☐ NO☐

HÁBITOS

TABAQUISMO

- ¿Ha fumado cigarrillos, puros o en pipa? SI ☐ NO☐
- ¿Fuma en la actualidad? SI ☐ NO☐
  - _____ cigarrillos al día
  - _____ puros al día
  - _____ pipas al día

- ¿A qué edad comenzó a fumar? _____ años
- Si ha dejado de fumar, ¿cuando fue? _____ años

ALCOHOL

- Durante el mes pasado ¿cuántos días ha tomado bebidas alcohólicas? _____

- Durante el mes pasado ¿cuántas veces tomó 5 o más copas en un día? _____

- Por término medio, ¿cuántos vasos de vino, cerveza o licor consume en una semana?

  _____ cervezas

  _____ vasos de vino

  _____ copas de licor o destilados

HÁBITOS NUTRICIONALES

- ¿Toma vitaminas o suplementos nutricionales? SI ☐ NO☐
- ¿Bebe alcohol a diario? SI ☐ NO☐
- ¿Lleva algún régimen especial de alimentación? SI ☐ NO☐
- ¿Bebe al menos 1,5 litros de agua al día? SI ☐ NO☐

- ¿Consume café o bebidas con cola habitualmente? SI ☐ NO☐

- ¿Qué come habitualmente?
  - ☐ Desayuno
  - ☐ A media mañana
  - ☐ Almuerzo
  - ☐ Merienda
  - ☐ Cena
  - ☐ Después de cenar

- ¿Con qué frecuencia come alimentos fritos? _____veces a la semana
- ¿Con la comida servida en la mesa, suele añadir sal? SI ☐ NO☐
- ¿Con qué frecuencia toma legumbres? _____veces a la semana
- ¿Con qué frecuencia come carne de ave? _____veces a la semana
- ¿Con qué frecuencia come carne? _____ veces a la semana
- ¿Con qué frecuencia come pescado? _____ veces a la semana
- ¿Con qué frecuencia toma huevos? _____ veces a la semana
- ¿Todos los días toma al menos 2 piezas de fruta? SI ☐ NO☐
- ¿Todos los días toma patatas, arroz, cereales o pan? SI ☐ NO☐
- ¿Todos los días toma leche o productos lácteos? SI ☐ NO☐

HISTORIA DEPORTIVA

1. ¿Hace ejercicio físico habitualmente? (al menos 3d/sem) SI ☐ NO☐
2. ¿Cuántas sesiones de ejercicio realiza por semana? _____ semanales
3. ¿Cuántos minutos realiza por sesión de ejercicio, por término medio? ____
4. ¿Desde cuándo realiza usted ejercicio regularmente? _____ años
5. Señale las actividades que realiza cuando hace actividad física:
   - ☐ Carrera
   - ☐ Bicicleta
   - ☐ Natación
   - ☐ Clases colectivas
   - ☐ Balonmano, Baloncesto, Fútbol
   - ☐ Tenis, pádel o squash

- ☐ Musculación
- ☐ Otros (especificar) _____

6. ¿Cuál es su próximo reto?_____

9.1.4 Anexo 4. Información y Procedimiento

Universidad de Alcalá

OPTIMAL HEALTH & PERFORMANCE
Centro Médico del Deporte OHP

INFORMACIÓN

Título del Estudio: VALORES ESPIROMÉTRICOS EN SUJETOS FÍSICAMENTE ACTIVOS

Investigadores:

- Julia Buján Varela. Vicerrectora de Personal Docente e Investigador UAH. Catedrático de Universidad. Licenciada en Ciencias Biológicas y en Medicina y Cirugía y Doctora en Medicina.
- José López Chicharro. Doctor en Medicina y Cirugía UCM. Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Catedrático Fisiología del Ejercicio. Escuela de Enfermería, Fisioterapia y Podología de la Universidad Complutense de Madrid.
- María Jesús Núñez Martí. Médico Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Centro de Medicina Deportiva Optimal Health and Performance.

Estudio:

La espirometría basal nos aporta datos de normalidad y distingue alteraciones que pudieran ser patológicas, antes de que aparezca la sintomatología. Desde el punto de vista preventivo se ha incorporado a los reconocimientos rutinarios laborales. Los hábitos de vida influyen en los resultados de dicha prueba. Actualmente los datos recogidos en base a esta prueba se organizan por áreas geográficas, sexo, edades, ofreciendo tablas de normalidad incorporadas a los aparatos de medición.

Justificación: a pesar de disponer de diferentes guías de normalidad de valores espirométricos en reposo en diferentes poblaciones normales, aún no han sido bien establecidos en una población físicamente activa.

Se pretende demostrar que los sujetos que realizan ejercicio de forma habitual, considerados físicamente activos, muestran unos valores espirométricos superiores a la población general.

Los objetivos son definir la normalidad entre sujetos físicamente activos en la espirometría basal. Como objetivo secundario está establecer una relación entre los valores espirométricos y el consumo máximo de oxígeno.

Procedimiento:

El estudio se realizará en la sala de Ergoespirometría del Centro Medico del Deporte de Reebok Sports Club. Se realizara una espirometría basal y una Ergoespirometría, que no superarán los 90 minutos de duración.

Durante el desarrollo del test, respirará a través de un sistema adaptado a tal efecto, con el fin de poder analizar el volumen y la composición del aire que espira, y poder calcular importantes parámetros en su valoración funcional. Tanto en reposo como en ejercicio.

También durante el test de esfuerzo monitorizaremos el funcionamiento eléctrico de su corazón, mediante la colocación de electrodos en el tórax.

Los beneficios que ofrecen este tipo de pruebas es el conocimiento del estado de salud a nivel cardio-pulmonar, y por tanto establecer un punto de partida objetivo para poder mejorar.

Los riesgos difieren según la prueba:

- Espirometría basal: Es una prueba inocua pero puede presentar leves síntomas de mareo, que si se realiza correctamente no es frecuente. Los profesionales del ámbito sanitario conocen las técnicas para su realización con seguridad y sin riesgo para el paciente, pudiendo solventar los posibles incidentes.
- Ergoespirometría: Aunque muy raro, durante el test ergométrico pueden aparecer respuestas no esperadas, como hipertensión, arritmias ó fallo cardiaco. El equipo médico que realiza la exploración está preparado para solventar adecuadamente estas situaciones adversas.

Se recogerán estos datos:

- Espirometría: FVC, FEV_1, $FEF_{25-75\%}$, PEF, I Tiffenau.
- Ergoespirometría: Valores máximos de Ventilación, Consumo máximo de Oxígeno, equivalentes de oxígeno y CO_2, PET O_2 y PET CO_2 y cociente respiratorio.

Confidencialidad

La protección de los datos personales del paciente se hará por medio de una anonimización, es decir, se asigna un código a cada paciente y luego se desvincula, borrando la relación entre los datos del paciente y los códigos. De esta forma no es posible relacionar el código al paciente. Una vez realizada esta operación los datos pierden por completo el carácter personal ya que no pueden ser asociados a sujeto alguno.

De acuerdo con la Ley Orgánica 15/1999 de protección de datos de carácter personal, usted puede ejercer los derechos de acceso (pedir información sobre la información suya que hay guardada en la base de datos), de oposición (negarse a dar los datos), de cancelación (solicitar que se destruyan los datos) y rectificación (si con el tiempo se modifica algún dato o se detecta algún error). Debe saber también que una vez otorgado el consentimiento podrá solicitar la retirada de las muestras en cualquier momento y sin tener que dar ninguna explicación.

Supervisión de la investigación:

Este estudio ha sido revisado y aprobado por el Comité de Ética en la Investigación Humana de la Universidad de Alcalá. Este Comité está acreditados por la Comunidad de Madrid para

realizar la revisión independiente de proyectos de investigación. Así mismo, serán los encargados de realizar su seguimiento mientras dure el proyecto.

Persona de contacto y responsable del proyecto:

Si usted precisa mayor información o tiene alguna duda sobre el estudio puede contactar la Dra María Jesús Núñez Martí. mjesus.nunez@reebokclub.com