

TESIS DOCTORAL
PARA OPTAR A LA MENCIÓN “DOCTOR INTERNACIONAL”

**Efectos de diferentes intensidades relativas,
volúmenes, tiempos de recuperación entre
repeticiones y pérdida de velocidad en la
serie sobre el rendimiento en sprint, salto
vertical con cargas y sin cargas y la fuerza
de las extremidades inferiores**

DOCTORANDO:

Ricardo Mora Custodio

DIRECTOR DE TESIS:

Dr. Juan José González-Badillo



UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE
PROGRAMA DE DOCTORADO EN
CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

SEVILLA, 8 DE JUNIO DE 2017

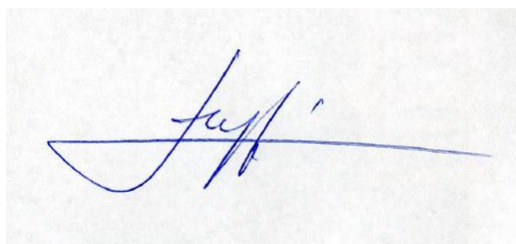
TESIS DOCTORAL
PARA OPTAR A LA MENCIÓN “DOCTOR INTERNACIONAL”

**Efectos de diferentes intensidades relativas,
volúmenes, tiempos de recuperación entre
repeticiones y pérdida de velocidad en la
serie sobre el rendimiento en sprint, salto
vertical con cargas y sin cargas y la fuerza
de las extremidades inferiores**

UNIVERSIDAD PABLO DE OLAVIDE
PROGRAMA DE DOCTORADO EN
CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

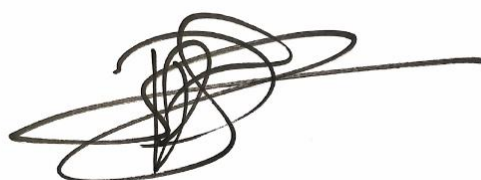
SEVILLA, 8 DE JUNIO DE 2017

DIRECTOR DE TESIS:



DR. JUAN JOSÉ GONZÁLEZ BADILLO

DOCTORANDO:



RICARDO MORA CUSTODIO



Universidade da Beira Interior

December 15th, 2016

TO WHOM IT MAY CONCERN

MÁRIO ANTÓNIO CARDOSO MARQUES, with National Identity Document 07985979, certify that PhD candidate on the European Doctorate program, Ricardo Mora Custodio, successfully has completed 3 months research work in the Faculty of Sport of the University of Beira Interior (Covilhã, Portugal).

I hereby attest that Ricardo Mora Custodio have stayed and worked extensively during the period of 1st of September 2016 to 15th of December 2016 at the Research Laboratory of the Faculty of Sport, where he together with David Rodríguez Rosell, me and my colleagues have carried out three research projects entitled:

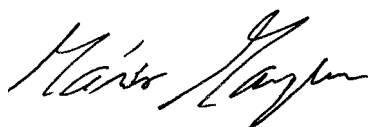
1. The acute effect of different resistance training protocols determined by the velocity of the first repetition and the velocity loss over the set on the mechanical fatigue and metabolic stress.
2. The acute effect of interrepetition rest interval on mechanical and metabolic fatigue during the bench press exercise.
3. Reliability of different kinetic and kinematic variables during a progressive isoinertial loading test in the bench press exercise

In addition to these research projects, we have discussed about other potential projects of collaboration we have in common, which we will seek to develop in the future. Furthermore, Ricardo Mora Custodio have participated and contributed actively to our research seminars providing a number of scientific lectures that have described selected parts of his previous scientific works performed in the Physical Performance & Sports

Research Center (Pablo de Olavide University). Finally, during his stay Ricardo Mora Custodio has demonstrated a high level of scientific knowledge combined with an extensive practical experience with important applied aspects related to the training and physiology of sports and exercise. Therefore, I can only say that it has been a true pleasure to have Ricardo stay and work in our Faculty.

Sincerely,

Mário A. Cardoso Marques

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Mário A. Cardoso Marques', written in a cursive style.

R. Marquês D'Ávila e Bolama, 6201-001 Covilhã, PORTUGAL
Telef.: +351 275 319 716 | Fax: +351 275 319 737 | Linha Azul: 808 200 105
E-mail: s.academicos@ubi.pt | www.academicos.ubi.pt

*A mis padres y hermana,
por ser mi ejemplo a seguir y apoyarme en todo momento.*

AGRADECIMIENTOS

Ahora que se acerca el fin de una etapa de mi vida de la que me siento profundamente orgulloso, me gustaría dar las gracias a todas aquellas personas que, en mayor o menor medida, han contribuido a lo largo de todos estos años a la realización de la presente Tesis Doctoral y como consecuencia a mi formación como persona e investigador.

A *todos los alumnos* que, durante la realización de los estudios que componen la presente tesis doctoral, se han prestado voluntarios para participar en dichos estudios, sin importar cuantos días hubiera que entrenar, cuantas semanas durase la investigación o cuantas horas tuviesen que estar en el laboratorio. Gracias a gente como vosotros es posible que se lleven a cabo estudios de investigación que a la postre aportan cosas más o menos importantes para el avance en las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.

A *Daniel Almeida Marinho* y *Henrique Pereira Neiva*, por haberme hecho mucho más fácil mi adaptación a Covilhã, hasta tal punto que cuando me tocó emprender la vuelta a España, sentí *saudades* de vosotros y de Covilhã. Por supuesto, también porque habéis estado siempre disponibles para ayudarme sea cuando fuere y para lo que fuere, y aunque yo siempre estaré dispuesto a ayudaos, no podía dejar pasar esta oportunidad sin agradeceróslo, muchas gracias mis amigos portugueses.

A *Mario A. Cardoso Marques* (el *fenómeno* de Oporto), por haberme hecho sentir como en mi casa durante los tres meses en los que hice mi estancia en Covilhã. Por ayudarme en todo lo que has podido, por aquellas cenas y noches inolvidables donde entre risa y risa se me pasaron los 3 meses de estancia demasiado rápido, y por muchas cosas más, muchas gracias *fenómeno*.

A **Juan Ribas Serna**, por aportarme otro punto de vista, por hacerme aprender cada vez que mantenemos una conversación aunque sea con menos frecuencia de la que me gustaría, por ser un ejemplo y por estar siempre dispuesto a ayudarme.

A **Luis Sánchez Medina**, por ayudarme siempre que has podido, por estar dispuesto a enviarme cualquier artículo, documento o cualquier cosa que fuese necesaria. Por responderme siempre que he tenido a bien preguntarte, y por supuesto por hacer de mis primeros días en el laboratorio de entrenamiento deportivo de la universidad pablo de Olavide un recuerdo imborrable de entusiasmo y dedicación.

A **Miguel Sánchez Moreno** y **Beatriz Bachero Mena**, por acompañarme durante estos 4 años e intercambiar conmigo inquietudes y reflexiones no solo de entrenamiento de fuerza, sino de todo aquello que surgiese. Además, quiero agradeceros que siempre estuvieseis dispuestos para ayudarme a solventar cualquier duda que me surgiese.

A **Fernando Pareja Blanco**, por todas las horas que hemos compartido juntos en el laboratorio en los últimos años, y por los debates y reflexiones que hemos mantenido y que me han hecho mejorar día a día.

A **Modesto Luceño Garcés**, por estar siempre disponible cada vez que he tenido que consultar contigo la más mínima duda, por darme tu opinión más sincera sin importar cuál fuera el tema a tratar y por compartir conmigo tu experiencia en la vida, eres una de las personas de las que más cosas he aprendido. Además, porque simple y llanamente sin tu ayuda está tesis doctoral no hubiera salido adelante, quizás puede sonar drástico pero considero que es la realidad, y esto te lo agradeceré siempre amigo.

A mis dos grandes amigos, **David Rodríguez Rosell** (el Calvo mayor de Coria) y a **Juan Manuel Yáñez García** (el Careca de Bonares), si algo no

me hubiera imaginado nunca, hace ya tanto años, cuando comencé este camino que está cerca de terminar, es que al acabar me llevaría algo mucho más importante que una experiencia inolvidable o una tesis doctoral, y es que sin haberlo esperado nunca me llevo a dos amigos que para mí son como dos hermanos. A dos amigos con los que he podido contar siempre desde que los conocí sea para lo que fuere. A dos amigos con los que pienso compartir toda mi vida ya sea en la distancia o en la cercanía porque nadie nunca podrá separar este lazo de amistad que me une a vosotros desde hace ya tanto años. No sé a quién tengo que dar las gracias o si es fruto de la casualidad, pero sea como fuere haberos conocido es una de las mejores cosas de los últimos años.

A *Juan José González Badillo*, el profesor que cambió mi vida para siempre. El profesor al que admiro todos los días como si fuese el primero. El profesor que me llevó en volandas a descubrir una de mis más grandes pasiones, la investigación y el entrenamiento de fuerza. El hombre que me ha enseñado todo lo que sé, tanto de investigación como de entrenamiento de fuerza. Mi padre académico que no deja de aportarme cosas aunque de momento solo sean seis años (con mucha suerte para mí) los que he podido disfrutar, trabajar y aprender de él. Si yo no hubiera conocido a Juan José, muy probablemente hubiera estudiado y me hubiera preparado alguna oposición. Lo que implica que nunca, o ya demasiado tarde, hubiera encontrado mi pasión sobre la investigación y el entrenamiento de fuerza, y por esto te estaré eternamente agradecido.

A *María del Carmen Álvarez Castro*, la mujer de mi vida, la mujer que me ha acompañado durante estos últimos cuatro años, y espero que durante muchos años más. La que me ha hecho feliz. La que me ha ayudado a sobreponerme a todos los inconvenientes que han aparecido en mi vida en los últimos cuatro años. La que me ha enseñado a afrontar los miedos y las

decepciones. La que me ha exigido y con ello me ha hecho ser mejor investigador y persona. La que me hace feliz con tan poco. La mujer de la que me enorgullezco todos los días. La mujer con la que siempre puedo contar para lo que sea sin importar de qué se trate. La mujer que me cura todos mis males, la mujer que para mí lo es todo, la mujer de mi vida. Te quiero.

A mis padres, *Ricardo Mora De los Santos* y *Manuela Custodio Antonio*, y hermana, *Nerea Mora Custodio*, porque sois un ejemplo diario de calidad humana. Porque me habéis enseñado a través de vuestro ejemplo que al mal tiempo, buena cara. Porque habéis hecho todo lo que ha estado en vuestra mano para ayudarme llegar a buen puerto durante este intenso camino, aunque se tratase de coger fresas para darme una ayuda económica que me ha permitido encontrarme a pocas semanas de cerrar una importante etapa de mi vida. No sé cómo podré agradeceros todos los esfuerzos que habéis hecho, pero lo que sí sé es que me siento muy orgulloso de mi familia, que además es la mejor del mundo. Os quiero.

¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!

Publicaciones y Divulgación de Resultados

Como resultado del trabajo realizado durante la presente Tesis Doctoral, se ha publicado un artículo en una revista de reconocido prestigio con factor de impacto JCR, y se han realizado varias aportaciones a congresos internacionales sobre el entrenamiento de fuerza.

Artículos publicados en revistas científicas internacionales (JCR):

- R. Mora-Custodio, D. Rodríguez-Rosell, F. Pareja-Blanco, J. M. Yáñez-García, J. J. González-Badillo. Effect of Low- vs. Moderate-load Squat Training on Strength, Jump and Sprint Performance in Physically Active Women. *International Journal of Sports Medicine*. 2016 Jun;37(6):476-82. DOI: 10.1055/s-0042-100471.

Aportaciones a Congresos:

- Mora-Custodio, R., Yáñez-García, JM., Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., González-Badillo, JJ. The effect of heavy vs. moderate-load training on strength, jump height and acceleration performance. 18th annual Congress of ECSS | 26th 29th June 2013 | Barcelona, Spain. Institution: Universidad Pablo de Olavide.
- Mora-Custodio, R., Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Sánchez-Moreno, M., Pareja-Blanco, F., González-Badillo, J. J. Efecto agudo del tiempo de recuperación entre repeticiones sobre la fatiga mecánica y metabólica. Simposio EXERNET. Investigación en ejercicio, salud y bienestar: Exercise is Medicine. Cádiz. España. 14 – 15 de Octubre de 2016. Institution: Universidad Pablo de Olavide.

En el **Anexo II** se muestran los documentos relacionados con las aportaciones anteriormente mencionadas.

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
1. INTRODUCCIÓN	18
2. ORIGEN DE LA PROBLEMÁTICA OBJETO DE ESTUDIO	24
3. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	32
3.1. Componentes que definen la carga de entrenamiento	34
3.1.1 Intensidad	34
3.1.1.1. Definición.....	34
3.1.1.2. Efecto agudo de la intensidad del entrenamiento de fuerza	36
3.1.1.3. Efecto crónico de la intensidad del entrenamiento de fuerza	37
3.1.2. Volumen.....	39
3.1.2.1. Definición.....	39
3.1.2.2. Efecto agudo del Volumen.....	41
3.1.2.3. Efecto cronico del Volumen	43
3.1.3. Tiempo de recuperación entre repeticiones	45
3.1.3.1. Definición.....	45
3.1.3.2. Efecto agudo del tiempo de recuperación entre repeticiones.....	46
3.1.3.3. Efecto crónico del tiempo de recuperación entre repeticiones	48
3.1.4. Velocidad de Ejecución	48
3.1.5. Fatiga	50
3.1.5.1. Definición.....	50
3.1.5.2. Factores asociados a la fatiga.....	51
3.1.5.3. Formas de medir la fatiga	52
4. ESTUDIO I. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas bajas y medias sobre el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza de las piernas en mujeres jóvenes físicamente activas	55
4.1. PROBLEMA.....	57
4.2. OBJETIVO	57
4.3. HIPOTESIS	57
4.4. METODOLOGÍA	60
4.4.1. Tipo de Investigaciones	60
4.4.2. Muestra.....	60
4.4.3. Diseño Experimental	60
4.4.4. Variables Objeto de Estudio.....	61
4.4.5. Control de Variables Extrañas.....	61

4.4.6. Evaluaciones y Pruebas Físicas	62
4.4.7. Pruebas Físicas.....	63
4.4.8. Instrumental de Evaluación.....	66
4.4.9. Plan de Trabajo	70
4.4.10. Análisis Estadístico	72
4.5. RESULTADOS.....	74
4.6. DISCUSIÓN.....	78
4.7. CONCLUSIONES	83
4.8. APLICACIONES PRÁCTICAS	84
5. ESTUDIO II. Efecto agudo del tiempo de recuperación entre repeticiones sobre la fatiga mecánica y el estrés metabólico en cuatro protocolos del ejercicio de fuerza con cuatro intensidades deferentes.....	85
5.1. PROBLEMA	87
5.2. OBJETIVO	88
5.3. HIPOTESIS	88
5.4. METODOLOGÍA	90
5.4.1. Tipo de Investigación.....	90
5.4.2. Muestra.....	90
5.4.3. Diseño Experimental	90
5.4.4. Evaluación inicial de la fuerza.....	91
5.4.5. Protocolos de entrenamiento de fuerza	92
5.4.6. Medidas de la fatiga mecánica.....	92
5.4.7. Concentración de lactato en sangre	93
5.4.8. Variables Objeto de Estudio.....	93
5.4.9. Control de Variables Extrañas.....	94
5.4.10. Evaluaciones y Pruebas Físicas	94
5.4.11. Instrumental de Evaluación.....	95
5.4.12. Plan de Trabajo	96

5.4.13. Análisis Estadístico	97
5.5. RESULTADOS.....	98
5.6. DISCUSIÓN.....	102
5.7. CONCLUSIONES	106
5.8. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	107
6. ESTUDIO III. Efectos del tiempo de recuperación entre repeticiones sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.	109
6.1 PROBLEMA.....	111
6.2 OBJETIVO	112
6.3 HIPOTESIS	112
6.4. METODOLOGÍA	114
6.4.1. Tipo de Investigación.....	114
6.4.2. Muestra.....	114
6.4.3. Diseño del Estudio	114
6.4.4. Variables Objeto de Estudio.....	115
6.4.5. Control de Variables Extrañas.....	116
6.4.6. Análisis Antropométrico	116
6.4.7. Pruebas Físicas.....	116
6.4.8. Instrumental de Evaluación.....	118
6.4.9. Programa de entrenamiento de fuerza	118
6.4.10. Análisis Estadístico	122
6.5. RESULTADOS.....	123
6.5.1. Salto vertical y sprint.....	123
6.5.2. Evaluaciones Isoinerciales de Fuerza.....	123
6.5.3 Relación entre las variables de fuerza y el salto vertical.....	123
6.6. DISCUSIÓN.....	129

6.7. CONCLUSIONES.....	135
6.8. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	136
7. ESTUDIO IV. Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas bajas, medias y altas, ante una pérdida de velocidad en la serie de 20%, sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las piernas en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza	138
7.1. PROBLEMA.....	140
7.2. OBJETIVO	141
7.3. HIPOTESIS	141
7.4. METODOLOGÍA	143
7.4.1. Tipo de Investigación.....	143
7.4.2. Muestra.....	143
7.4.3 Diseño del Estudio	143
7.4.4. Variables Objeto de Estudio.....	144
7.4.5. Control de Variables Extrañas.....	145
7.4.6. Análisis Antropométrico	145
7.4.7. Pruebas Físicas.....	145
7.4.8. Instrumental de Evaluación.....	146
7.4.9. Programa de Entrenamiento	146
7.4.10. Análisis Estadístico	150
7.5. RESULTADOS.....	151
7.6. DISCUSIÓN.....	158
7.7. CONCLUSIONES.....	163
7.8. APLICACIONES PRÁCTICAS.....	164
8. CONCLUSIONES GENERALES.....	166
8.1. ESTUDIO I / STUDY I.....	168
8.2. ESTUDIO II / STUDY II	168

8.3. ESTUDIO III / STUDY III	169
8.4. ESTUDIO IV / STUDY IV	170
9. APLICACIONES PRACTICAS GENERALES	172
9.1. ESTUDIO I / STUDY I	173
9.2. ESTUDIO II / STUDY II	173
9.3. ESTUDIO III / STUDY III	174
9.4. ESTUDIO IV / STUDY IV	175
10. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	178
11. FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN	181
12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185
13. RELACIÓN DE TABLAS	203
14. RELACIÓN DE FIGURAS.	206
15. GLOSARIO DE ACRONIMOS	213
ANEXO I. Consentimientos Informados	215
ANEXO II. Publicaciones y Divulgación de los Resultados	219

RESUMEN

Efectos de diferentes intensidades relativas, volúmenes, tiempos de recuperación entre repeticiones y pérdida de velocidad en la serie sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores

En la presente tesis doctoral se llevaron a cabo cuatro estudios y tuvo como objetivo analizar los efectos producidos por diferentes configuraciones del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza máxima. En el **Estudio I** se analizó el efecto producido por dos programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en la intensidad relativa (Cargas bajas 40% - 60% vs. Cargas medias 65% - 80%) sobre el rendimiento en el sprint de 20 m, el salto vertical sin cargas y la fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla completa. Con respecto al **Estudio II**, se analizó el efecto agudo provocado por tres configuraciones del entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos) sobre la fatiga mecánica (medida a través de la pérdida de velocidad dentro de las tres series, la pérdida de velocidad con la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la pérdida de altura del salto vertical) y el estrés metabólico (medido a través de la concentración de lactato en sangre) en cuatro protocolos del ejercicio de fuerza con cuatro intensidades diferentes. Con respecto al **Estudio III**, se diseñó con el objetivo de examinar los efectos producidos por tres programas de entrenamiento de fuerza que solo diferían en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos) sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla. Por último en el **Estudio IV**, se analizó el efecto producido por tres programas de entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40% - 55% 1RM), medias (55% - 70% 1RM) y altas (70% - 85% 1RM), ante una pérdida de velocidad del 20% en

la serie de entrenamiento sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores.

ESTUDIO I

Título: Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas bajas comparado con el entrenamiento de fuerza de cargas medias en el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla completa.

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue analizar el efecto producido por un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40% - 60% 1RM) comparado con un programa de entrenamiento de fuerza con cargas medias (65% - 80% 1RM) en el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa.

Metodología: En el presente estudio participaron 30 mujeres jóvenes físicamente activas, sin experiencia en el entrenamiento de fuerza (media \pm dt): edad 22.4 ± 1.9 años, altura 1.65 ± 0.06 m, y peso 61.1 ± 7.7 kg). Ambos grupos de entrenamiento realizaron el mismo número de series y repeticiones por series, y el resto de variables que componen el entrenamiento de fuerza se mantuvieron constantes entre ambos protocolos. El estudio tuvo una duración de 14 semanas, 2 semanas de tests (inicial y final) y 12 de entrenamiento con 2 sesiones por semana. Para evaluar el rendimiento de las participantes se realizaron los siguientes tests en las semanas 1 y 14: test de aceleración en 20 m, test de altura del salto vertical con contramovimiento y test isoinercial de cargas progresivas con el ejercicio de sentadilla completa.

Resultados: Se observó una interacción significativa en las variables T_{10} , T_{20} y CMJ en favor del grupo de cargas bajas comparado con el grupo control. Aunque no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos experimentales (GCB y GCM), el GCB obtuvo un efecto *probablemente* más beneficioso que el GCM en T_{10-20} y T_{20} . Ambos grupos experimentales presentaron mejoras significativas en todas las variables, mientras que el grupo control no obtuvo mejoras significativas en ninguna variable analizada. Con respecto a los cambios en la fuerza máxima, ambos grupos experimentales presentaron mejoras significativas en todas las variables analizadas (1RMest, Pvmp y Uvmp). Aunque no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos experimentales en los cambios en la Fuerza, se observó un efecto *posiblemente* más beneficioso para el grupo de cargas bajas comparado con el grupo de cargas medias en la 1RMest.

Conclusiones y Aplicaciones prácticas: Los resultados del presente estudio sugieren que 12 semanas de entrenamiento de fuerza, con dos sesiones por semana, con intensidades comprendidas entre el 40% y el 60% de 1RM produce efectos similares o más favorables sobre el rendimiento neuromuscular en el mismo ejercicio de entrenamiento y en ejercicios no entrenados, como el sprint y salto, que con cargas más pesadas (65 a 80% de 1RM) en mujeres jóvenes físicamente activas sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Además, estos resultados pueden tener implicaciones para los entrenadores, quienes pueden considerar el uso de protocolos de entrenamiento de fuerza con cargas ligeras y un volumen bajo, haciendo hincapié en el levantamiento de la carga a la máxima velocidad posible para la mejora de la condición física, al menos en entrenamientos de corta duración y para poblaciones jóvenes sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, en lugar de usar cargas más pesadas.

ESTUDIO II

Título: Efecto agudo del tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos) sobre la fatiga mecánica y el estrés metabólico en cuatro protocolos del entrenamiento de fuerza con cuatro cargas diferentes (60, 70, 75 y 80% de 1RM).

Objetivo: El objetivo de nuestro estudio fue analizar el grado de fatiga mecánica y estrés metabólico producido por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 s) a través de cuatro protocolos del ejercicio de fuerza con cuatro intensidades distintas.

Metodología: Treinta hombres jóvenes sanos con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza participaron en el presente estudio (media \pm dt): edad 22.8 ± 3.1 años; altura: 1.80 ± 0.10 metros; peso: 71.9 ± 10.9 kg. En el presente estudio se realizaron 5 sesiones (1 sesión de evaluación y 4 protocolos de ejercicio de fuerza), todas se llevaron a cabo con el ejercicio de sentadilla completa. En la primera sesión de evaluación se llevó a cabo un test isoinercial de incremento de cargas con el objetivo de estimar la RM. En los 4 protocolos de ejercicio de fuerza se realizaron 6, 5, 4 y 3 repeticiones por serie con el 60, 70, 75 y 80% de 1RM, respectivamente. La fatiga mecánica se midió a través de la pérdida de velocidad dentro de las tres series, la pérdida de velocidad con la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la pérdida de altura del salto con contramovimiento, mientras que el estrés metabólicos se midió mediante la concentración sanguínea de lactato.

Resultados: Los resultados del presente estudio indican que, como era de esperar, el grupo que entrenó sin descanso entre repeticiones presentó un grado de fatiga mecánica y estrés metabólico significativamente mayor que los grupos que entrenaron con 10 y 20 segundos de descanso entre repeticiones. Mientras que no hubo diferencias significativas en el grado de fatiga producido por ambos protocolos de entrenamiento de fuerza con tiempo de recuperación entre repeticiones. Además, se observó una relación significativa positiva entre la fatiga mecánica y el estrés metabólico.

Conclusiones y Aplicaciones prácticas: Los resultados del presente estudio sugieren que añadir un periodo de 10 o 20 segundos de recuperación entre repeticiones resulta en un grado de fatiga mecánica y estrés metabólico significativamente menor que entrenar sin descanso entre repeticiones ante cuatro PEFs realizados con el 60, 70, 75 y 80% de 1RM. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas entre el G10 y

el G20 en ninguna variable analizada. Aunque no conocemos si un menor grado de fatiga dentro de la serie, ante la misma intensidad relativa y un mismo trabajo mecánico individual realizado (mismo número de repeticiones en la serie y totales) produce mejor o peor efecto sobre el rendimiento que el mismo entrenamiento pero sin pausas entre repeticiones, este tipo de entrenamiento se puede aplicar si queremos que nuestro deportista entrene ante unas intensidades y volúmenes determinados con grados de fatiga más bajos que los alcanzados con el mismo entrenamiento sin descanso entre repeticiones, ya sea por la cercanía de la competición, por encontrarse en una fase inicial de la recuperación de la condición física o por cualquier otra causa.

ESTUDIO III

Título: Efectos del tiempo de recuperación (0, 10 y 20 s) entre repeticiones sobre el rendimiento en el sprint de 20 metros, el salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue analizar el efecto producido por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 s) sobre el tiempo en sprint, la altura del salto vertical y la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa.

Metodología: Treinta hombres jóvenes con experiencia previa participaron en el presente estudio (media \pm dt): edad 22.8 ± 3.1 años; altura: 1.80 ± 0.10 metros; peso: 71.9 ± 10.9 kg. El presente estudio se llevó a cabo durante 10 semanas, en las que se realizaron 2 sesiones de evaluación y 16 sesiones de en las que se realizaron 2 sesiones de evaluación y 8 sesiones de entrenamiento con 2 sesiones por semana. El entrenamiento consistió en 4 sesiones de 3 series con cada intensidad (60, 70, 75 y 80% 1RM) y con 6, 5, 4 y 3 repeticiones, respectivamente, con 0, 10 o 20 segundos de descanso entre repeticiones. En las sesiones de evaluación se realizaron las siguientes mediciones: test de aceleración en 20 m, test de salto vertical sin cargas, test isoinercial de incremento de cargas en el salto vertical y test isoinercial de incremento de cargas en la sentadilla completa.

Resultados: Todos los grupos mejoraron significativamente el CMJ. Además, el RC obtuvo un efecto probablemente mejor en T₁₀₋₂₀, mientras que presentó un efecto *posiblemente* negativo para el G10 y un efecto *probablemente* trivial para el G20. El tamaño del efecto intra grupo fue muy similar para todos los grupos en las diferentes variables analizadas. El RC obtuvo mejoras significativas ($P < 0.01$) en todas las variables analizadas, mientras que G10 y G20 presentaron incrementos significativos en todas las variables excepto en CMJ20 y CMJ30 para G10 y CMJ20 para G20. El G10 obtuvo mayores TE intra grupo que el CR y el G20 en todas las variables de fuerza, excepto en CMJ20 y CMJ40. Además, se observaron efectos positivos *probables* o *muy probables* en todas las variables y grupos, excepto en CMJ20 para el G10.

Conclusiones y Aplicaciones prácticas: Cuando se igualan las intensidades relativas, el volumen y el tiempo de recuperación entre series, los entrenamientos de fuerza sin descanso entre repeticiones o con descansos de 10 o 20 segundos no producen efectos claramente diferenciados sobre la 1RMest, las velocidades ante distintas cargas absolutas, el rendimiento en carreras cortas y en salto vertical en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Estos resultados son de interés para investigadores, entrenadores o profesionales de la actividad física ya que una corta pausa de recuperación de 10 s entre repeticiones podría ofrecer resultados semejantes que el entrenamiento sin pausa entre repeticiones, lo cual podría ser útil para aplicarlo a personas mayores, deportistas que se recuperan de una lesión o atletas que se encuentren cerca de la competición y quieran bajar el grado de fatiga producido por el entrenamiento.

ESTUDIO IV

Título: Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas bajas, medias y altas, con una pérdida de velocidad del 20%, sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes físicamente activos.

Objetivo: El objetivo del presente estudio fue analizar el efecto del entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40% a 55% 1RM), medias (55% a 70% 1RM) y altas (70% a 85% 1RM), con una pérdida de velocidad en la serie del 20%, sobre el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza en el ejercicio de sentadilla completa.

Metodología: Treinta hombres con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza participaron en este estudio (media \pm dt): edad 19.7 ± 1.9 años, altura 1.83 ± 0.1 m, y peso 93.9 ± 0.1 kg. El estudio tuvo una duración de 10 semanas en las que se realizaron dos sesiones de evaluación y 15 sesiones de entrenamiento (2 sesiones por semana y 1 en la última semana), con las intensidades antes mencionadas y una pérdida de velocidad dentro de la serie del 20%. En las sesiones de evaluación se realizaron los siguientes tests: test de aceleración en 20 metros, test de salto vertical y test isoinercial de incremento de carga en el ejercicio de sentadilla completa.

Resultados: El G55-70 y el G70-85 obtuvieron mejoras significativas en el CMJ mientras que el G40-55 no presentó cambios significativos en ninguna variable analizada. No se observaron interacciones significativas 'grupo x tiempo' para ninguna variable analizada. El G55-70 y el G70-85 presentaron cambios significativos en todas las variables medidas, mientras que el G40.55 solo mostró cambios significativos en 1RMest (Tabla 10). Los grupos G55-70 y el G70-85 presentaron TEs intra grupo similares o mayores que los mostrados por el G40-55 en la mayoría de las variables analizadas.

Conclusiones y Aplicaciones prácticas: Los resultados de nuestro estudio sugieren que ante tres programas de entrenamiento de fuerza con distintos rangos de intensidades relativas y un 20% de pérdida de velocidad dentro de la serie, no se observaron diferencias significativas, pero los grupos que entrenaron con intensidades comprendidas entre el 55% y el 70% de 1RM (G55-70) y entre el 70% y 85% de 1RM (G70-85). Se observó una tendencia a obtener mayores mejoras en el salto vertical y en la fuerza de las extremidades inferiores que el grupo que entrenó con cargas comprendidas

entre el 40% y el 55% de 1RM. Sin embargo, ninguno de los tres programas de entrenamiento presentó mejoras significativas en el rendimiento en carreras de aceleración de 20 metros. Si los entrenadores pretenden mejorar la fuerza y el rendimiento físico en acciones realizadas a alta velocidad de sus deportistas entrenando el ejercicio de sentadilla, aplicar un entrenamiento de un ~20% de pérdida de velocidad dentro de la serie podría representar un grado de fatiga aceptable cuando entrenen con intensidades relativas comprendidas entre el 55/60 y el 85% de la RM, pero la pérdida de velocidad en la serie debería ser menor (10-15%) si las intensidades son menores al 50/55% 1RM.

ABSTRACT

Effects of different relative intensities, volume, interrepetition rest and velocity loss on sprint performance, vertical jump with and without loads and maximal strength

In the present thesis doctoral four studies were carried out and the purpose of this investigation was analyze the effects produce by different resistance training configurations on sprint performance, vertical jump and maximal strength. In the **Study I** we analyzed the effects produces by two resistance training programs with low loads (40% - 60% 1RM) and moderate loads (65% - 80% 1RM) on 20 m sprint time, vertical jump and maximal strength in physically active women without previous experience in resistance training in full squat exercise. With respect to **Study II**, we analyzed the acute effect evoked by three resistance training programs equivalent in all resistance training variables except interrepetition rest (0, 10 y 20 seconds) on mechanical fatigue (measured across of velocity loss into the three sets, velocity loss against $V1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ load and height loss in vertical jump) and metabolic stress (measured across blood lactate concentration) in for resistance exercise protocols with four different relative intensities in full squat exercise. Related to **Study III**, the purpose was examine the effects produces by three resistance training programs which only were different in interrepetition rest (0, 10 y 20 seconds) in sprint performance, vertical jump with and without loads and maximal strength in young men with previous experience in resistance training using the full squat exercise. Finally, the **Study IV**, we analyzed the effects produces by three resistance training, using the full squat exercise, with low loads, moderate loads and high load, with a 20% of velocity loss into the training sets, on sprint performance, vertical jumpo with and without loads and one repetition maximum with young men with previous experience in resistance training.

STUDY I

Title: Effect of Low- vs. Moderate-Load Squat Training on Strength, Sprint, jump and 1RM strength determination in the full squat exercise performance.

Purpose: This study aimed to analyze the effects of resistance training (RT) program using the full squat exercise, on neuromuscular performance. In which were compared the effects of two resistance training (RT) program. A low-load group (40% - 60% 1RM) and a moderate-load group (65% - 80% 1RM) on Strength Sprint, Jump and 1RM strength determination in the full squat exercise performance.

Methodology: Thirty physically active women, volunteered to participate in study, without RT experience in the full squat exercise (mean \pm SD): age 22.4 ± 1.9 years, height 1.65 ± 0.06 m, and body mass 61.1 ± 7.7 kg). Both groups performed a training with equated volume for strength programs and the rest of variables were standard for both groups. Training was performed 2 days a week for 12 weeks and all test were carried out before and after 12-week training study. Strength performance was assessed pre- and post-training using a Sprint times (T₁₀, T₂₀, and T₁₀₋₂₀), countermovement jump (CMJ) and progressive loading test for the individual load-velocity relationship and 1RM strength determination in the full squat exercise estimated one-repetition maximum (1RMest).

Results: It was observed a significant interaction in T₁₀, T₂₀ and CMJ in favor to moderate load group compared to control group. Although not significant differences were observed between both experimental groups (GCB and GCM), the GCB obtained a likely more beneficial effect than GCM in T₁₀₋₂₀ and T₂₀. Both experimental groups presented significant improvements in all measured variables, while the control group no obtained significant improvements in any measured variable. With respect to the changes in maximal strength, both experimental groups presented significant improvements in all analyzed variables (1RMest, P_{vmp} and U_{vmp}). Although, not significant differences between both experimental groups were observed, the probability analysis of better/trivial/worst change resulted in a possibly more favorable effect in 1RMest than moderate loads groups.

Conclusions and Practical applications: The results of the present study suggest that 12 weeks of resistance training, two sessions per week, with intensities between 40% and 60% of 1RM produces similar or more favorable effects on neuromuscular performance in the same exercise trained and exercises not trained, as sprint or jump, than moderate loads (65% to 80% 1RM) in physically active women without previous experience in resistance training. In addition, these results could have implications for coaches who can consider using this resistance training protocols with low loads and low volume, performing each repetition as fast as possible in order to improve physical condition, at least in short term training and in populations with previous experience in resistance training, instead using moderate loads.

STUDY II

Title: Acute effects of interrepetition rest (0, 10 y 20 seconds) on mechanical fatigue and metabolic stress across four resistance exercise protocols with different intensities.

Purpose: The purpose of this study was to determine acute mechanical and metabolic response to three resistance exercise protocols with equal loads, number of repetitions, and total rest duration that differing only of interrepetition rest (0, 10 y 20 seconds).

Methodology: Thirty physically active men with RT experience volunteered to participate in study (mean \pm SD): age 22.8 ± 3.1 years; height: 1.80 ± 0.10 m; body mass: 71.9 ± 10.9 kg. The present study consisted of 5 sessions (1 evaluation session and 4 resistance exercise protocols), in all session the subjects performed the full squat exercise. In the first session, an isoinertial progressive loads test were carried out in order to measure 1RMest and load – velocity curve for each participant. In the four resistance exercise protocols the subjects performed 6, 5, 4 y 3 repetitions with 60, 70, 75 y 80% of 1RM, respectively. The mechanical fatigue was measured across velocity loss into the three sets, velocity loss with $V1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ load and height loss in vertical jump, while metabolic stress was measured across blood lactate concentration.

Results: The results of the present study indicate that, as expected, resistance training without interrepetition rest produces a significantly greater mechanical and metabolic fatigue than resistance training with 10 or 20 seconds. Both groups with interrepetition rest presented a very similar degree of fatigue. In addition, a significant relationship were observed between mechanical fatigue and metabolic stress.

Conclusions and practical applications: Our results suggest the a resistance training with 10 or 20 seconds of interrepetition rest resulted in a significant smaller degree of fatigue into the three sets, height loss in vertical jump and blood lactate concentration across four resistance exercise protocols with four different intensities. In contract, not significant differences were observed between interrepetition rest groups. Although, we don't know if a resistance training with 10 or 20 seconds of interrepetition rest produce greater gains than a traditional resistance training, these type of training with a less degree of fatigue could be of interest for coaches and athletes who are near to the competition or after a injury.

STUDY III

Title: Effect of recovery time (0, 10 and 20 s) between repetitions on 20 m sprint, with and without load vertical jumps and lower limbs strength performance in young resistance trained men

Purpose: The aim of present study was analyze the effect of three identical resistance training programs except in te variable recovery time (0, 10 and 20 s) on sprint time, vertical jump high and strength in full squat.

Methodology: Thirty young trained men participle in the present study (mean \pm SD), age 22.8 ± 3.1 years; height 1.80 ± 0.10 meters; body mass 71.9 ± 10.9 kg. The present study consisted in 2 evaluation sessions and 8 training sessions twice a week during 10 weeks. The training consisted in 4 sessions with 3 sets per intensity (60, 70, 75, and 80% 1RM) and with 6, 6, 4 and 3 repetitions respectively. Interrepetition-rest were 0, 10 or 20 seconds between repetitions. During evaluation sessions, participants performed followed tests: 20m sprint ability, vertical jump, isoinertial vertical jump loading and isoinertial full squat loading.

Results: All groups showed significant improvements in CMJ. In T10-20, RC group obtained a probably better effect, while that G10 showed a possibly negative effect and a probably trivial effect for G20. The effect size intra-group was very similar for all groups in all variables analyzed. The RC group reached significant improvements ($P < 0.01$) in all studied variables, while than G10 and G20 presented significant increments in all variables except CMJ20 and CMJ30 for G10 and CMJ20 for G20. G10 obtained greater TE intra-group than CR and G20 in all strength variables except in CMJ20 and CMJ40. When the practical differences were analyzed, were observed probably or very probably positive effects for all groups and variables studied, except in CMJ20 for G10.

Conclusions and practical applications: when relative intensities, volume and interrepetition-rest between sets take the same values, resistance trainings with 0, 10 or 20 seconds between repetitions do not produced clearly differentiated effects on 1RM estimated, velocities against different absolute loads, sprint ability and vertical jump performance in young trained men. These results are interesting for researchers, coaches or physical activity professionals because a short recovery of 10 s inter-repetitions could offered similar results than the without pause training protocol. This could be useful to

apply in older, athletes in injury rehabilitation or athletes near from competition who want to lower the degree of fatigue produced by training.

STUDY IV

Title: Effects of low, medium and high loads training, with a 20% velocity loss, on sprint ability, vertical jump and lower limbs strength performance in physically active young men..

Propose: The aim of present study was to analyze the effect of low (40% to 55% 1RM) medium (55% to 70% 1RM) and high (70% to 85% 1RM) loads resistance training on sprint ability, vertical jump and strength in full squat exercise.

Methods: Thirty young men with previous resistance training experience participate in the present study (mean \pm SD), age 19.7 ± 1.9 years; height 1.83 ± 0.10 meters; body mass 93.9 ± 0.1 kg. The study consisted in 2 evaluation sessions and 15 training sessions twice a week during 10 weeks with previous mentioned intensities and a 20% of velocity loss. During evaluation sessions, participants performed followed tests: 20m sprint ability, vertical jump, isoinertial vertical jump loading and isoinertial full squat loading.

Results: The G55-70 and G70-85 obtained significant improvements in CMJ, while G40-55 did not obtained significant changes in any variable analyzed. Although no significant changes were observed in any group in sprint variables, G70-85 and G55-70 showed a TE intra-group of -0.20 (-0.56 to 0.16) and -0.17 (-0.48 to 0.15) in T10-20 variable, respectively, while G40-55 presented a TE intra-group of 0 (-0.18 to 0.18). Is not observed significant interactions “group x time” for any variable analyzed. G55-70 and G70-85 presented significant changes in all of measured variables, while G40-55 only showed significant changes in 1RM estimated (Table 10). The groups G55-70 and G70-85 presented similar or greater TEs intra-group than the showed by G40-55 in most of variables studied.

Conclusions and practical applications: The results of our study suggested that 3 different ranges of relative intensities and velocity loss ~20% into the set resistance training protocols, not showed significant differences. However, G55-70 and G70-85 presented a positive trend to obtain greater enhancements in vertical jump and lower limbs strength than G40-55, in young men with previous resistance training experience. Nevertheless, none of training protocols showed significant improvements in 20m sprint ability performance. If coaches pretend to enhancement strength and physical

performance in high velocity performed actions with squat exercise, a resistance training determined with a velocity loss ~20% into the set in relative intensities ranges from 55/60 to 85% 1RM, could represent an acceptable degree of fatigue, but the velocity loss may be lower (10-15%) if intensities range from 50/55% 1RM.

1.

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se han realizado muchas investigaciones relacionadas con el entrenamiento de fuerza y sus efectos sobre diversas variables del rendimiento físico. Debido a esto se han realizado multitud de estudios en los que se ha analizado el efecto de las distintas variables del entrenamiento de fuerza, tales como: la intensidad del entrenamiento de fuerza (Aarskog, Wisnes, Wilhelmsen, Skogen, & Bjordal, 2012; Almasbakk & Hoff, 1996; Campos et al., 2002; Chesnut & Docherty, 1999), el número de series (Chestnut JL, 1999; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002), el número de repeticiones por serie (Jones, Bishop, Hunter, & Fleisig, 2001; Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997) o el número de series, repeticiones por serie y tiempo de recuperación entre series (Campos, et al., 2002). De todas estas variables, la intensidad relativa del entrenamiento ha sido considerada la variable más importante a considerar cuando se diseña un programa de entrenamiento de fuerza (Fry, 2004; González-Badillo & Ribas, 2002; Gonzalez-Badillo, Izquierdo, & Gorostiaga, 2006; Kraemer & Ratamess, 2004). A pesar de ser considerada la variable más importante, y de la multitud de estudios (Aarskog, et al., 2012; Almasbakk & Hoff, 1996; Campos, et al., 2002; Chesnut & Docherty, 1999) que han analizado el efecto de la intensidad del entrenamiento, hasta la fecha no se ha abordado suficientemente la problemática relacionada con los efectos producidos por distintos rangos de intensidad. Por tanto, se necesita realizar futuros estudios en los que se analice el efecto de la intensidad del entrenamiento con diferentes características.

Por otro lado, durante una serie realizada de manera tradicional (sin descanso entre repeticiones) se produce un descenso involuntario de la velocidad y la fuerza, y como consecuencia de la potencia debido a la fatiga producida por la realización de las repeticiones previas (De Ruyter, Jones, Sargeant, & De Haan, 1999; Drinkwater et al., 2007; T. W. Lawton, Cronin, & Lindsell, 2006). En este sentido, en algunos estudios se ha sugerido que el descenso involuntario de la fuerza, la velocidad y la potencia podría resultar en adaptaciones no deseadas del entrenamiento de fuerza (Baker, 2005; Denton & Cronin, 2006; T. W. Lawton, et al., 2006). En un intento por paliar este supuesto efecto no deseado sobre las adaptaciones, se ha propuesto el entrenamiento de fuerza tipo Clúster (añadiendo un tiempo de recuperación entre repeticiones o grupo de repeticiones) como un método efectivo para disminuir el descenso involuntario de la velocidad y la fuerza. En este sentido, se han realizado muchos estudios que han analizado el efecto agudo

crónico del tiempo de recuperación entre repeticiones sobre la fatiga mecánica o el rendimiento físico. Sin embargo, la mayoría de estos estudios (Bogdanis, Nevill, Boobis, Lakomy, & Nevill, 1995; Denton & Cronin, 2006; Garcia-Ramos et al., 2015; Girman, Jones, Matthews, & Wood, 2014; Haff et al., 2003; K. T. Hansen, Cronin, & Newton, 2011; Hardee et al., 2013; Hardee, Triplett, Utter, Zwetsloot, & McBride, 2012; Iglesias-Soler et al., 2012; T. Lawton, Cronin, Drinkwater, Lindsell, & Pyne, 2004; T. W. Lawton, et al., 2006; Oliver et al., 2013; Oliver et al., 2015) han usado protocolos del entrenamiento en los que había varias variables independientes como por ejemplo, el tiempo de recuperación entre series, el número de series y el número de repeticiones por serie (Bogdanis, et al., 1995; Denton & Cronin, 2006; Garcia-Ramos, et al., 2015; Girman, et al., 2014; Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, et al., 2011; Hardee, et al., 2013; Hardee, et al., 2012; Iglesias-Soler, et al., 2012; T. Lawton, et al., 2004; T. W. Lawton, et al., 2006; Oliver, et al., 2013; Oliver, et al., 2015). Por tanto, se necesita realizar futuros estudios en los que se analice el efecto agudo y crónico del tiempo de recuperación entre repeticiones con todas las variables que componen el entrenamiento de fuerza equivalentes entre los distintos programas del entrenamiento de fuerza.

En esta tesis doctoral, se han realizado cuatro estudios de investigación, dos relacionados con el efecto de la intensidad del entrenamiento ante diferentes grados de esfuerzo, y otros dos relacionados con el efecto agudo y crónico del tiempo de recuperación entre repeticiones. Para analizar el efecto de estas variables es importante que el resto de variables que componen el entrenamiento de fuerza deben mantenerse constantes a través de los distintos programas de entrenamiento. De manera que los efectos que se observen en los distintos estudios se deban a la variable independiente (intensidad y fatiga) y al grado de fatiga producido en cada estudio.

ESTUDIO I

Este estudio se diseñó para analizar el efecto de dos rangos de intensidades (Bajas: 40% – 60% 1RM vs. Medias: 65% - 80% 1RM) del entrenamiento de fuerza) ante un mismo volumen, medido a través del mismo número de series y repeticiones por serie. Se analizó el efecto de estos rangos de intensidades sobre la fuerza máxima, el salto vertical y el sprint de 20 m. Además, se calculó el grado de transferencia de las ganancias de fuerza a

las ganancias en el salto y el sprint para ambos grupos de entrenamiento y se analizó si había relación entre los cambios en las distintas variables.

ESTUDIO II

Este estudio se realizó para analizar el grado de fatiga mecánica y estrés metabólico producido por tres protocolos de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos). El grado de fatiga mecánica se midió a través de la pérdida de velocidad dentro de las 3 series del protocolo de ejercicio de fuerza, de la pérdida de velocidad con la carga de 1 m·s⁻¹ y de la pérdida de altura del salto vertical, mientras que el estrés metabólico se evaluó a través de la concentración sanguínea de lactato. Además, se calculó si existía una relación entre las distintas medidas de la fatiga mecánica y el estrés metabólico.

ESTUDIO III

En este estudio se analizó el efecto crónico de tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos) sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores. Se realizaron cuatro sesiones con cada intensidad relativa de 3 series de 6, 5, 4 y 3 repeticiones con las intensidades de 60, 70, 75 y 80% de 1RM, respectivamente. Además, se analizó si existía relación entre los cambios de las distintas variables analizadas, y se calcularon los efectos del entrenamiento sobre la curva carga – velocidad.

ESTUDIO IV

Este estudio consistió en analizar los efectos producidos por tres programas de entrenamiento de fuerza con tres rangos de intensidades diferentes (40% - 55% 1RM) vs. (55% - 70% 1RM) vs. (70% - 85%) y todos con una pérdida de velocidad dentro de la serie de un 20% sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores. Además, se calculó el tamaño del efecto intra y entre grupos, las correlaciones entre los cambios de las distintas variables y el grado de transferencia producido por cada programa de entrenamiento. También se analizaron los efectos de los tres programas de entrenamiento de fuerza sobre la curva carga – velocidad.

2.

**ORIGEN DE LA
PROBLEMÁTICA
OBJETO DE
ESTUDIO**

2. Origen de la Problemática Objeto de Estudio

La configuración del entrenamiento de fuerza ha sido tradicionalmente asociada con la combinación de diferentes variables del entrenamiento, a saber: tipo y orden de ejercicio, intensidad, número de repeticiones y series, tiempo de recuperación entre repeticiones, series y ejercicios y velocidad de ejecución (Fry, 2004; Gonzalez-Badillo, Izquierdo, & Gorostiaga, 2006; González-Badillo & Ribas, 2002; Kraemer & Ratamess, 2004). Aunque todas estas variables contribuyen en mayor o menor medida a la modificación de las adaptaciones musculares provocadas por el entrenamiento de fuerza, la intensidad del entrenamiento parece ser la variable más importante a considerar cuando se diseña un programa de entrenamiento de fuerza con el objetivo de mejorar el rendimiento neuromuscular (Kraemer & Ratamess, 2004). Sin embargo, el efecto producido por diferentes rangos de intensidades no ha sido suficientemente abordado hasta la fecha.

En este sentido, el entrenamiento de fuerza con cargas pesadas ha sido sugerido tradicionalmente como el método más efectivo para la mejora de la fuerza máxima (Campos et al., 2002; Kraemer & Ratamess, 2004). Sin embargo, recientemente el entrenamiento de fuerza con cargas más bajas también ha sido recomendado como un método potencial para el aumento de la fuerza muscular (Mangine et al., 2008). Entre todos los estudios que comparan los efectos de diferentes intensidades del entrenamiento de fuerza sobre la fuerza máxima (1RM) (Aarskog, Wisnes, Wilhelmsen, Skogen, & Bjordal, 2012; Almasbakk & Hoff, 1996; Berger, 1965; Campos et al., 2002; Holm et al., 2008; Izquierdo, Gonzalez-Badillo, et al., 2006; Jones, Bishop, Hunter, & Fleisig, 2001; Lamas et al., 2012; Mangine et al., 2008; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993; Withers, 1970) en algunos casos se observó que los mayores efectos se obtenían cuando se entrenaba con cargas altas (a partir del 80% de la 1RM) (Almasbakk & Hoff, 1996; Campos et al., 2002; Holm et al., 2008; Jones et al., 2001; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981), mientras que en otros casos se encontró que las cargas ligeras producían mayores mejoras sobre la fuerza que las cargas altas (McBride et al., 2002; Wilson et al., 1993). Sin embargo, en la mayoría de estos estudios (Aarskog et al., 2012; Berger, 1965; Izquierdo, Gonzalez-Badillo, et al., 2006; Lamas et al., 2012; Mangine et al., 2008; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981; Withers, 1970) se ha observado que tanto el entrenamiento de fuerza con cargas altas como con cargas bajas producen efectos similares sobre la fuerza máxima. Por tanto, existe falta de consenso en relación con el

efecto de distintos valores de intensidad sobre las ganancias de fuerza y las mejoras del rendimiento físico.

En la literatura científica existen multitud de estudios que han analizado el efecto del entrenamiento de fuerza con distintas intensidades sobre el rendimiento físico. Sin embargo, existe mucha controversia entre los resultados observados en los distintos estudios. Por tanto, no hay consenso al respecto del efecto de la intensidad del entrenamiento. En esta línea, El entrenamiento de fuerza con cargas pesadas ha sido sugerido tradicionalmente como el método más efectivo para la mejora de la fuerza máxima (Campos et al., 2002; Kraemer & Ratamess, 2004). Sin embargo, recientemente el entrenamiento de fuerza con cargas más bajas también ha sido recomendado como un método potencial para el aumento de la fuerza muscular (Mangine et al., 2008). Entre todos los estudios que comparan los efectos de diferentes intensidades del entrenamiento de fuerza sobre la fuerza dinámica máxima (1RM) (Aarskog, Wisnes, Wilhelmsen, Skogen, & Bjordal, 2012; Almasbakk & Hoff, 1996; Campos et al., 2002; Holm et al., 2008; Izquierdo, Gonzalez-Badillo, et al., 2006; Jones, Bishop, Hunter, & Fleisig, 2001; Lamas et al., 2012; Mangine et al., 2008; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993; Withers, 1970) en algunos casos se observó que los mayores efectos se obtenían cuando se entrenaba con cargas altas (a partir del 80% de la 1RM) (Almasbakk & Hoff, 1996; Campos et al., 2002; Holm et al., 2008; Jones et al., 2001; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981), mientras que otros casos se encontró que las cargas ligeras producían mayores mejoras sobre la fuerza que las cargas altas (McBride et al., 2002; Wilson et al., 1993). Sin embargo, en la mayoría de estos estudios (Aarskog et al., 2012; Berger, 1965; Izquierdo, Gonzalez-Badillo, et al., 2006; Lamas et al., 2012; Mangine et al., 2008; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981; Withers, 1970) se ha observado que tanto el entrenamiento de fuerza con cargas altas como con cargas bajas producen efectos similares sobre la fuerza dinámica máxima. Por tanto, existe falta de consenso en relación con el efecto de distintos valores de intensidad sobre las ganancias de fuerza y las mejoras del rendimiento físico.

Para determinar el efecto de la intensidad del entrenamiento sobre el rendimiento neuromuscular es necesario que otras variables importantes del entrenamiento de fuerza como volumen total o número de series y repeticiones por serie sean iguales en todos los

protocolos analizados, ya que estas variables también podrían tener efecto sobre la variable dependiente. Sin embargo, la mayoría de los estudios previos que analizan los efectos de la utilización de distintas intensidades de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento no han controlado dichas variables. Por ejemplo el número de repeticiones por serie (Jones et al., 2001; Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997), el número de series y repeticiones por series (Chestnut JL, 1999; McBride et al., 2002) o el número de series, repeticiones y tiempo de recuperación entre series (Campos et al., 2002). En otros estudios se ha intentado igualar la carga a través de un índice (repeticiones x series x intensidad) (Holm et al., 2008). Sin embargo, este hecho implica que el grupo que entrena con una intensidad más baja tendría que realizar un mayor número de repeticiones. En la literatura existen pocos estudios que igualan el número total de repeticiones realizado entre los distintos programas de entrenamiento (Almasbakk & Hoff, 1996; Seynnes et al., 2004; Wilson et al., 1993). En dos de estos estudios (Almasbakk & Hoff, 1996; Seynnes et al., 2004), ambos grupos (cargas altas y cargas bajas) de entrenamiento obtuvieron mejoras en el rendimiento, aunque el grupo que entrenó con cargas altas mostró mayores ganancias sobre la fuerza máxima que el que entrenó con cargas bajas, sin embargo la enorme diferencia en la intensidad usada por cada grupo de entrenamiento en un caso (Almasbakk & Hoff, 1996) y el uso de personas mayores que no podían llevar a cabo las actividades propias de la vida diaria por sí mismos en otro (Seynnes et al., 2004), limita la valoración de los resultados de estos estudios.

Por otra parte, durante una serie realizada sin tiempo de recuperación entre repeticiones, se produce un descenso involuntario de la velocidad, la fuerza y como consecuencia de la potencia en cada repetición como consecuencia de la fatiga acumulada en las repeticiones anteriores (De Ruiter et al., 1999; Drinkwater et al., 2007; Lawton et al., 2006). Algunos autores han indicado que esta pérdida progresiva de rendimiento durante la serie podría generar un efecto no deseado sobre las adaptaciones neuromusculares (Denton & Cronin, 2006; Lawton et al., 2006). En un intento por paliar este descenso involuntario de velocidad y fuerza con cada repetición, algunos autores (Girman et al., 2014; K. T. Hansen et al., 2011; K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J., 2011; Hardee et al., 2012) han propuesto el entrenamiento de fuerza tipo clúster (introduciendo un tiempo de recuperación entre repeticiones o agrupando las repeticiones en pares o tríos y añadiendo la recuperación después de dicho par o trío de repeticiones).

La mayoría de los estudios que han analizado (Denton & Cronin, 2006; Garcia-Ramos, et al., 2015; Girman, et al., 2014; Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, et al., 2011; Hardee, et al., 2012; T. W. Lawton, et al., 2006; Oliver, et al., 2015; Pereira et al., 2008) el efecto agudo provocado por el tiempo de recuperación entre repeticiones lo han hecho sin mantener el resto de variables que componen el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, todos los estudios (Denton & Cronin, 2006; Garcia-Ramos, et al., 2015; Girman, et al., 2014; Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, et al., 2011; Hardee, et al., 2012; T. W. Lawton, et al., 2006; Oliver, et al., 2015; Pereira, et al., 2008) que han analizado el efecto de esta variable han observado que el entrenamiento de fuerza sin descanso entre repeticiones ha producido un grado de fatiga mecánica y metabólica significativamente mayor que los programas de entrenamiento con un tiempo de descanso entre repeticiones, a pesar de que no se igualaron todas las variables que componen el entrenamiento de fuerza. A pesar de esto, se necesita realizar estudios en los que se analice el efecto agudo producido por el tiempo de recuperación entre repeticiones comparado con un entrenamiento sin descanso entre repeticiones, con todas las variables que componen el entrenamiento constantes entre protocolos, sobre la fatiga mecánica y el estrés metabólico.

Por otra parte, sólo hemos encontrado cuatro estudios que han analizado el efecto del tiempo de recuperación entre repeticiones. En los resultados observados en estos estudios se han observado resultados muy dispares, En este sentido, podemos encontrar estudios que muestran mayores ganancias en la fuerza y la potencia muscular para el grupo que realizó cada serie de entrenamiento añadiendo un tiempo de recuperación entre repeticiones (Oliver et al., 2013), otros que indican que no añadir descanso entre repeticiones resulta en mayor incremento de fuerza (Lawton, Cronin, Drinkwater, Lindsell, & Pyne, 2004), y otros que no encuentran diferencias en el porcentaje de mejora de la fuerza y la velocidad entre ambas configuraciones del entrenamiento (Hansen, Cronin, Pickering, & Newton, 2011). Esto se puede deber a que en estos estudios, además del tiempo de recuperación entre repeticiones, se manipulaba de manera simultánea varias variables de entrenamiento como el tiempo de recuperación entre series, el número de series y el número de repeticiones por serie. Por tanto, aun se desconoce si añadir un tiempo de recuperación entre repeticiones es más beneficioso para la mejora de la fuerza, la hipertrofia y el rendimiento deportivo que realizar las series de entrenamiento sin tiempo de descanso entre repeticiones y es necesario realizar estudios que analicen el efecto del tiempo de recuperación entre repeticiones con todas las variables controladas

a través de los distintos programas de entrenamiento excepto el propio tiempo de recuperación entre repeticiones.

3.

**ESTADO ACTUAL
DEL
CONOCIMIENTO**

3 ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

3.1. Componentes que definen la carga de entrenamiento

Diseñar un programa de entrenamiento de fuerza es un proceso que implica mucha complejidad en el que intervienen múltiples factores y varios principios del entrenamiento (sobrecarga, especificidad, progresión e individualización) que rigen la eficacia del entrenamiento (Bird, et al., 2005; Kraemer & Ratamess, 2004).

La eficacia de un entrenamiento de fuerza para cumplir con los objetivos marcados por el entrenador depende de la modificación de las distintas variables del entrenamiento de fuerza, que a su vez determinan las características del estímulo del entrenamiento (Bird, et al., 2005; Hoppeler, 2016; Spiering et al., 2008; Tidow, 1995). Como ejemplos de estas variables del entrenamiento tenemos las siguientes variables: intensidad, volumen, tipo y orden de ejercicios, tiempo de recuperación entre series y repeticiones o velocidad de ejecución, etc... (Bird, et al., 2005; González-Badillo & Ribas, 2002; Haff et al., 2003; Kraemer, Fleck, & Deschenes, 1988; Lawton, Cronin, & Lindsell, 2006; Estas variables se pueden manipular de manera combinada con el objetivo de proporcionar un estímulo determinado que a su vez resulte en el efecto deseado del entrenamiento. De hecho, la forma en la que se manipulen estas variables influirá en el estímulo de entrenamiento, determinando la magnitud de la respuesta neuromuscular y neuroendocrina aguda que influye a su vez sobre las respuestas celulares y moleculares que finalmente producen las adaptaciones musculares (Bird, et al., 2005; Hoppeler, 2016; Spiering, et al., 2008).

3.1.1 Intensidad

3.1.1.1. Definición

Tradicionalmente, la intensidad se ha expresado como el peso que se está desplazando (kg) o como el porcentaje del peso máximo que puede desplazar el participante en el ejercicio realizado (1RM) (Bird, et al., 2005; González-Badillo & Ribas, 2002; Kraemer & Ratamess, 2004). A pesar de esta simple definición, la intensidad es una variable compleja que debe entenderse no sólo como los kilogramos o el porcentaje de 1RM levantado durante un ejercicio de fuerza, sino como el grado de esfuerzo producido en cada repetición durante un ejercicio de fuerza (González-Badillo & Ribas, 2002).

De todas las variables que componen el entrenamiento de fuerza, la intensidad ha sido considerada la más importante a tener en cuenta cuando se diseña un programa de entrenamiento de fuerza con el objetivo de mejorar el rendimiento físico (Bird, et al., 2005; Fry, 2004; McDonagh & Davies, 1984a; Spiering, et al., 2008; Tan, 1999). A pesar de ello, la intensidad por sí sola no es suficiente para definir la carga de entrenamiento, y debe venir acompañada de otras variables, principalmente del volumen y del tipo de ejercicio (González-Badillo & Ribas, 2002). Además, debido a que existen multitud de definiciones para la intensidad, existe cierta controversia en relación con cuál es la mejor forma de expresar esta variable.

La forma más común y sencilla de expresar la intensidad ha sido a través del porcentaje de la repetición máxima (% 1RM). La principal ventaja de este método es que permite programar el entrenamiento para muchos deportistas al mismo tiempo, ya que un mismo esfuerzo para todos los sujetos se puede expresar en términos relativos (% 1RM), aunque luego cada sujeto tiene que calcular que carga absoluta representa esa carga relativa. Sin embargo, la utilización del % de 1RM como forma de expresar la intensidad del entrenamiento también tiene inconvenientes (Braith, Graves, Leggett, & Pollock, 1993; González-Badillo & Ribas, 2002; Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Rontu, Hannula, Leskinen, Linnamo, & Salmi, 2010). En este sentido, es necesario medir la 1RM de manera directa, implicando cargas altas que, especialmente en sujetos poco entrenados, podrían producir la inhibición de los sujetos y/o lesiones y consecuentemente una mala medición de 1RM. Además, debido a que el % de 1RM cambia a medida que va cambiando la fuerza máxima del sujeto, y que esta cambia a medida que el sujeto entrena, podríamos encontrarnos con que la carga programada para x porcentaje de 1RM varíe de una sesión a otra y el sujeto no esté desplazando el porcentaje de 1RM que tenía programado sino uno menor. Para solucionar este inconveniente habría que realizar continuamente un test de 1RM para comprobar si la carga que se está utilizando en el entrenamiento se corresponde con la carga programada. Sin embargo, realizar este tipo de test tan habitualmente supondría un esfuerzo para los participantes superior al propio entrenamiento por lo que podría influir en el efecto del entrenamiento.

En un intento de paliar los inconvenientes relacionados con la medición de 1RM, se han propuesto otras formas de expresar la intensidad del entrenamiento de fuerza. En este sentido, se ha propuesto expresar la intensidad a través del número máximo de

repeticiones que se puede realizar en una serie con una carga absoluta determinada (5RM, 10RM, etc...) (Bird, et al., 2005; Fry, 2004). En algunos estudios se ha indicado el número de repeticiones máximo que se puede realizar con cada porcentaje de 1RM, sin embargo, en otros estudios se ha indicado que existe una amplia variabilidad inter-sujeto (Izquierdo et al., 2006a; Sakamoto & Sinclair, 2006; Terzis, Spengos, Manta, Sarris, & Georgiadis, 2008) en el número máximo de repeticiones por serie que se puede realizar con un porcentaje de 1RM determinado. Por tanto, el hecho de que dos sujetos realicen el mismo número de repeticiones máximas por serie no necesariamente implica que ambos sujetos estén entrenando con la misma intensidad relativa.

En un intento de solucionar la problemática relacionada con el control de la intensidad, se ha propuesto la velocidad de ejecución como la mejor forma de expresar la intensidad del entrenamiento de fuerza (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Pallares, Sanchez-Medina, Perez, De La Cruz-Sanchez, & Mora-Rodriguez, 2014; Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallares, 2014; Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro, & González-Badillo, 2017). En este sentido, se ha observado que la velocidad media propulsiva a la que se desplaza cada carga tiene una relación muy alta con el % de 1RM en varios ejercicios. Por tanto, se puede estimar, con un alto grado de precisión, el porcentaje de 1RM que se está utilizando cuando se realiza la primera repetición de la serie con un peso determinado (kg) (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Por tanto, el uso de la velocidad de ejecución como forma de expresar la intensidad del entrenamiento de fuerza nos permite ajustar las cargas con las que queremos entrenar de manera rápida, solucionando en gran medida los inconvenientes antes mencionados.

3.1.1.2. Efecto agudo de la intensidad del entrenamiento de fuerza

En un estudio realizado reciente (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), se analizó el efecto agudo de distintas intensidades (12, 10, 8, 6 y 4RM) sobre la fatiga mecánica y el estrés metabólico con diferentes volúmenes del entrenamiento de fuerza en el ejercicio de sentadilla completa y press de banca. Los resultados de este estudio indicaron que, cuando se realizan la mitad de las repeticiones posibles en la serie, cuando mayor es la carga de entrenamiento menor es el grado de fatiga mecánica (pérdida de altura del salto y velocidad con la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y metabólica (amonio y lactato) que produce. En el estudio II (Tesis Doctoral, David Rodríguez Rosell) se analizó el efecto agudo de distintas

intensidades relativas como sigue: $1.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (50% 1RM), $0.98 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (60% 1RM), $0.82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (70% de 1RM) y $0.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (80% de 1RM), con distintos volúmenes del entrenamiento 10, 20, 30 y 45% en el ejercicio de sentadilla completa. De la misma manera, para el ejercicio de press de banca se analizó el efecto agudo de distintas intensidades: $0.93 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $0.79 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $0.63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $0.47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ con una pérdida de velocidad en la serie de 15, 25, 40 y 55%. Los resultados de este estudio indican que para una misma pérdida de velocidad en la serie, el grado de fatiga (medido a través de la pérdida de velocidad con la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la pérdida de altura de salto y la concentración sanguínea de lactato y amonio) es menor a medida que incrementa la intensidad relativa, tanto para el ejercicio de sentadilla como para el de press banca.

3.1.1.3. Efecto crónico de la intensidad del entrenamiento de fuerza

La configuración del entrenamiento de fuerza ha sido tradicionalmente asociada con la combinación de diferentes variables del entrenamiento, a saber: tipo y orden de ejercicio, intensidad, número de repeticiones y series, tiempo de recuperación entre repeticiones, series y ejercicios y velocidad de ejecución (Kraemer & Ratamess, 2004). Aunque todas estas variables contribuyen en mayor o menor medida a la modificación de las adaptaciones musculares provocadas por el entrenamiento de fuerza, la intensidad del entrenamiento parece ser la variable más importante a considerar cuando se diseña un programa de entrenamiento de fuerza con el objetivo de mejorar el rendimiento neuromuscular (Kraemer & Ratamess, 2004). Sin embargo, la intensidad o rango de intensidades que producen mayores aumentos del rendimiento permanece desconocido.

El entrenamiento de fuerza con cargas pesadas ha sido sugerido tradicionalmente como el método más efectivo para la mejora de la fuerza máxima (Campos, et al., 2002; Kraemer & Ratamess, 2004). Sin embargo, recientemente el entrenamiento de fuerza con cargas más bajas también ha sido recomendado como un método potencial para el aumento de la fuerza muscular (Mangine, et al., 2008). Entre todos los estudios que comparan los efectos de diferentes intensidades del entrenamiento de fuerza sobre la fuerza dinámica máxima (1RM) (Aarskog, et al., 2012; Almasbakk & Hoff, 1996; Berger, 1965; Campos, et al., 2002; Holm et al., 2008; Izquierdo et al., 2006; Jones, et al., 2001; Lamas et al., 2012; Mangine, et al., 2008; McBride, et al., 2002; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993; Withers, 1970) en algunos casos se observó que los mayores efectos se obtenían cuando se entrenaba con

cargas altas (a partir del 80% de la 1RM) (Almasbakk & Hoff, 1996; Campos, et al., 2002; Holm, et al., 2008; Jones, et al., 2001; Schmidtleicher & Haralambie, 1981), mientras que otros casos se encontró que las cargas ligeras producían mayores mejoras sobre la fuerza que las cargas altas (McBride, et al., 2002; Wilson, et al., 1993). Sin embargo, en la mayoría de estos estudios (Aarskog, et al., 2012; Izquierdo, et al., 2006; Lamas, et al., 2012; Mangine, et al., 2008; Schmidtleicher & Haralambie, 1981; Withers, 1970) se ha observado que tanto el entrenamiento de fuerza con cargas altas como con cargas bajas producen efectos similares sobre la fuerza dinámica máxima. Por tanto, existe falta de consenso en relación con el efecto de distintos valores de intensidad sobre las ganancias de fuerza y las mejoras del rendimiento físico.

Para determinar el efecto de la intensidad del entrenamiento sobre el rendimiento neuromuscular es necesario que otras variables importantes del entrenamiento de fuerza como volumen total o número de series y repeticiones por serie sean iguales en todos los protocolos analizados, ya que estas variables también podrían tener efecto sobre la variable dependiente. Sin embargo, la mayoría de los estudios previos que analizan los efectos de la utilización de distintas intensidades de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento no han controlado dichas variables. Por ejemplo el número de repeticiones por serie (Jones, et al., 2001; Moss, et al., 1997), el número de series y repeticiones por series (Chestnut JL, 1999; McBride, et al., 2002) o el número de series, repeticiones y tiempo de recuperación entre series (Campos, et al., 2002). En otros estudios se ha intentado igualar la carga a través de un índice (repeticiones x series x intensidad) (Holm, et al., 2008). Sin embargo, este hecho implica que el grupo que entrena con una intensidad más baja tendría que realizar un mayor número de repeticiones, implicando que el volumen realizado por los distintos grupos de entrenamiento sea diferente. En la literatura científica existen pocos estudios que igualan el número total de repeticiones realizado entre los distintos programas de entrenamiento (Almasbakk & Hoff, 1996; Seynnes et al., 2004; Wilson, et al., 1993). En dos de estos estudios (Almasbakk & Hoff, 1996; Seynnes, et al., 2004), ambos grupos (cargas altas y cargas bajas) de entrenamiento obtuvieron mejoras en el rendimiento, aunque el grupo que entrenó con cargas altas mostró mayores ganancias sobre la fuerza máxima que el que entrenó con cargas bajas, sin embargo la enorme diferencia en la intensidad usada por cada grupo de entrenamiento en un caso (Almasbakk & Hoff, 1996) y el uso de personas mayores que no podían llevar a cabo las

actividades propias de la vida diaria por sí mismos en otro (Seynnes, et al., 2004), limita la valoración de los resultados de estos estudios.

Las adaptaciones a la velocidad específica del entrenamiento de fuerza han sido consideradas de alto interés por los investigadores y entrenadores (Almasbakk & Hoff, 1996). Sin embargo, la mayoría de los estudios que comparan el efecto de diferentes intensidades del entrenamiento de fuerza han analizado los efectos sobre la fuerza dinámica máxima (1RM) (Aarskog, et al., 2012; Almasbakk & Hoff, 1996; Campos, et al., 2002; Chestnut JL, 1999; Harris, DeBeliso, Spitzer-Gibson, & Adams, 2004; Holm, et al., 2008; Jones, et al., 2001; Lamas, et al., 2012; Moss, et al., 1997; Sayers & Gibson, 2010; Taaffe, Pruitt, Pyka, Guido, & Marcus, 1996), mientras se le ha prestado poca atención a los efectos de los diferentes protocolos de entrenamiento sobre la curva fuerza-velocidad medida a través de cargas inferiores a la 1RM (Moss, et al., 1997) y sobre el rendimiento en sprint y salto vertical (Harris NK, 2008; Wilson, et al., 1993) y ninguno ha incluido el cálculo del grado de transferencia sobre el rendimiento sobre los ejercicios no entrenados. Esto es de particular importancia dado que el hecho de que se produzca transferencia o no de las ganancias en la fuerza máxima a las ganancias en el rendimiento físico determina la utilidad del ejercicio entrenado. Por tanto, aunque en algunos estudios (Seitz, Reyes, Tran, Saez de Villarreal, & Haff, 2014) se ha observado una transferencia del ejercicio de sentadillas sobre el rendimiento en sprint y salto vertical, no se ha determinado qué tipo de entrenamiento de fuerza (cargas bajas vs moderadas) produce mayor grado de transferencia. Por tanto, parece necesario llevar a cabo más investigaciones en las que se comparen los efectos de distintos tipos de intensidades sobre el rendimiento físico.

3.1.2. Volumen

3.1.2.1. Definición

El volumen ha sido tradicionalmente expresado como la cantidad de trabajo que se realiza en un tiempo determinado como, serie, sesión, semana o duración completa del programa de entrenamiento (Bird, et al., 2005; Tan, 1999), siendo la forma más sencilla de definirlo a través del número de repeticiones que se realiza ($\text{Volumen total} = \text{número de series} \times \text{Número de repeticiones por serie}$) (Baker, Wilson, & Carlyon, 1994; Bird, et al., 2005; Tan, 1999). De la misma manera que la intensidad, el volumen es considerado un factor crítico a tener en cuenta para alcanzar los objetivos del entrenamiento de fuerza (Kraemer

& Ratamess, 2004). Una prueba de esto es que el volumen tiene relación con la respuesta neural (Hakkinen, Komi, Alen, & Kauhanen, 1987), hipertrófica (Tesch, Komi, & Hakkinen, 1987), metabólica (Ratamess et al., 2007; Sánchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011) y hormonal (Mulligan et al., 1996). Además de esto, la interrelación entre el volumen y la intensidad parece ser un elemento fundamental para determinar el estímulo y como consecuencia, las adaptaciones que se producen como respuesta al mismo (Bird, et al., 2005; Tan, 1999). Por el contrario, en una revisión reciente (Carpinelli, 2002, 2004; Carpinelli & Otto, 1998) se ha indicado que los estudios realizados hasta la fecha (Berger, 1962, 1972; Chestnut & Docherty, 1999; W. J. Stone & Coulter, 1994), en los que se compara el efecto de realizar una serie y realizar varias series de entrenamiento, no soportan estas recomendaciones ya que no se han observado diferencias significativas entre realizar múltiples series y realizar un serie sobre el rendimiento físico. Además, estos autores aconsejan que todas las personas que entrenan, tanto entrenados como no, deberían realizar el mínimo volumen que les produzca una mejora. Estas recomendaciones están en línea con los resultados observados en estudios recientes (González-Badillo, Gorostiaga, Arellano, & Izquierdo, 2005; González-Badillo, Izquierdo, & Gorostiaga, 2006) en los que realizar el volumen más alto no resultó en mayores mejoras.

En relación con el número de repeticiones por serie, se ha recomendado el siguiente número de repeticiones por serie en función del objetivo del entrenamiento de fuerza (Bird, et al., 2005; Kraemer & Ratamess, 2004): 1) 15-20RM para obtener mejoras en la resistencia muscular; 2) 8-15RM para incrementar la hipertrofia muscular; 3) 3-8RM para inducir mejoras en la fuerza máxima; 4) 1-3RM para producir mejoras en la potencia muscular. En este sentido, debido a que se cree que el entrenamiento de fuerza siempre tiene que ser realizado haciendo todas las repeticiones que se puedan hacer dentro de la serie (hasta el fallo muscular) (Drinkwater et al., 2005; Kraemer & Ratamess, 2004; Willardson, Emmett, Oliver, & Bressel, 2008). Sin embargo, los entrenamientos que se realizan hasta el fallo muscular, producen un estrés mecánico, metabólico y hormonal muy alto (Gonzalez-Badillo et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2016a; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011) y su uso continuado produce un descenso importante en la capacidad de aplicar fuerza en la unidad de tiempo (RFD) (Andersen et al., 2005; Andersen, Andersen, Zebis, & Aagaard, 2010), así como un deterioro de la habilidad para realizar acciones a la máxima velocidad como el salto y el sprint (Pareja-Blanco, et al.,

2016b). Sin embargo, cada vez existe un mayor número de estudios que sugieren que realizar un programa de entrenamiento de fuerza hasta el fallo muscular no produce mayores mejoras en el rendimiento físico que realizar, por ejemplo, la mitad de las repeticiones posibles dentro de la serie (Izquierdo et al., 2006b; Pareja-Blanco et al., 2016b).

Además de esto, recientemente se ha propuesto un nuevo método para programar el volumen (Gonzalez-Badillo, Yanez-Garcia, Mora-Custodio, & Rodriguez-Rosell, 2017). Dado que el número máximo de repeticiones por serie que puede realizar un sujeto con una carga determinada tiene una amplia variabilidad inter-sujeto (Sakamoto & Sinclair, 2006), si dos sujetos realizan 10 repeticiones con una carga determinada no podemos decir que ambos sujetos están realizando un entrenamiento con el mismo grado de esfuerzo, ya que 10 repeticiones máximas puede representar para un sujeto una carga mucho más alta que para el otro. Por tanto, para el participante que representa una carga mayor está realizando un esfuerzo menor que el sujeto que le representa una carga menor. En un intento de paliar esta problemática, se ha propuesto programar el volumen en función de la pérdida de velocidad dentro de la serie (Gonzalez-Badillo, et al., 2017) en función de la velocidad a la que se desplaza la primera carga. De esta manera queda solucionada la problemática anteriormente planteada, ya que si dos participantes realizan 8 y 16 repeticiones, respectivamente, con el 50% de 1RM, a pesar de que un participante realice el doble de repeticiones que el otro ambos han realizado un grado de esfuerzo muy similar, ya que el número máximo de repeticiones que pueden hacer ambos sujetos con el 50% de 1RM es muy diferente.

3.1.2.2. Efecto agudo del Volumen

En un estudio reciente (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), se analizó la respuesta mecánica y metabólica a protocolos de ejercicio de fuerza que fueron diferentes en el número de repeticiones por serie respecto al número máximo de repeticiones que se podía realizar en cada serie con cada carga. Este estudio, se llevó a cabo en 21 protocolos de ejercicios de fuerza con 18 hombres entrenados. Se escogieron 5 cargas (12, 10, 8, 6 y 4RM, con cada carga se realizan varias sesiones con un volumen distinto) y se realizaron 3 series con 5 minutos de descanso entre series, se midieron la velocidad a la que se desplazaban todas las repeticiones, el amonio y el lactato antes de cada protocolo de ejercicio de fuerza. En este estudio se observó que la pérdida de velocidad en las tres

series, la pérdida de velocidad con la carga del metro y la pérdida de altura en el salto vertical descendieron significativamente en todos los protocolos de ejercicio de fuerza, además, mostrarán una alta correlación entre ellos. El lactato mostró una relación directa con el número de repeticiones que se realizaban en la serie, el lactato comenzaba a incremental con la primera repetición y a medida que se pasaba la mitad de las repeticiones posibles se disparaba. Por el contrario, el amoníaco mostró una relación curvilínea de manera que solo comenzó a aumentar cuando se realizaron 2 repeticiones más de la mitad de las repeticiones posibles.

En otros dos estudios (Gonzalez-Badillo et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2016), se analizó el efecto agudo de realizar 3 series de 4 repeticiones pudiendo hacer 8 y 3 de 8 repeticiones pudiendo hacer 8 ambas con el 80% de 1RM, igualmente, se analizó el efecto agudo de realizar 3x6 (12) y 3x12(12) con el 70% de 1RM. En el estudio de González-Badillo et al, (2016), se observó que cuando se realizaban la mitad de las repeticiones posibles (3x4 (8)), se realizaron las repeticiones a una mayor velocidad dentro de la serie, se produce un menor deterioro del rendimiento neuromuscular y una recuperación más rápida, una respuesta hormonal reducida y un menor daño muscular comparado con realizar todas las repeticiones posibles (3x8 (8)). Estos resultados están en línea con los observados en el estudio de Sánchez-Medina, L. & González-Badillo, J. J. (2011) el cual indicó que realizar la mitad de las repeticiones posibles en la serie resultó en una menor grado de fatiga mecánica y metabólica que realizar todas las repeticiones posibles en la serie. En el estudio realizado por Pareja-Blanco, F. et al, (2016), se observó que realizar la mitad de las repeticiones posibles (3x6 (12)) produjo un menor grado de fatiga en la serie y una recuperación más rápida, en línea con los estudios anteriormente mencionados (Gonzalez-Badillo, et al., 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011).

En el Estudio II (Tesis Doctoral, David Rodríguez Rosell) se analizó el efecto agudo producido por diferentes protocolos del entrenamiento de fuerza programados por la velocidad a la que se desplazó la primera repetición y por la pérdida de velocidad dentro de la serie. Los protocolos de ejercicio de fuerza consistieron: en el ejercicio de sentadilla completa: $1.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $0.98 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, $0.82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $0.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ con pérdidas de velocidad en la serie de 10, 20, 30 y 45% con cada intensidad relativa. En este estudio se observó que para una misma intensidad relativa cuando mayor es la pérdida de velocidad en la serie mayor

es el grado de fatiga. En conclusión, aunque los primeros estudios que analizaron el efecto agudo del volumen del entrenamiento programaron dicho volumen a través del máximo número de repeticiones posibles que se podía realizar ante una carga relativa determinada, y ahora el volumen se programa con un nuevo método que es a través de la pérdida de velocidad en la serie. A pesar de esto, los resultados observados en todos los estudios, aunque programen el volumen de diferente manera están en línea con los resultados antes mencionados.

3.1.2.3. Efecto crónico del Volumen

Para nuestro conocimiento solo dos estudios recientes han aplicado este método para programar el entrenamiento. El primero de ellos (Pareja-Blanco, et al., 2016b), analizó el efecto de dos programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en la pérdida de velocidad dentro de la serie de entrenamiento sobre la fuerza máxima, el salto vertical y el tipo de fibra. Así un grupo realizó repeticiones hasta alcanzar el ~40% de pérdida de velocidad en la serie (cerca del fallo muscular) y el otro hasta alcanzar una pérdida de ~20% en la serie (aproximadamente la mitad de las repeticiones posibles), aunque ambos grupos mejoraron significativamente la fuerza máxima, el grupo que entrenó hasta perder un 20% en la serie presentó mayores porcentajes de cambio en todas las cargas de la curva carga – velocidad, principalmente en las cargas bajas. Con respecto al salto y el sprint, el grupo que perdió menos en la serie mejoró significativamente el salto (9.5%) y el que perdió un 40% no mejoró significativamente (+3.5%). Aunque, ninguno de los dos grupos mejoró significativamente el tiempo en sprint de 20 m, el grupo de mayor pérdida de velocidad en la serie empeoró su rendimiento en el sprint (2.99 ± 0.09 - 3.02 ± 0.08 s) y el que perdió menos en la serie lo mejoró ligeramente (3.00 ± 0.11 - 2.99 ± 0.10 s). Con respecto al tipo de fibra, el grupo que perdió un 45% de velocidad en la serie el tipo de fibra IIX descendió significativamente mientras que en el que perdió un 20% se mantuvo (Pareja-Blanco, et al., 2016b). Por tanto, los resultados de este estudio sugieren que realizar un número de repeticiones máximas no produce mayores mejoras en la fuerza y el salto vertical que hacer aproximadamente la mitad de las repeticiones que se pueden realizar dentro de la serie.

En otro estudio publicado recientemente (Pareja-Blanco, et al., 2016c) se analizó el efecto de dos programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en la magnitud de pérdida de velocidad dentro de la serie sobre el rendimiento

neuromuscular en jugadores de fútbol. Las intensidades estuvieron comprendidas entre el 50% y el 70% de 1RM y las pérdidas de velocidad fueron del 15% y el 30% dentro de la serie. En este estudio ninguno de los dos grupos experimentales llegó al fallo muscular, el cual se alcanza cuando se pierde un 40 – 50% de velocidad dentro de la serie. Sin embargo, los resultados de este estudio están en línea con estudios previos en los que se indicó que cuando se alcanza un volumen determinado realizar un mayor número de repeticiones no produce mayores mejoras sobre las ganancias de fuerza e incluso puede producir un empeoramiento en acciones de alta velocidad.

En este caso, ninguno de los dos grupos llegaba al fallo muscular durante las series de entrenamiento, el cual se alcanza cuando se pierde un 40-50% de la velocidad inicial (Gonzalez-Badillo, et al., 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), sin embargo, los resultados de este estudio están en concordancia con estudios previos (Izquierdo-Gabarren, et al., 2010; Pareja-Blanco, et al., 2016b; Sampson & Groeller, 2016) que indican que cuando se alcanza un cierto volumen de entrenamiento, realizar un mayor número de repeticiones no produce un mayor beneficio sobre las ganancias de fuerza, y puede incluso producir un empeoramiento del rendimiento en acciones de alta velocidad (Pareja-Blanco, et al., 2016c).

Por tanto, los dos únicos estudios relacionados con el entrenamiento de fuerza basados en la velocidad nos permiten decir que alcanzar una pérdida de velocidad del 20% con cargas que oscilan entre 70-85% 1RM (Pareja-Blanco, et al., 2016b), y perder un 15% de velocidad en cada serie cuando se entrena con un rango de cargas que oscila entre 50-70% 1RM (Pareja-Blanco, et al., 2016c), es un entrenamiento más eficiente para la mejora de la fuerza, la resistencia y el rendimiento en acciones de alta velocidad que entrenar con una mayor magnitud de pérdida de velocidad en la serie. Esto nos permite aproximarnos un poco más a la respuesta de cuál es el *volumen óptimo* de entrenamiento. Sin embargo, se necesitan más estudios experimentales en los que se analicen los cambios en el rendimiento después de diferentes programas de entrenamientos en los que se manipule el rango de cargas (intensidad) utilizado y el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie (por ejemplo, 10, 20, 30, 40, 50% con respecto a la máxima velocidad en la serie) para poder conocer con mayor precisión cómo se modifica la fuerza, la resistencia o la capacidad de salto en función de esas dos variables.

En otro estudio reciente (Estudio III.2: Tesis Doctoral David Rodríguez Rosell), se analizó el efecto producido por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en la pérdida de velocidad dentro de la serie 10, 30 y 45% para sentadilla completa y 15, 40 y 55% para el press de banca, durante un periodo de entrenamiento de 8 semanas. En este estudio se observó que el grupo que perdió un 10% dentro de la serie en el ejercicio de sentadilla presentaba mayores mejoras en el CMJ y el T20 que los grupos que perdieron un 30% y 45% de velocidad dentro de la serie. En la misma línea, el grupo que perdió un 10% dentro de la serie obtuvo mejoras similares e incluso mayores en la fuerza y la resistencia que los grupos que perdieron un 30% y 45% de velocidad en la serie. Con respecto al ejercicio de press de banca, todos los grupos mejoraron significativamente en todas las variables, pero el grupo que perdió un 40% de velocidad en la serie obtuvo mayores porcentajes de cambio que los otros dos grupos, además, el grupo que perdió un 55% de velocidad mostró mayores porcentajes de cambio que el que perdió un 15% de velocidad dentro de la serie. En conclusión, entrenar con una pérdida de velocidad en la serie baja (10%, sentadilla completa) produce mayores mejoras en la fuerza y las acciones de alta velocidad que entrenar con una pérdida media (30%, sentadilla completa) alta (40%, sentadilla completa), los resultados de este estudio muestran una tendencia similar al estudio de (Pareja-Blanco, et al., 2016c). Sin embargo, para obtener mayores beneficios en el ejercicio de press de banca, parece ser necesario alcanzar un mayor porcentaje de pérdida de velocidad en la serie similar al 40%.

3.1.3. Tiempo de recuperación entre repeticiones

3.1.3.1. Definición

Tradicionalmente, la mayoría de los estudios que han analizado cuales son los efectos del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico lo han hecho analizando los cambios que producían la manipulación del volumen y la intensidad como variables más importantes del entrenamiento. Sin embargo, recientemente se ha producido un auge importante con respecto a las publicaciones que analizan los efectos producidos por la manipulación del tiempo de recuperación entre repeticiones considerándola como una variable que podría jugar un papel importante en la composición del estímulo del entrenamiento (Schoenfeld et al., 2016).

El principal problema que representan el tiempo de recuperación entre repeticiones es que en la mayoría de estudios que han analizado el efecto de esta variable se ha hecho sin

mantener el resto de variables que componen el entrenamiento de fuerza constantes a través de los distintos protocolos de entrenamiento (Bogdanis, et al., 1995; Denton & Cronin, 2006; Garcia-Ramos, et al., 2015; Girman, et al., 2014; Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, et al., 2011; K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. , 2011; Hardee, et al., 2013; Hardee, et al., 2012; Iglesias-Soler, et al., 2012; T. Lawton, et al., 2004; T. W. Lawton, et al., 2006; Oliver, et al., 2013; Oliver, et al., 2015). Principalmente en estos estudios no se mantiene constante el número de series, repeticiones por serie y tiempo de recuperación entre series (Denton & Cronin, 2006; Haff, et al., 2003; Hansen, Cronin, & Newton, 2011; Lawton, et al., 2006), lo que nos impide conocer el verdadero efecto del tiempo de recuperación entre repeticiones, ya que los resultados observados en estos estudios se deben a una combinación de las distintas variables independientes. Por tanto, se necesita realizar estudios en los que se mantengan todas las variables constantes a través de los distintos grupos excepto el tiempo de recuperación entre repeticiones.

3.1.3.2. Efecto agudo del tiempo de recuperación entre repeticiones

Las adaptaciones estructurales y funcionales del tejido muscular se producen como consecuencia de una mezcla articular de diferentes factores estresantes relacionados con el ejercicio, tales como: la carga mecánica, la activación neuronal, los ajustes hormonales y los trastornos metabólicos (Hoppeler, 2016). Estos factores estresantes experimentados son específicos para el ejercicio realizado. Por tanto, el conocimiento de los aspectos mecánicos y fisiológicos subyacentes al entrenamiento de fuerza es esencial para mejorar nuestra comprensión con respecto a los estímulos del entrenamiento de fuerza que son los que modifican las adaptaciones (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). En este contexto, varios estudios han examinado los efectos producidos por la manipulación de distintas variables del entrenamiento de fuerza tales como la intensidad (Aarskog, Wisnes, Wilhelmsen, Skogen, & Bjordal, 2012), número de repeticiones realizado en cada serie con respecto al número máximo que se puede realizar (Gonzalez-Badillo, et al., 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), número de series (Krieger, 2010), velocidad de ejecución (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga, & Gonzalez-Badillo, 2014) y recuperación entre series (Rahimi, Qaderi, Faraji, & Boroujerdi, 2010). Sin embargo, el efecto agudo del

tiempo de recuperación entre repeticiones sobre la fatiga mecánica y el estrés metabólico no ha sido suficientemente abordado hasta la fecha.

Durante una serie realizada de manera tradicional (sin descanso entre repeticiones), se produce un descenso involuntario en la velocidad, fuerza y potencia como consecuencia de la fatiga acumulada durante las repeticiones que se realizan previamente (Enoka & Duchateau, 2008; Izquierdo, et al., 2006; Lawton, Cronin, & Lindsell, 2006). El uso continuo de este tipo de esfuerzo durante el entrenamiento de fuerza podría generar adaptaciones indeseadas (Denton & Cronin, 2006; Lawton, et al., 2006), ya que como se ha descrito previamente las mejoras en la fuerza son específicas a la velocidad del entrenamiento (Cronin, McNair, & Marshall, 2002). Por tanto, los métodos de entrenamiento de fuerza que nos permiten mantener la velocidad, fuerza y potencia asociada con cada repetición durante el entrenamiento de fuerza pueden optimizar la adaptación neuromuscular. De hecho, en un estudio reciente (Pareja-Blanco, et al., 2016) se ha indicado que un grado de fatiga menor dentro de la serie resultó en mayores mejoras en el rendimiento neuromuscular que un grado de fatiga mayor. Por esta razón, en estudios recientes (Girman, Jones, Matthews, & Wood, 2014; Hardee, Triplett, Utter, Zwetsloot, & McBride, 2012; Iglesias-Soler, et al., 2012) se ha sugerido que introducir un tiempo de recuperación entre repeticiones o grupo de repeticiones podría ser un método alternativo para realizar un número determinado de repeticiones continuas con el fin de atenuar el grado de fatiga durante el entrenamiento de fuerza.

En la mayoría de los estudios (García-Ramos, et al., 2015; Girman, et al., 2014; Haff, et al., 2003; Hardee, et al., 2012; Lawton, et al., 2006) en los que se ha analizado el efecto de añadir un tiempo de recuperación entre repeticiones se ha indicado que se produce una menor pérdida de velocidad, fuerza y potencia durante el entrenamiento de fuerza comparado con el entrenamiento tradicional. Sin embargo, cuando el objetivo es analizar específicamente el efecto agudo de incluir un tiempo de recuperación entre repeticiones, el resto de variables que componen el entrenamiento de fuerza deberían mantenerse constantes a través de las diferentes configuraciones del entrenamiento. Por el contrario, en la mayoría de estudios mencionados arriba existen varias variables diferentes simultáneamente incluyendo la recuperación entre series, el número de series y el número de repeticiones por serie (Denton & Cronin, 2006; Haff, et al., 2003; Hansen, Cronin, & Newton, 2011; Lawton, et al., 2006). Por tanto, los efectos observados en las diferentes

configuraciones del entrenamiento de fuerza no se pueden atribuir exclusivamente al tiempo de recuperación entre repeticiones, sino a una combinación de las distintas variables que no se mantuvieron constantes entre grupos.

El entrenamiento de fuerza ha sido tradicionalmente configurado usando múltiples series y diferentes intensidades (Crewther, et al., 2005). Sin embargo, en los estudios en los que se ha analizado el efecto del tiempo de recuperación entre repeticiones se ha usado un protocolo con una sola serie de entrenamiento (García-Ramos, et al., 2015; Iglesias-Soler, et al., 2012; Lawton, et al., 2006; Moir, Graham, Davis, Guers, & Witmer, 2013) y/o una única intensidad del entrenamiento (Hansen, et al., 2011; Hardee, et al., 2012; Iglesias-Soler, et al., 2012; Oliver, et al., 2015; Rahimi, et al., 2010). Por tanto, parece difícil extrapolar los resultados observados en estos estudios a la respuesta asociada con un programa de entrenamiento de fuerza tradicional. Además, para nuestro conocimiento, existen pocos estudios (Denton & Cronin, 2006; Girman, et al., 2014) en los que se ha comparado el efecto agudo sobre la fatiga metabólica de programas de entrenamiento de fuerza con descanso entre repeticiones y sin descanso entre repeticiones. Además de esto, en estos estudios, el tiempo de recuperación entre repeticiones y la distribución de las series y repeticiones por serie fueron diferentes en cada protocolo.

3.1.3.3. Efecto crónico del tiempo de recuperación entre repeticiones

Los estudios que han analizado el efecto de un programa de entrenamiento comparando una configuración tradicional (sin descanso entre repeticiones) con entrenamientos en los que se añade un tiempo de recuperación entre repeticiones han mostrado resultados contradictorios. En este sentido, podemos encontrar estudios que muestran mayores ganancias en la fuerza y la potencia muscular para el grupo que realizó cada serie de entrenamiento añadiendo un tiempo de recuperación entre repeticiones (Oliver et al., 2013), otros que indican que no añadir descanso entre repeticiones resulta en mayor incremento de fuerza (Lawton, Cronin, Drinkwater, Lindsell, & Pyne, 2004), y otros que no encuentran diferencias en el porcentaje de mejora de la fuerza y la velocidad entre ambas configuraciones del entrenamiento (Hansen, Cronin, Pickering, & Newton, 2011). Esto se puede deber a que en estos estudios, además del tiempo de recuperación entre repeticiones, se manipulaba de manera simultánea varias variables de entrenamiento como el tiempo de recuperación entre series, el número de series y el número de repeticiones por serie. Por tanto, aún se desconoce si añadir un tiempo de recuperación

entre repeticiones es más beneficioso para la mejora de la fuerza, la hipertrofia y el rendimiento deportivo que realizar las series de entrenamiento sin tiempo de descanso entre repeticiones.

3.1.4. Velocidad de Ejecución

La velocidad de ejecución es una de las variables que componen el entrenamiento de fuerza que ha sido menos estudiada hasta la fecha (Bird, et al., 2005; Pareja-Blanco, et al., 2014; Pereira & Gomes, 2003). Esta variable depende de dos factores: 1) la carga desplazada y 2) la voluntariedad del sujeto (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005; Ingebrigtsen, Holtermann, & Roeleveld, 2009; Kraemer & Ratamess, 2004). Además de esto, esta variable es un elemento determinante de la intensidad, ya que influye directamente sobre las exigencias neuromusculares (Desmedt & Godaux, 1977, 1978; Schilling, Falvo, & Chiu, 2008), la respuesta mecánica y metabólica (Buitrago, Wirtz, Yue, Kleinoder, & Mester, 2012; Gonzalez-Badillo, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga, & Pareja-Blanco, 2014; Kraemer & Ratamess, 2004; Pareja-Blanco, et al., 2014) y los efectos del entrenamiento (Gonzalez-Badillo, et al., 2014; Pareja-Blanco, et al., 2014; Pereira & Gomes, 2003). Además, en algunos estudios se ha sugerido que los efectos del entrenamiento de fuerza son específicos a la velocidad del entrenamiento (Cronin, et al., 2002; Kanehisa & Miyashita, 1983; Pereira & Gomes, 2003). Por tanto, parece ser que la realizar todas las repeticiones del entrenamiento a la máxima velocidad posible es la mejor manera de obtener los mayores efectos del entrenamiento.

En mayoría de estudios en los que han analizado el efecto de diferentes velocidades de ejecución (rápidas vs lentas) no se han observado diferencias significativas en los cambios en la fuerza máxima (Fielding et al., 2002; Ingebrigtsen, et al., 2009; Morrissey, Harman, Frykman, & Han, 1998; Munn, Herbert, Hancock, & Gandevia, 2005; Pereira & Gomes, 2003; Schoenfeld, Ogborn, & Krieger, 2015; Westcott, et al., 2001; Young & Bilby, 1993). Sin embargo, las diferencias en las variables del entrenamiento en cada protocolo de entrenamiento (intensidad, volumen, tiempo de recuperación, etc...) nos impiden conocer cuál es el verdadero efecto de la velocidad de ejecución. En esta línea, en algunos de los estudios (Fielding, et al., 2002; Morrissey, et al., 1998; Pereira & Gomes, 2007; Young & Bilby, 1993) antes mencionados se realizaron repeticiones hasta el fallo muscular, esto implica que las últimas repeticiones de las series de entrenamiento se realizaron a una velocidad muy similar para el grupo rápido y el grupo lento (cercana a la

velocidad de 1RM para el ejercicio), debido a la fatiga acumulada por la realización de las repeticiones previas (Enoka & Duchateau, 2008; Izquierdo, et al., 2006a; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Por tanto, está podría ser la razón por la que no se observaron diferencias entre grupos, ya que aunque al inicio de la serie el grupo rápido realizaba cada repetición a una velocidad mayor que el lento, cuando se seguía realizando repeticiones las velocidades de ambos grupos tendían a igualarse.

Para poder conocer el efecto de la velocidad de ejecución, el resto de variables que componen el entrenamiento de fuerza deben mantenerse constantes a través de los distintos protocolos, ya que estas variables influyen en la velocidad de ejecución. Solo conocemos dos estudios (Gonzalez-Badillo, et al., 2014; Pareja-Blanco, et al., 2014) en los que se analizó el efecto de realizar las repeticiones de manera rápida y lenta, ambas voluntariamente, sobre el efecto en la fuerza máxima, el salto vertical y el sprint y donde el resto de variables del entrenamiento de fuerza se mantuvieron constantes. En estos estudios se midió por primera vez la velocidad a la que desplazaban la carga los participantes durante todas las sesiones del entrenamiento, de manera que nos permite conocer en tiempo real las diferencias entre ambos protocolos y poder conocer en mayor medida cual es el estímulo del entrenamiento que se ha aplicado. Después del entrenamiento realizado en estos estudios, el grupo que realizó las repeticiones a la máxima velocidad posible obtuvo mayores mejoras en la fuerza máxima, en el salto vertical y en el sprint, que el grupo que realizó las repeticiones al 50% de la velocidad máxima (Gonzalez-Badillo, et al., 2014; Pareja-Blanco, et al., 2014). Dado que para una magnitud de carga determinada (% 1RM), la velocidad de desplazamiento determina el efecto agudo y a largo plazo, la velocidad de ejecución debe ser considerada como un factor fundamental de la intensidad del entrenamiento durante el ejercicio de fuerza.

3.1.5. Fatiga

3.1.5.1. Definición

La fatiga es un fenómeno complejo que no ha sido todavía completamente entendido a pesar de haber sido el tema principal en multitud de publicaciones en los últimos 100 años (Allen, et al., 2008; Cairns, Knicker, Thompson, & Sjogaard, 2005; Enoka et al., 2011; Enoka & Duchateau, 2008). Debido a esto, existen multitud de definiciones de fatiga (Allen, et al., 2008; Enoka & Duchateau, 2008; Halson, 2014) que dependen del modelo empleado en el estudio o de las condiciones bajo las que se produce la fatiga. A pesar de

esto, la mayoría de definiciones tienen algunas partes en común, por lo que podríamos definir la fatiga como sigue: incapacidad momentánea para mantener un nivel de fuerza esperado o requerido debido a la realización de una actividad (Allen, et al., 2008; Asmussen, 1979; Edwards, 1983; Enoka & Duchateau, 2008; Sogaard, Gandevia, Todd, Petersen, & Taylor, 2006). Por tanto, la fatiga no puede identificarse, como se hace en ocasiones, con la llegada al fallo muscular o con el momento en el que el músculo está exhausto. La fatiga es un continuo que empieza cuando se comienza a realizar un esfuerzo físico y se va desarrollando progresivamente a medida que se hacen repeticiones (Enoka & Duchateau, 2008; Cairns, et al., 2005).

3.1.5.2. Factores asociados a la fatiga

La complejidad de los procesos relacionados con la fatiga reside en saber cuál o cuáles son los procesos en los que se está producido un descenso del funcionamiento normal. Durante una contracción muscular, los músculos se activan a través de varios procesos complejos que comienzan en el córtex cerebral siguen con la activación de neuronas motoras en la médula espinal, aquí los axones de estas neuronas conducen los potenciales de acción hasta la unión neuromuscular, donde, tras una despolarización, comienza una cascada de eventos que concluye con la puesta en marcha de la maquinaria contráctil mediante el establecimiento de puentes cruzados entre los filamentos de actina y miosina (Allen, et al., 2008; Fitts, 2008). Todos los procesos que tienen lugar de la médula espinal hacia arriba se engloban en los Factores Centrales, mientras que los procesos que se producen en las uniones neuromusculares y los propios músculos se definen como factores periféricos (Allen, et al., 2008; Fitts, 2008). Para conocer en qué lugar se produce el empeoramiento relacionado con la fatiga, tenemos un inconveniente importante, ya que esto va a depender del protocolo analizado y del ejercicio realizado (tipo de activación, duración, intensidad del ejercicio, o tipo de musculatura implicada (Barry & Enoka, 2007; Cairns, et al., 2005; Enoka & Duchateau, 2008; Halson, 2014; Sahlin, 1992). Por tanto, la fatiga que se produce depende directamente de la tarea que se realiza (Asmussen, 1979; Bigland-Ritchie, Rice, Garland, & Walsh, 1995; Enoka & Duchateau, 2008), por lo que, no existe solo una causa para explicar la fatiga muscular sino que los mecanismos involucrados en la fatiga y su importancia como factores que limitan el rendimiento dependerán del tipo de protocolo y del ejercicio llevado a cabo (Barry & Enoka, 2007; Cairns, et al., 2005).

La mayoría de estudios que han analizado los factores asociados con la fatiga muscular lo han hecho analizando los cambios metabólicos relacionados con el ciclo excitación – relajación de fibras musculares (factor periférico) (Allen, et al., 2008; Fitts, 2008; MacIntosh & Rassier, 2002; McCully, Authier, Olive, & Clark, 2002; Westerblad, Allen, & Lannergren, 2002), probablemente esto se debe a que analizar cualquiera de los procesos de la fatiga central es un problema muy difícil de abordar. A pesar de esto, recientemente se han observado avances en la identificación de algunos factores centrales responsables de la fatiga muscular (Enoka, et al., 2011; Levenez, Garland, Klass, & Duchateau, 2008).

3.1.5.3. Formas de medir la fatiga

En la mayoría de las situaciones en las que se mide la fatiga, el principal inconveniente de la propia medición de la fatiga radica en la utilización de procedimiento que se alejan cada vez más de la propia práctica deportiva (Cairns, et al., 2005). En esta línea, la mayoría de los estudios en los que se ha analizado los mecanismos asociados a la fatiga muscular han sido realizados tanto en fibras aisladas (Edman & Mattiazzi, 1981; Munkvik, Lunde, & Rehn et al., 2009), como en músculos estimulados eléctricamente (Kesar & Binder-Macleod, 2006; Klass, Guissard, & Duchateau, 2004; Maluf & Enoka, 2005; Maluf, Shinohara, Stephenson, & Enoka, 2005; Rudroff, Staudenmann, & Enoka, 2008). Aunque estos experimentos son necesarios para poder analizar cómo se comportan los diferentes mecanismos subyacentes a la fatiga, tiene un inconveniente importante, y es que no son aplicables a la práctica habitual del deporte.

Para medir la fatiga muscular, normalmente se utilizan dos protocolos para medir el desarrollo de la fatiga, 1) parar el ejercicio que se está realizando para realizar una breve activación máxima para estimar el descenso de la capacidad de aplicar fuerza (Bigland-Ritchie, Furbush, & Woods, 1986; Hunter, Critchlow, Shin, & Enoka, 2004; Sogaard, et al., 2006) y 2) medir el descenso de la fuerza máxima o potencia medida justo después de finalizar el ejercicio que se está realizando (Babault, et al., 2006; Levenez, Kotzamanidis, Carpentier, & Duchateau, 2005; McNeil, Murray, & Rice, 2006). Dado que la fatiga es considerada un continuo, una aproximación más real para conocer en tiempo real que grado de fatiga produce la realización de un ejercicio de fuerza con unas características determinadas sería analizar la pérdida de fuerza y/o velocidad a medida que incrementa el número de repeticiones realizadas dentro de la serie.

La mayoría de estudios que han cuantificado el grado de fatiga muscular producido por la realización de un ejercicio lo han hecho a través de mediciones isométricas (Ahtiainen & Hakkinen, 2009; Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Hakkinen, 2003b; Chapman, Newton, Sacco, & Nosaka, 2006; Hamada, Sale, MacDougall, & Tarnopolsky, 2003). Sin embargo, las acciones de tipo isométrico es muy raro que se den en el deporte donde predominan las acciones en movimiento. En algunos estudios se han realizados evaluaciones de la fatiga muscular a través de acciones dinámicas pero siempre de manera isocinética (Byrne & Eston, 2002a, 2002b; Byrne, Eston, & Edwards, 2001; Ferri, Narici, Grassi, & Pousson, 2006), y solo en pocos estudios se han realizado cuantificaciones de la fatiga en acciones dinámicas isoinerciales (Gorostiaga, et al., 2012a; Izquierdo et al., 2009; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). En este sentido, a diferencias de las acciones isométricas e isocinéticas que tienen poca relación con las actividades propias del rendimiento deportivo (A. J. Murphy & Wilson, 1996a, 1996b), la medición de la fatiga en acciones dinámicas isoinerciales representa una alta relación con las actividades propias del rendimiento (Cronin, McNair, & Marshall, 2003). Por otro lado, la fatiga tiene que ser evaluada a través de diversos tipos de contracciones y ejercicios porque la medición de la fatiga en un solo ejercicio o contracción nos da información parcial del comportamiento de la fatiga, es decir, la fatiga puede comportarse y afectar de distintas maneras en función del test en la que la midamos (Cairns, et al., 2005).

Dado que la fatiga afecta de diferente manera según la variable que se esté usando para medir la fatiga (pérdida de producción de fuerza, pérdida de velocidad o desarrollo de potencia) (Allen, et al., 2008; Griffin & Cafarelli, 2005; Holtermann, Roeleveld, Vereijken, & Ettema, 2007), este es un factor muy importante a tener en cuenta cuando se mide la fatiga muscular, ya que si no se tiene en cuenta la variable podemos cometer errores. En este sentido la mayoría de estudios que han analizado la fatiga provocada por la realización de un ejercicio, lo han hecho analizando la pérdida de fuerza máxima que el sujeto es capaz de producir, dejando de un lado otras variables importantes como la producción de fuerza en la unidad de tiempo y la pérdida de velocidad de ejecución científica (Ahtiainen & Hakkinen, 2009; Marshall, Robbins, Wrightson, & Siegler, 2012; Molina & Denadai, 2012). La velocidad de ejecución merece ser un objeto de estudio a tener en cuenta cuando se mide la fatiga en el ámbito del rendimiento físico ya que la mayoría de gestos deportivos se realizan a la máxima velocidad posible. Además de esto, la velocidad ha sido un criterio a tener en cuenta a la hora de valorar la condición física

del deportista (González-Badillo & Ribas, 2002; Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sanchez-Medina, et al., 2014). A pesar de la importancia de la velocidad de ejecución con respecto al entrenamiento y al rendimiento del deportista, y a los avances tecnológicos pocos estudios han analizado la fatiga a través de la pérdida de velocidad de ejecución (Gonzalez-Badillo, et al., 2014; Gonzalez-Badillo, et al., 2016; Pareja-Blanco, et al., 2014; Pareja-Blanco, et al., 2016a; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011; Smilios, Hakkinen, & Tokmakidis, 2010).

4. ESTUDIO I

Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas bajas y medias sobre el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza de las piernas en mujeres jóvenes físicamente activas.

4. ESTUDIO 1

4.1. PROBLEMA

No hemos encontrado en la literatura científica estudios en los que se analice de manera suficiente el efecto de distintas intensidades sobre el rendimiento físico, y en ninguno de ellos se controló la variable volumen. Dado que las posibles alternativas de rango de intensidad serían muy numerosas, en nuestro caso nos vamos a centrar en la comparación de intensidades comprendidas entre el 40-60% de 1RM frente al 65-80% de 1RM ante un mismo número de repeticiones realizado (volumen) en ambos rangos de intensidades. Por tanto, nuestro problema objeto de estudio es el siguiente:

¿Cuál es el efecto de dos rangos de intensidades (40-60% vs 65-80% de 1RM) de entrenamiento de fuerza de sentadilla completa, con un mismo volumen de entrenamiento, sobre la repetición máxima en sentadilla (1RM), el salto vertical y el sprint en 20 m en mujeres jóvenes físicamente activas?

4.2. OBJETIVO

En base al problema planteado anteriormente, el objetivo de nuestro estudio fue el siguiente:

Analizar los efectos producidos por dos rangos de intensidades de entrenamiento de fuerza (desde 40% al 60% de 1RM y desde 65% al 85% de 1RM) para un mismo volumen de entrenamiento sobre el rendimiento en fuerza máxima en sentadilla (1RM), sprint de 20 m y salto vertical en mujeres jóvenes físicamente activas.

4.3. HIPOTESIS

En la literatura científica existen muchos estudios que han analizado los efectos del entrenamiento de fuerza con distintas intensidades sobre la fuerza máxima o 1RM (Aarskog, Wisnes, Wilhelmsen, Skogen, & Bjordal, 2012; Almasbakk & Hoff, 1996; Berger, 1965; Harris NK, 2008; Jones, Bishop, Hunter, & Fleisig, 2001; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981). Sin embargo, debido a la amplia variedad de protocolos de entrenamiento de fuerza utilizados, se han observado resultados muy inconsistentes. La mayoría de los estudios que han analizado el efecto de distintos programas de entrenamiento de fuerza con

distintas intensidades sobre la fuerza máxima lo han hecho realizando repeticiones hasta el fallo muscular o cerca de este en todos los protocolos. Sin embargo, hay varios estudios que indican que no es necesario causar una excesiva fatiga para alcanzar las mayores ganancias sobre la fuerza máxima (Izquierdo et al., 2006) y que desplazar la carga a la máxima velocidad posible en cada repetición es igual o más importante que la propia magnitud de la carga (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga, & Gonzalez-Badillo, 2014). Además, se ha propuesto que el uso de altas cargas podría estar contraindicado en sujetos con poco nivel de fuerza y poca experiencia en el entrenamiento de fuerza porque podría suponer un mayor riesgo de lesión que en sujetos con experiencia (Lander, Hundley, & Simonton, 1992).

Por otro lado, a diferencia de lo que ocurre con la fuerza máxima, en la literatura científica existen pocos estudios (Almasbakk & Hoff, 1996; Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997; Sayers & Gibson, 2010; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981) que analicen el efecto de un programa de entrenamiento de fuerza con distintas intensidades e igual volumen sobre el rendimiento deportivo (velocidad y salto vertical). Además en los estudios antes mencionados no se iguala el volumen, por lo que no se podría afirmar que los cambios que se han encontrado en estos estudios se deban exclusivamente a la intensidad usada en el protocolo de entrenamiento de fuerza. En este sentido, solo hemos encontrado dos estudios en los que se iguala el volumen (Almasbakk & Hoff, 1996; Seynnes et al., 2004), sin embargo, en ambos estudios el efecto del programa de entrenamiento no se mide en variables relacionadas con el rendimiento deportivo. No obstante, y a pesar de los inconvenientes anteriormente mencionados, existen dos estudios en los que se analiza el efecto de la intensidad del entrenamiento de fuerza en el ejercicio de salto con carga sobre la velocidad y el salto vertical (McBride, et al., 2002; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993). A pesar de que estos estudios han analizado un protocolo de entrenamiento realizando un ejercicio distinto al realizado en nuestro proyecto, se ha observado que los grupos que entrenaban a una velocidad mayor, debido a que la intensidad relativa era menor, obtuvieron mayores mejoras en las pruebas de velocidad y salto vertical. Por tanto, estos resultados podrían indicar que hay una cierta tendencia a la especificidad del entrenamiento, ya que los grupos que entrenaron a una velocidad mayor obtuvieron mejores resultados en acciones desarrolladas a alta velocidad como son el salto vertical y la carrera de 20 m. Por tanto, nuestra hipótesis es la siguiente:

Para un mismo número de series y repeticiones por serie, un programa de entrenamiento de fuerza con intensidades comprendidas entre el 40% y el 60% de 1RM produce mayores mejoras en 1RM en sentadillas, salto vertical y carrera de 20 m que aplicar un rango de intensidades entre el 65% y el 80% de 1RM en mujeres jóvenes físicamente activas.

4.4. METODOLOGÍA

4.4.1. Tipo de Investigaciones

La metodología del estudio queda determinada por el *tipo de investigación*, la *naturaleza* de las variables y el *nivel de control* que se tiene sobre las mismas. En función de las características de los datos, el ESTUDIO I de la tesis doctoral es un estudio **cuantitativo**. Por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del estudio, nuestra investigación es fundamentalmente **experimental**. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es en parte **inferencial**. Por último, la investigación es de carácter fundamentalmente **longitudinal**, ya que consideramos los cambios que se pueden dar en el tiempo como consecuencia del entrenamiento.

4.4.2. Muestra

En esta investigación participaron treinta mujeres jóvenes sanas estudiantes de ciencias del deporte. Las participantes tenían una edad, altura y peso de (media \pm dt) 22.4 ± 1.9 años, 1.65 ± 0.06 m, y 61.1 ± 7.7 kg), respectivamente. Todas las participantes tenían al menos 6 meses de experiencia previa en entrenamiento de fuerza y todas estaban familiarizadas con la técnica del ejercicio de sentadilla completa. Para poder tomar parte en la investigación, las participantes debían cumplir los siguientes requisitos: **1)** haber realizado entrenamiento de fuerza de forma sistemática en los últimos dos meses previos al inicio de la investigación. **2)** declarar no haber tomado ningún tipo de droga, medicamento o sustancia que pudiera alterar el rendimiento físico y **3)** no realizar otro tipo de entrenamiento físico intenso, aparte del propio estudio, durante la duración del mismo.

Una vez seleccionadas las participantes que cumplían los requisitos y tras ser informadas del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todas ellas dieron su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado que se adjunta en el **ANEXO I**, antes de tomar parte en el estudio.

4.4.3. Diseño Experimental

Esta investigación se diseñó para analizar y comparar los efectos producidos por dos programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en la intensidad relativa usada por cada grupo. El objetivo fue comparar los efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza con diferentes intensidades, cargas bajas (40 a 60%

1RM) frente a cargas moderadas (65 a 80% 1RM) para un mismo volumen y ejercicio, sobre el rendimiento neuromuscular en mujeres jóvenes físicamente activas. Ambos grupos experimentales entrenaron durante 12 semanas, 2 sesiones por semana y realizando únicamente el ejercicio de sentadilla completa. El rendimiento neuromuscular se midió antes y después del proceso de entrenamiento en una sola sesión mediante tres test que fueron aplicados siempre en el mismo orden; 1) carrera de 20 m, 2) salto con contramovimiento, y 3) test isoinercial de incremento progresivo de cargas en sentadilla completa. Las sesiones de test (pre y post) fueron realizadas en la misma hora del día (\pm 1 h), y bajo las mismas condiciones medioambientales aproximadas. Se les indicó a las participantes que no realizaran actividad física extenuante durante las 48 horas previas al test. Para garantizar el uso de la técnica adecuada en el ejercicio de sentadilla completa, se llevaron a cabo dos sesiones de familiarización antes de la sesión de medición. Durante estas sesiones se realizaron las evaluaciones antropométricas básicas.

4.4.4. Variables Objeto de Estudio

Las variables analizadas en el presente estudio fueron las siguientes:

- *Tiempo en 10 metros (T_{10}), en s*: Tiempo que se tarda en recorrer una distancia de 10 metros a sprint.
- *Tiempo en 20 metros (T_{20}), en s*: Tiempo que se tarda en recorrer una distancia de 20 metros a sprint.
- *Tiempo de 10 a 20 metros (T_{10-20}), en s*: Tiempo que se tarda en recorrer una distancia de entre 10 y 20 metros a sprint.
- *Salto con contramovimiento (CMJ), en cm*: Altura alcanzada en un salto con contramovimiento realizado a la máxima velocidad posible.
- *1RM estimada ($1RM_{est}$), en kg*: Estimación de la fuerza dinámica máxima durante el ejercicio de sentadilla completa.
- *Primera carga del test incremental, (P_{vmp}) en $m \cdot s^{-1}$* : Velocidad media lograda contra la primera carga del test incremental.
- *Última carga del test incremental, (U_{vmp}) en $m \cdot s^{-1}$* : Velocidad media lograda contra la última carga del test incremental.

4.4.5. Control de Variables Extrañas

Validez de los instrumentos de medida. Cada uno de los instrumentos utilizados mide directamente determinadas variables, por lo que está garantizada su validez con respecto

a las mismas, es decir, estamos seguros de que miden lo que se pretende medir en cada caso. Además, todos los instrumentos han sido ya utilizados para el cálculo de estas variables en trabajos científicos previos en los que se ha demostrado su precisión y estabilidad (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011; Sanchez-Medina, Perez, & Gonzalez-Badillo, 2010). Igualmente, se ha contrastado su precisión calibrándolos antes de cada utilización.

Ejecución técnica y cumplimiento de los protocolos. Este aspecto se controla debidamente en el momento de realización de los tests en cada una de las sesiones programadas. Es razonable aceptar que el efecto de aprendizaje no ha existido porque, según se ha indicado: 1) cada participante tenía experiencia previa, y por ello se estima que estaba suficientemente familiarizada con el ejercicio que tenía que ejecutar; y 2) se realizaron varias sesiones prácticas previas al inicio de los tests, donde se recordaba a cada participante las instrucciones de ejecución. Además, todas las sesiones de evaluación que componen este estudio se han llevado a cabo bajo la supervisión del equipo de investigadores.

La situación ambiental de cada sesión de trabajo o entrenamiento. Las variables situacionales se han minimizado al realizar cada participante las sesiones de evaluación siempre en las mismas condiciones: 1) misma hora del día (± 1 hora de diferencia); 2) condiciones de temperatura y humedad de la sala constantes ($\sim 20\text{-}22^\circ\text{C}$ y $\sim 55\text{-}65\%$ de humedad); 3) ausencia de actividad física previa el día de realización del test ni el anterior; 4) periodo de descanso nocturno de al menos 8 horas; 5) realización de la última comida al menos 2 horas antes de la sesión correspondiente.

4.4.6. Evaluaciones y Pruebas Físicas

Con el propósito de describir adecuadamente la muestra, durante la última sesión de familiarización de este estudio se realizó una evaluación antropométrica a cada participante. Las participantes estuvieron descalzas y con la menor ropa posible (en pantalón corto o mallas y con camiseta) durante todas estas mediciones. Las variables determinadas fueron:

- *Masa corporal (kg):* se pesó a las participantes colocándolas en posición erecta, en el centro de una báscula de precisión (Seca 710, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania).

- *Talla (m)*: determinada como la distancia entre el vértex y las plantas de los pies. Se midió con las participantes descalzas, en bipedestación, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro (Seca 710, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania).

4.4.7. Pruebas Físicas

- *Capacidad de Aceleración*. Las participantes realizaron dos carreras de 20 metros con un intervalo de tres minutos de recuperación entre ambas en una pista cubierta. La salida se realizaba de pie, colocando el pie delantero justo detrás de una línea situada a un metro de distancia de la primera célula. Esta distancia se adoptó para evitar que en el inicio de la carrera la participante pudiera cortar el láser con la cabeza. Las células fotoeléctricas (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italia) se colocaron en el inicio y en los 10 y 20 m. Se animaba a las participantes a correr los 20 m lo más rápidamente posible. Se registró el tiempo de los dos intentos en las siguientes distancias: 0-10 m (T₁₀), 10-20 m (T₁₀₋₂₀) y 0-20 m (T₂₀). El mejor tiempo de cada distancia se utilizó para el análisis. En ambos test (pre y post) se aplicó el mismo protocolo de calentamiento, que consistió en cinco minutos de carrera suave seguida de carreras progresivas de 30, 20 y 10 m. Los coeficientes de variación (CV) para la fiabilidad en T₁₀, T₂₀ y T₁₀₋₂₀ fueron 1,3%, 2,2% y 1,2%, respectivamente, y los valores de coeficiente de correlación intraclase (CCI) fueron 0.969 (IC del 95%: 0.934 a 0.986), 0.962 (IC del 95%: 0.919 a 0.982) y 0.984 (IC del 95%: 0.966 a 0.993), para T₁₀, T₂₀ y T₁₀₋₂₀, respectivamente.



Figura 1. Test de carrera de 20 m

- *Salto con contra movimiento.* La altura de salto fue calculada a través del tiempo de vuelo, el cual fue medido con un sistema de cronometraje de infrarrojos (Optojump; Microgate, Bolzano, Italia). Ya que las posiciones de despegue y aterrizaje pueden afectar a la altura de salto, se les dieron instrucciones a las participantes para que mantuvieran los pies extendidos durante el tiempo de vuelo del salto. Todos los saltos fueron observados por un investigador experimentado. Las participantes comenzaron el test en posición vertical, flexionando a continuación las rodillas hasta un ángulo aproximado de 90 grados, a partir del cual se extendían las piernas lo más rápidamente posible. Todas las participantes realizaron cinco saltos verticales máximos con las manos en las caderas, separados por 1 minuto de recuperación aproximadamente. El valor más alto y el más bajo fueron descartados, la media resultante de los tres valores centrales se utilizó para el análisis. El CV y el CCI para el CMJ en los valores de los tres saltos centrales fueron 1.9% y 0.995 (IC del 95%: 0.991- 0.998), respectivamente.

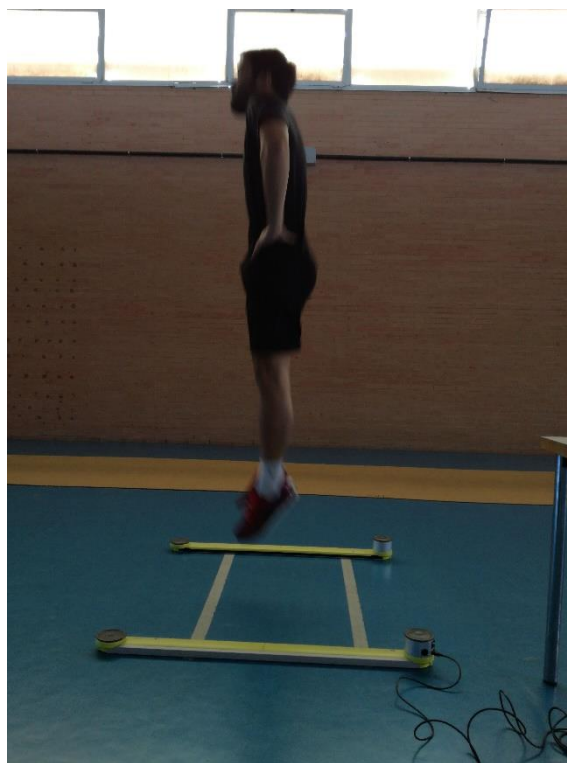


Figura 2. Test de salto vertical con contramovimiento

- *Test Isoinercial de cargas progresivas.* Para la realización del ejercicio de sentadilla completa, las participantes comenzaron en la que las rodillas y cadera estaban completamente extendidas, los pies separados a la anchura de las caderas y la barra descansando sobre la espalda a nivel del acromion. Cada sujeto descendía en un movimiento continuo hasta que la parte superior de sus muslos quedaban por debajo del plano horizontal y la parte posterior de los muslos tocaba con la parte posterior de los gemelos, en ese momento comenzaba la fase concéntrica. La fase excéntrica se realizaba a una velocidad controlada ($\sim 0.50-0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), y la fase concéntrica a la máxima velocidad posible. La evaluación consistió en un test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de sentadillas completas que se realizó en una maquina tipo Smith (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España). Se siguió el mismo protocolo que en un estudio previo en el que se ha descrito de manera detallada la realización del ejercicio de sentadillas (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). A diferencia de la fase excéntrica, que se realizó a una velocidad controlada (rango: $0,50-0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), se instruyó a las participantes para ejecutar siempre la fase concéntrica del ejercicio de sentadillas completas a la máxima velocidad posible. El calentamiento consistió en 5 min de carrera suave y 5 min de ejercicios de movilidad articular, seguido de una serie de seis repeticiones con 20 kg. La carga inicial del test se fijó en 20 kg para todas las participantes y se aumentó gradualmente en 10 o en 5 kg en función de la velocidad de movimiento de la barra. Las participantes realizaron 3 repeticiones con cada carga. Sólo la mejor repetición con cada carga, determinada por la velocidad media propulsiva, fue considerada para el análisis posterior. El tiempo de recuperación entre cada carga se fijó en tres minutos con cargas ligeras y cuatro minutos con cargas altas. El test finalizaba cuando la carga se desplazaba a una velocidad media propulsiva de $\sim 0.60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Este análisis fue elegido porque recientemente se ha observado que la velocidad de movimiento tiene una relación muy estrecha con cada porcentaje de 1RM (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Luis Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro, & González-Badillo, 2017). Para el análisis posterior se consideraron las siguientes variables: a) repetición máxima estimada (1RMest) calculada a partir del MPV con la última carga (kg) del test, de la siguiente manera: $100 \times \text{CARGA} / -2,185 \times \text{VMP2} - 61.53 \times \text{VMP} + 122,5$ (L. Sánchez-Medina & González-Badillo, 2017) y b) velocidad media propulsiva (VMP) alcanzada ante la primera carga (Pvmp) y la última (Uvmp) común a ambos test (pre y pos) (Pareja-Blanco, et al., 2014). Las variables cinemáticas relevantes de

cada repetición se midieron con un sistema de medición lineal (Sistema T-Force, Ergotech, Murcia, España). Este sistema consta de un transductor de velocidad lineal interconectado a un ordenador personal por medio de una tarjeta de recogida de 14 bits de resolución analógico-digital de datos y de software personalizado. Los datos de fiabilidad de este sistema se han descrito previamente (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Las medidas de velocidad utilizadas en este estudio se corresponden con la velocidad media de la fase de propulsiva de cada repetición. La fase propulsiva se define como la parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración de la barra es mayor que la aceleración debida a la gravedad (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sanchez-Medina, Pérez-Caballero, & Gonzalez-Badillo, 2010).



Figura 3. Realización del test isoinercial de incremento de carga en el ejercicio de sentadilla completa (de izquierda a derecha: posición inicial, posición intermedia y posición final).

4.4.8. Instrumental de Evaluación

Maquina tipo Smith. Se realizaron todas las evaluaciones en una maquina tipo *Smith* (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España). Esta máquina tiene unas dimensiones de 2.60 m de altura, 2.10 m de ancho y 1.20 m de profundidad, y dispone de dos guías verticales para asegurar el desplazamiento vertical de la barra durante todo el recorrido. Además, dispone de rodamientos de alta calidad que minimizan la fricción con las guías cuando se desplaza la barra, lo que permite minimizar el error de medida (**Figura 4**).

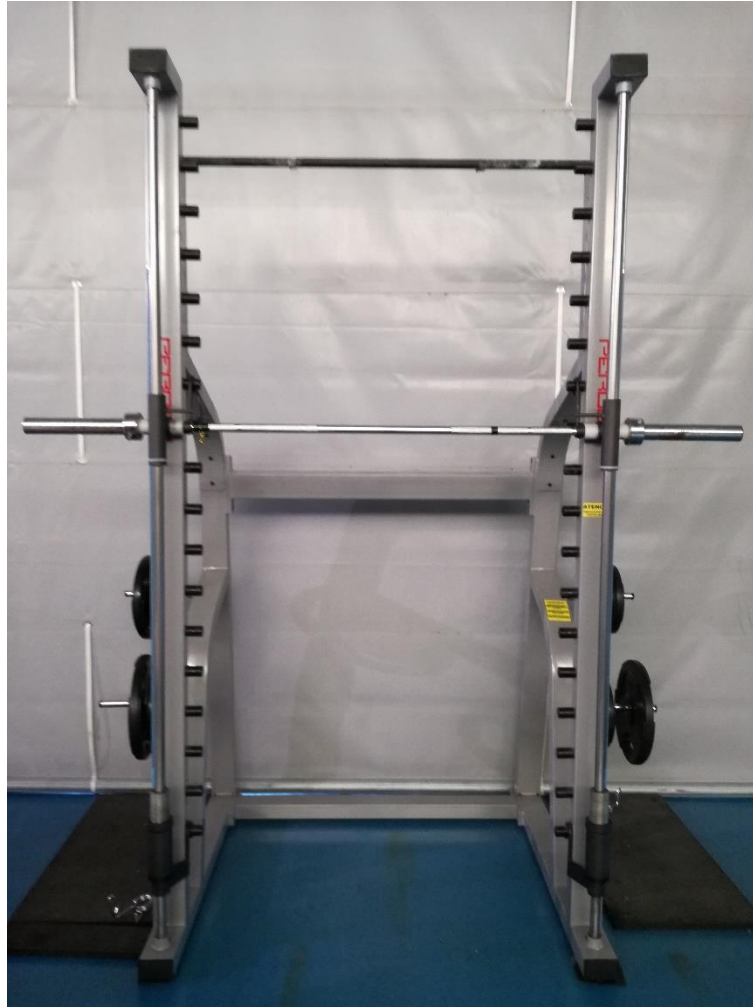


Figura 4. Máquina tipo Smith en la que se realizaron todas las sesiones de evaluación y entrenamiento.

Transductor lineal de Velocidad. Se registraron todas las repeticiones con un transductor lineal de velocidad (T-FORCE Dynamic Measurement System2, Ergotech Consulting S.L., Murcia, España). El sistema está basado en un transductor lineal - tacogenerador de alta precisión - (V Series, Unimeasure, Corvalis, EE.UU.), que realiza una medición directa de la velocidad de desplazamiento vertical a la que se extiende o retrae el cable de 2 m que tiene incorporado (**Figura 5**). Un software desarrollado a medida distingue automáticamente las distintas repeticiones y fases (excéntrica/concéntrica) dentro de una ejecución, permitiendo registrar múltiples series de ejercicio y controlar el entrenamiento de varios deportistas a la vez. Hardware y software se conectan a través de un interfaz USB, el cual consta de una tarjeta electrónica de adquisición de datos dotada de un conversor A/D de 14 bits de resolución que transforma la señal analógica emitida por el

transductor en una señal digital que es recibida por el software. La frecuencia de muestreo es de 1.000 Hz. El software del dispositivo tiene incorporado el cálculo de la fase propulsiva del movimiento. La fase propulsiva se define como aquella parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración es mayor que la debida a la gravedad (i.e. $a \geq -9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$). Este dispositivo ha mostrado tener una alta fiabilidad en la medición de las distintas variables mecánicas (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), y ha sido utilizado en multitud de trabajos científicos (Gonzalez-Badillo, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga, & Pareja-Blanco, 2014; Gonzalez-Badillo et al., 2016; Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Mora-Custodio, Rodriguez-Rosell, Pareja-Blanco, Yanez-Garcia, & Gonzalez-Badillo, 2016; Pareja-Blanco, et al., 2014; Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Ribas-Serna, et al., 2016; Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Sanchis-Moysi, et al., 2016; Pareja-Blanco, Suarez-Arrones, et al., 2016; Rodriguez-Rosell, Franco-Marquez, Mora-Custodio, & Gonzalez-Badillo, 2016; Rodriguez-Rosell et al., 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011; Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallares, 2014; Sanchez-Medina, Perez, et al., 2010).



Figura 5. Dispositivo T-Force System para medir la velocidad a la que se desplaza la carga en todas las sesiones de evaluación y entrenamiento.

Plataforma de Salto. La capacidad de salto se determinó utilizando una plataforma de contactos Optojump (Microgate, Bolzano, Italia). Este es un sistema óptico de obtención de datos, compuesto de una barra óptica transmisora y una receptora. Cada barra tiene una longitud de 1 m y contiene 96 leds infrarrojos (1.0416 cm resolución). Los leds

ubicados sobre la barra transmisora (RX) se comunican continuamente con los leds ubicados en la barra receptora (TX) (**Figura 6**). El sistema detecta eventuales interrupciones y su duración. Esto permite la medición de los tiempos de vuelo y de contacto durante la ejecución de una serie de saltos, con una precisión de 1/1000 de segundo. Partiendo de estos datos, el software particularmente diseñado, permite la obtención, con una alta precisión, y en tiempo real, de una serie de variables ligadas al rendimiento del atleta. En el caso del salto vertical, la plataforma de contactos Optojump cuenta con un sistema de cronometraje electrónico (microprocesador) que se acciona automáticamente en el momento que el participante despega los pies del suelo y lo cierra en el momento en el que los pies del participante tocan de nuevo el suelo. Por tanto, la información que nos aporta el dispositivo es el tiempo de vuelo (t) (subida + bajada), y también la altura (h) del salto calculada a través de la fórmula: $h = t^2 \cdot g / 8$, donde g es la aceleración de la gravedad. La fiabilidad del sistema Optojump para calcular el tiempo de vuelo y la estimación de la altura de salto ha sido analizada recientemente mostrando una alta reproducibilidad (Glatthorn et al., 2011).

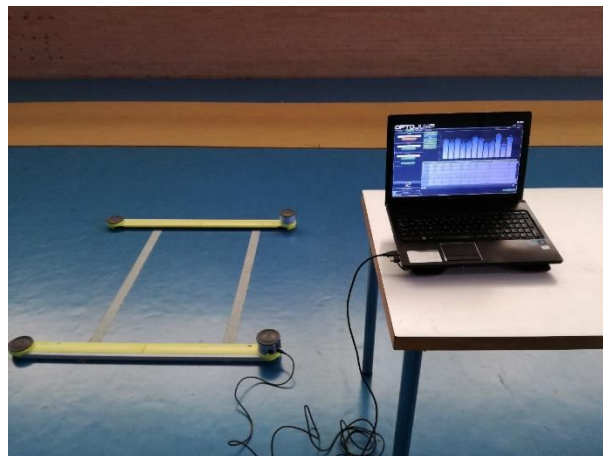


Figura 6. Sistema de estimación de la altura del salto vertical Optojump Next.

Células Fotoeléctricas. El tiempo en recorrer 10 m (T_{10}), 20 m (T_{20}) y 10 a 20 m (T_{10-20}) se midió con las células fotoeléctricas Witty (Wireless training timer, Microgate, Bolzano, Italia) (**Figura 7**). Estas células fotoeléctricas constan de un transmisor de rayos de luz y un detector. Un haz de luz se establece entre el emisor y un espejo catadióptrico. Cuando se enciende el transmisor, el rayo infrarrojo debe reflejarse en el espejo y volver al receptor. Una señal acústica nos indica que ambos elementos están colocados

correctamente, uno enfrente del otro. Cuando el deportista atraviesa el haz de luz, situado perpendicularmente a la dirección del movimiento, ésta deja de recibirse en el receptor. Como consecuencia, se interrumpe la corriente y este suceso es detectado electrónicamente, determinándose el momento de la interrupción. Los tiempos registrados se transmiten vía radio a una unidad central con una precisión de una centésima de segundo (0.01 s) (frecuencia de muestreo de 100 Hz).



Figura 7. Células fotoeléctricas Microgate para medir el tiempo en el test de aceleración.

4.4.9. Plan de Trabajo

El presente estudio tuvo una duración de 14 semanas. Durante este periodo todas las participantes realizaron un total de 26 sesiones (2 sesiones de test y 24 sesiones de entrenamiento). Los tests se realizaron los días lunes, martes o miércoles de la semana 1 y la 14 en grupos de hora y media (10:00 a 11:30; 11:30 a 13:00; 13:00 a 14:30 – 16:00 a 17:30; 17:30 a 19:00; 19:00 a 20:30). Se realizaron dos sesiones de entrenamiento por semana, la primera sesión se realizaba lunes o martes y la segunda miércoles o jueves. Tanto los tests como las sesiones de entrenamiento se realizaron a la misma hora del día

(\pm 1 hora) para evitar el efecto de posibles variables extrañas. Las características descriptivas del programa de entrenamiento de fuerza se presentan en la **Tabla 1**. Todas las sesiones de entrenamiento fueron realizadas usando una maquina tipo Smith. El número de series, repeticiones por series y tiempo de recuperación entre series fue el mismo para ambos grupos en todas las sesiones de entrenamiento. Las sesiones de entrenamiento tuvieron una separación mínima de 48 horas. El grupo de cargas bajas (GCB) entrenó con cargas desde el 40% al 60% de 1RM mientras el grupo de cargas medias (GCM) lo hizo con cargas comprendidas entre el 65% y el 80% de 1RM. El tiempo de recuperación entre series fue de 3 minutos y la fase concéntrica de cada repetición fue realizada a la máxima velocidad posible. Para asegurarnos de que las prescripciones del entrenamiento fueron administradas correctamente, cada sesión de entrenamiento fue supervisada por un investigador experto. Cada tres semanas se ajustaba la carga relativa (porcentaje de 1RM) de entrenamiento comprobando qué carga absoluta se desplazaba a la velocidad correspondiente a la intensidad relativa programada.

Tabla 1. Programa de entrenamiento de Fuerza para ambos grupos experimentales

	GCB											
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12
Sesión 1												
<i>Intensidad (%1RM)</i>	40%	50%	55%	60%	55%	60%	50%	55%	60%	60%	60%	50%
<i>Series x Rep</i>	3x6	3x5	3x5	3x4	3x5	3x4	3x4	3x5	3x4	3x6	3x6	3x4
Sesión 2												
<i>Intensidad (%1RM)</i>	40%	50%	55%	60%	55%	60%	50%	55%	60%	60%	55%	Post-Test
<i>Series x Rep</i>	3x6	3x6	3x6	3x4	3x6	3x5	3x6	3x5	3x5	3x6	3x6	3x4
	GCM											
	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12
Sesión 1												
<i>Intensidad (%1RM)</i>	65%	70%	75%	80%	75%	80%	70%	75%	80%	80%	80%	70%
<i>Series x Rep 1</i>	3x6	3x5	3x5	3x4	3x5	3x4	3x4	3x5	3x4	3x6	3x6	3x4
Sesión 2												
<i>Intensidad (%1RM)</i>	65%	70%	75%	80%	75%	80%	70%	75%	80%	80%	75%	Post-Test
<i>Series x Rep</i>	3x6	3x6	3x6	3x4	3x6	3x5	3x6	3x5	3x5	3x6	3x6	3x4

GCB = grupo de cargas bajas; GCM = grupo de cargas medias; S = semana; Rep = repeticiones

4.4.10. Análisis Estadístico

Los valores se presentan como media \pm dt. Para analizar si los valores se distribuían según la curva normal se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. Para comprobar si los grupos eran equivalentes se comprobó la homogeneidad de la varianza a través del test de Levene y las diferencias entre medias a través de un ANOVA de un factor. Para analizar los efectos del entrenamiento se aplicó un ANOVA de medidas repetidas 3 x 2, con el ajuste de Bonferroni. Además, debido a que no hubo diferencias significativas en el test inicial entre los grupos en ninguna variable, y que la prueba ANOVA de medidas repetidas mostró que existían interacciones significativas en algunas variables, se creó una nueva variable que se llamó “cambios”, a la que se aplicó un ANOVA de un factor para comprobar si los cambios producidos por cada protocolo de entrenamiento eran diferentes significativamente. Además de estas pruebas de hipótesis nula, se analizaron también las diferencias prácticas usando una aproximación basada en la magnitud de los cambios. Para estimar la magnitud del efecto producido por cada protocolo de entrenamiento sobre las variables estudiadas se calculó el tamaño del efecto y el 90% de intervalo de confianza (TE, 90% IC) usando la g de Hedges (Hedges & Olkin, 1985). Las probabilidades fueron calculadas para establecer si las diferencias verdaderas fueron menores, iguales o superiores al mínimo cambio apreciable (0.2 x la desviación típica entre sujetos) (Batterham & Hopkins, 2006). La probabilidad cuantitativa de que las diferencias para

un grupo sean menores o mayores fueron evaluadas cualitativamente como sigue: 1%, casi incierto; 1-5%, muy improbable; 5-25%, improbable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99% muy probable; y >99%, casi cierto. Si los cambios considerados como beneficioso-mejor y perjudicial-peor para un grupo fueron >5% se denominó como no claro. El grado de transferencia se calculó a través de la relación entre la ganancia en el ejercicio no entrenado y la ganancia en el ejercicio entrenado. La ganancia se calculó como el número de desviaciones típicas comprendidas en las diferencias de media pre – pos tratamiento (Zatsiorsky VM, 1995). La significatividad fue aceptada a $P \leq 0,05$.

4.5. RESULTADOS

No se observaron diferencias significativas entre grupos en ninguna variable medida en el test inicial. Los sujetos del grupo de cargas bajas (GCB) completaron el 97.1% de las sesiones programadas, mientras que los sujetos del grupo de cargas moderadas (GCM) realizaron el 96.8% de las mismas. En la **Tabla 2** se los valores medios y los porcentajes de cambios para todas las variables.

4.5.1. Salto vertical y sprint. Se observó una interacción significativa ($P < 0.05$) para las variables T_{10} , T_{20} y CMJ a favor del GCB, mientras no se encontró interacción significativa para la variable T_{10-20} . La prueba estadística ANOVA de un factor indicó que el GCB presentó significativamente mayores porcentajes de cambio para las variables T_{20} y CMJ comparado con el grupo control (GC), mientras el GCM mostró mayores mejoras que el GC en T_{10} . Aunque no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos experimentales (GCB y GCM), el GCB obtuvo un efecto *probablemente* más beneficioso que el GCM en T_{10-20} y T_{20} (**Figura 6**). Se observaron cambios significativos dentro de cada grupo en todas las variables para ambos grupos experimentales (GCB y GCM), excepto en T_{10-20} para el GCM. El GC no presentó cambios significativos. El GCB presentó mayores tamaños del efecto (TE) intra-grupo en todas las variables comparado con el GCM y el GC (**Tabla 2**).

4.5.2. Evaluaciones Isoinerciales de Fuerza. Se observó una interacción significativa ($P < 0.001$) para el GCB comparado con el CG en la 1RMest y para ($P < 0.05$) la U_{vmp} , mientras que no se observó una interacción significativa para la P_{vmp} . El GCB mostró mayores mejoras significativas en todas las variables de fuerza que el GC, mientras que el GCM logró mayores aumentos que el GC para 1RMest y U_{vmp} . EL análisis de las diferencias estandarizadas reveló que el GCB presentó efectos *probablemente* más beneficiosos que el GCM para 1RMest, mientras que no se observaron diferencias en la P_{vmp} y U_{vmp} (**Figura 6**). Además, el GCB mostró mayores porcentajes de cambio y TE que el GCM en todas las variables excepto en P_{vmp} . Ambos grupos experimentales presentaron mejoras significativas en todas las variables analizadas excepto en U_{vmp} para el GCM. El GC no presentó cambios en ninguna variable analizada (**Tabla 2**).

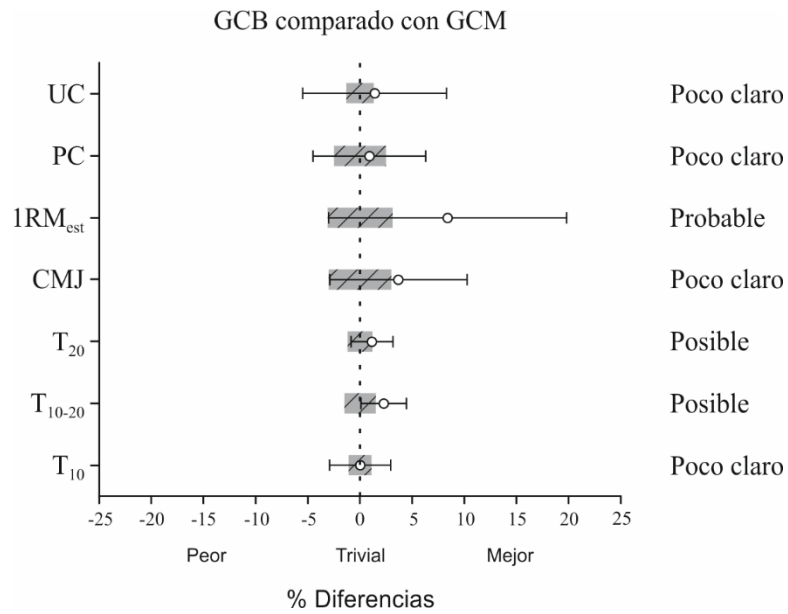


Figura 6. Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el GCB y GCM en las variables en 10m (T10), 10-20m (T10-20) y 20m (T20), la altura de salto vertical (CMJ) y la fuerza máxima de las piernas (1RMest); PCVMP = velocidad alcanzada contra la primera carga absoluta del test incremental; UCVMP = velocidad media propulsiva alcanzada contra la última carga absoluta del test incremental.

Tabla 2. Valores obtenidos (Media \pm dt) durante el pre- y el post-test en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular.

	GCB (n = 10)				GCM (n = 9)				GC (n = 8)			
	Pre	Pos	Δ (%)	TE (90% IC)	Pre	Pos	Δ (%)	TE (90% IC)	Pre	Pos	Δ (%)	TE (90% IC)
T₁₀ (s)	1.97 \pm 0.07	1.92 \pm 0.09 *†	2.9	0.75 (0.12 a 1.38)	2.07 \pm 0.12	2.02 \pm 0.12***#	2.8	0.43 (0.16 a 0.71)	2.04 \pm 0.10	2.06 \pm 0.11	1.0	-0.18 (-0.45 a 0.08)
T₂₀ (s)	3.50 \pm 0.14	3.40 \pm 0.16 ***†#	2.8	0.63 (0.29 a 0.97)	3.65 \pm 0.25	3.58 \pm 0.25*	1.7	0.23 (-0.05 a 0.41)	3.61 \pm 0.26	3.62 \pm 0.26	-0.5	-0.06 (-0.20 a 0.07)
T₁₀₋₂₀ (s)	1.52 \pm 0.09	1.48 \pm 0.07 **	2.7	0.42 (0.13 a 0.72)	1.57 \pm 0.14	1.56 \pm 0.13	0.4	0.05 (-0.09 a 0.18)	1.57 \pm 0.16	1.57 \pm 0.16	0.3	0.02 (-0.05 a 0.09)
CMJ (cm)	27.1 \pm 2.9	30.4 \pm 4.2 ***†#	11.8	1.02 (0.63 a 1.41)	25.0 \pm 4.6	26.8 \pm 5.8*	7.7	0.36 (0.05 a 0.68)	24.0 \pm 4.7	24.2 \pm 5.4	0.3	0.04 (-0.16 a 0.25)
1RMest (kg)	47.8 \pm 11.0	56.3 \pm 12.2 ***††###	36.2	1.19 (0.90 a 1.48)	43.8 \pm 12.1	53.4 \pm 9.9 ***###	24.7	0.72 (0.39 a 1.05)	38.9 \pm 17.2	39.3 \pm 15.7	3.5	0.02 (-0.08 a 0.12)
Pvmp (m/s)	1.23 \pm 0.18	1.28 \pm 0.17 **	4.5	0.26 (0.05 a 0.48)	1.17 \pm 0.12	1.21 \pm 0.14	4.6	0.39 (0.42 a 0.77)	1.06 \pm 0.15	1.06 \pm 0.13	0.0	0.00 (-0.16 a 0.16)
Uvmp (m/s)	0.78 \pm 0.05	0.87 \pm 0.08 ***†###	12.4	1.77 (1.07 a 2.47)	0.77 \pm 0.05	0.86 \pm 0.08 ***###	10.9	1.38 (0.65 a 2.12)	0.73 \pm 0.06	0.73 \pm 0.04	1.2	0.12 (-0.32 a 0.57)

T10 = tiempo en recorrer 10 metros; T10-20 = tiempo en recorrer de 10 a 20 metros; T20 = tiempo en recorrer 20 metros; CMJ = salto con contra movimiento; 1RMest = repetición máxima estimada; PC = primera carga del test isoinercial de incremento de carga; UC = última carga del test isoinercial de incremento de carga; pre = test inicial; pos = test final; GCB = grupo de cargas bajas; GCM = grupo de cargas moderadas; GC = grupo control; Δ = porcentajes de cambio; TE = tamaño del efecto; cambios significativos intra-grupo del pre al post-test: * P < 0,05; ** P < 0,01; *** P < 0,001; interacción significativa "tiempo x grupo": † P < 0,05; †† P < 0,01; ††† P < 0,001; mejoras significativas con respecto al grupos control: # P < 0,05; ## P < 0,01; ### P < 0,001.

El grado de transferencia de las ganancias de fuerza sobre las ganancias en Sprint y CMJ se presenta en la **Tabla 3**. El GCB mostró un mayor grado de transferencia que el GCM en el T₁₀₋₂₀, T₂₀ y CMJ, mientras que la transferencia sobre T₁₀ fue similar en ambos grupos,

Tabla 3. Transferencia de las ganancias de fuerza en ambos grupos experimentales sobre los ejercicios no entrenados.

	GCB	GCM
<i>T₁₀</i>	0.63	0.63
<i>T₂₀</i>	0.53	0.33
<i>T₁₀₋₂₀</i>	0.36	0.07
<i>CMJ</i>	0.86	0.61

T₁₀ = tiempo en recorrer 10 metros; T₁₀₋₂₀ = tiempo en recorrer de 10 a 20 metros; T₂₀ = tiempo en recorrer 20 metros; CMJ = salto con contra movimiento.

4.6. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con diferentes intensidades e igual volumen sobre el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza de las extremidades inferiores en mujeres jóvenes físicamente activas. Nuestros resultados indican que 12 semanas de entrenamiento de fuerza, con dos sesiones por semana, e intensidades comprendidas entre el 40% y el 60% de 1RM producen efectos similares o más favorables que un mismo volumen de entrenamiento (series, repeticiones por serie y frecuencia semanal) con intensidades entre el 65% y el 80% de 1RM. En algunos estudios previos (Aarskog, et al., 2012; Withers, 1970) no se han encontrado diferencias significativas cuando se han utilizado intensidades diferentes: 65 a 80% frente a 80% a 95%. En este caso nos encontramos con tres diferencias fundamentales que podrían explicar las discrepancias con respecto a nuestro estudio. La primera es que los rangos de intensidad difieren en menor medida que los nuestros. Esto podría explicar en parte no haber encontrado diferencias en los resultados. En segundo lugar, en estos dos estudios se entrenó hasta el fallo muscular, lo que necesariamente hace que se minimicen las diferencias en la velocidad media de todas las repeticiones realizadas por cada grupo, ya que al llegar al fallo, cualquiera que sea la intensidad relativa, siempre se realizará la última repetición a la misma velocidad (velocidad propia de la RM). Esta circunstancia hace que, además, el número de repeticiones realizado por el grupo de menor intensidad sea necesariamente mayor, lo que significaría que la comparación entre los distintos rangos de intensidad no permita concluir qué intensidad tiene mayor efecto, ya que el menor estrés provocado con la menor intensidad relativa podría quedar compensado al realizar un mayor volumen. Por tanto, las tres circunstancias mencionadas harían que las características de ambos entrenamientos sean muy similares y justifique resultados equivalentes. Por el contrario, en nuestro estudio las velocidades medias fueron muy distintas debido a la mayor discrepancia en la intensidad relativa y al hecho de que en ambos casos las repeticiones fueron las mismas y se quedaban muy lejos del fallo muscular,

Por otra parte, existen algunos estudios (Campos et al., 2002; Harris NK, 2008; Jones, et al., 2001) en los que el grupo que entrenó con cargas más altas obtuvo mayores mejoras sobre la fuerza dinámica máxima que el grupo que entrenó con

cargas más bajas. Existen algunas diferencias entre estos estudios y el nuestro que podrían explicar las discrepancias en los resultados. En el estudio de Jones, que se realizó con jugadores de baloncesto, con varios años de experiencia en el entrenamiento de fuerza, las cargas bajas utilizadas oscilaron entre el 50% y el 70% de 1RM. Este hecho podría ser relevante ya que un entrenamiento con estas intensidades aplicado a sujetos de las características indicadas podría ser un estímulo insuficiente. En cuando al estudio de Harris et al (2008), entendemos que era poco esperable que mejorasen el rendimiento en mayor medida el grupo que utilizo cargas bajas, ya que el entrenamiento con estas cargas se realizó con cargas absolutas que oscilaban entre el 20% y 45% de la 1RM del test inicial, y estas cargas, que ya son muy pequeñas, se mantuvieron estables durante todo el periodo de entrenamiento. Por tanto, dada la gran diferencia entre las cargas utilizadas en este estudio (20%-45% frente a 6-10RM), aplicadas a sujetos practicantes de un deporte caracterizado por notables desarrollos de la fuerza, es altamente improbable que las cargas pequeñas pudieran producir mayor mejora de la fuerza que entrenando con cargas más elevadas,

Por último, no hemos encontrado estudios en los que el entrenamiento con cargas bajas mostrara mayores mejoras en la fuerza máxima que el entrenamiento con cargas más altas. Estos resultados podrían venir explicados por varias razones. En primer lugar, la mayoría de los estudios que han analizado el efecto de la intensidad del entrenamiento de fuerza sobre la fuerza máxima han utilizado repeticiones hasta el fallo muscular en todos los protocolos, lo que minimiza las posibles diferencias entre grupos, ya que no se ha controlado el volumen de entrenamiento. En segundo lugar, en los únicos dos estudios (Almasbakk & Hoff, 1996; Seynnes, et al., 2004) en los que ambos grupos realizaron el mismo número de series y repeticiones por serie, encontramos grandes diferencias con respecto a nuestros protocolos. En el estudio de Almasbakk and Hoff (1996), la probabilidad de que el grupo que entrenó con cargas más bajas obtuviera mayores mejoras era prácticamente nula, ya que la carga utilizada fue extremadamente pequeña (80%-85% de 1RM vs, 0,37 kg), mientras que en el caso de Seynnes, et al. (2004), el entrenamiento se aplicó a personas mayores de 80 años, por lo que nuestros resultados no pueden ser comparados con los de dicho estudio, Por tanto, el hecho de que no existan estudios que hayan encontrado mayores mejoras en la 1RM en

favor del grupo de cargas bajas podría deberse a que en ningún estudio se puede considerar que la única variable independiente fuera la intensidad del entrenamiento,

Por otra parte, además de analizar los efectos del entrenamiento sobre la fuerza máxima a través de la repetición máxima estimada, se analizaron los cambios producidos por cada programa de entrenamiento sobre la primera carga (PC) y la última (UC) del test isoinercial de cargas progresivas. Estas variables se analizaron para intentar determinar el grado en el que los diferentes programas de entrenamiento influyeron sobre las distintas zonas de la curva fuerza-velocidad (Pareja-Blanco, et al., 2014). Con respecto a la PC, sólo el GCB mostró mejoras significativas tanto intra-grupo como con respecto al GC, mientras que el GCM y el GC se mantuvieron sin cambios. En relación con la UC, ambos grupos experimentales obtuvieron mejoras significativas ($P < 0,001$) del pre- al pos-test y lograron aumentos significativamente ($P < 0,01$) mayores que el GC, que se mantuvo sin cambios. En un estudio previo realizado por Moss, et al. (1997), se analizaron los cambios observados con el 15%, 25%, 35%, 50%, 70% y 90% de la 1RM del test inicial después de 9 semanas de entrenamiento en dos grupos que entrenaron con el 35% y el 90% de 1RM, respectivamente. Los resultados observados en el estudio de Moss, et al. (1997) están en línea con los del presente estudio, ya que ambos grupos obtuvieron mejoras similares en todas las cargas analizadas. En otro estudio previo realizado por Almasbakk and Hoff (1996), en el que se analizaron los cambios contra diferentes cargas absolutas (0,37; 6,6; 16,6 y 20 kg), tampoco se encontraron diferencias significativas entre ambos grupos experimentales en la velocidad alcanzada contra dichas cargas absolutas, a pesar de que había una diferencia muy amplia entre las cargas usadas por ambos grupos (80%-85% de 1RM vs, 0,37 kg). En un estudio más reciente (Sayers & Gibson, 2010) se analizó si existían diferencias en la velocidad lograda contra un rango de cargas relativas (40% a 90% de la 1RM) después de 36 sesiones de entrenamiento en dos grupos que entrenaron con el 40 y el 80% de la 1RM, respectivamente. Los resultados de este estudio están en línea con los observados en nuestro caso, ya que el grupo que entrenó con el 40% de la 1RM obtuvo mejoras significativamente mayores en todas las cargas analizadas que el que entrenó al 80% de la 1RM. Sin embargo, estas diferencias con los resultados de nuestro estudio podrían venir

explicadas por el hecho de que el grupo que entrenó con el 80% de 1RM desplazaba la carga de manera controlada y el grupo que entrenó al 40% de la 1RM lo hizo a la máxima velocidad posible, mientras que en nuestro estudio y los mencionados anteriormente todos los grupos desplazaban la carga a la máxima velocidad posible. Por tanto, parece razonable considerar el hecho de desplazar la carga a la máxima velocidad posible como un factor fundamental para obtener mejoras en la velocidad lograda contra una misma carga absoluta después de un proceso de entrenamiento,

Con respecto al rendimiento en sprint y salto vertical, ambos grupos experimentales obtuvieron ganancias significativas en todas las variables excepto GCM en T10-20, Esta tendencia a no obtener mejores resultados cuando se entrena con cargas altas también ha sido observada en estudios previos en los que no se encontraron mejoras en la fase de velocidad máxima después de la realización de un programa de entrenamiento de fuerza con intensidades altas (Wilson, et al., 1993). Una posible explicación de estas tendencias podría estar en el hecho de que el tiempo disponible para aplicar fuerza contra cargas altas es mayor que contra cargas ligeras, lo que podría provocar que las adaptaciones se produjeran fundamentalmente para acciones de baja velocidad, lo que a su vez podría reducir la habilidad para aplicar fuerza en acciones explosivas con cargas ligeras (Andersen, Andersen, Zebis, & Aagaard, 2010). Comparando ambos grupos de entrenamiento entre sí, nuestros resultados muestran que GCB obtuvo ganancias sustancialmente mayores que GCM en el rendimiento en sprint y salto vertical (T10-20 y CMJ, **Tabla 2**). Estos resultados están en línea con los estudios previos que han encontrado mayores mejoras en dichas variables después de realizar un programa de entrenamiento con cargas bajas comparado con uno de cargas altas (McBride, et al., 2002; Wilson, et al., 1993). Por tanto, nuestros resultados sugieren que un entrenamiento con cargas bajas, en el que, dado el número de repeticiones por serie realizado, el grado de fatiga es moderado o bajo, debido a una escasa pérdida de velocidad en la serie (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011) podría ser de especial interés, ya que este tipo de entrenamiento parece producir mejoras en el sprint, el salto vertical y en la fuerza muscular iguales o superiores que un programa de entrenamiento con cargas altas, al menos con participantes de características similares a las de nuestro estudio.

El grado de transferencia puede ser una herramienta valiosa para evaluar la mejora del rendimiento en determinadas acciones específicas de competición o de cualquier rendimiento físico producida por el entrenamiento con ejercicios diferentes (Zatsiorsky VM, 1995). Los resultados del presente estudio sugieren que el entrenamiento de fuerza con cargas ligeras produce un mayor efecto de transferencia de las ganancias de fuerza de las extremidades inferiores sobre el rendimiento en sprint y salto vertical que el entrenamiento con cargas más pesadas (**Tabla 3**). Dado que el número de repeticiones por serie fue el mismo para ambos grupos, es probable que esta mayor transferencia venga explicada por la mayor velocidad a la que se han desplazado las cargas ligeras, así como por la menor pérdida de velocidad y menor fatiga en la serie que con las cargas altas. En consecuencia, el GCB entrenó a una velocidad más cercana a la de acciones de velocidad y salto vertical que el GCM. Por lo tanto, nuestros resultados indican que un entrenamiento de fuerza a velocidades más altas puede proporcionar mejores estímulos para inducir adaptaciones neuromusculares dirigidas a mejorar el rendimiento en acciones de alta velocidad comparado con un entrenamiento a velocidades más bajas.

4.7. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio sugieren que 12 semanas de entrenamiento de fuerza, con dos sesiones por semana, con intensidades entre el 40% y el 60% de 1RM produce efectos similares o más favorables sobre el rendimiento neuromuscular en el mismo ejercicio de entrenamiento y en ejercicios no entrenados, como el sprint y salto, que con cargas más pesadas (65 a 80% de 1RM) en mujeres jóvenes físicamente activas sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

4.8. APLICACIONES PRÁCTICAS

Estos resultados pueden tener implicaciones para los entrenadores, quienes pueden considerar el uso de protocolos de entrenamiento con cargas ligeras y un volumen bajo, haciendo hincapié en el levantamiento de la carga a la máxima velocidad posible para la mejora de la condición física, al menos en entrenamientos de corta duración y para poblaciones jóvenes sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, en lugar de usar cargas más pesadas. Además de esto, dado que un entrenamiento de fuerza con cargas más bajas, con un número moderado de repeticiones por serie, lejos del fallo muscular, produce un menor estrés que con cargas más altas, el entrenamiento con cargas ligeras puede permitir una recuperación más rápida después de cada sesión de entrenamiento y producir menor interferencia sobre el rendimiento específico.

5. ESTUDIO II

Efecto agudo del tiempo de recuperación entre repeticiones sobre la fatiga mecánica y el estrés metabólico en cuatro protocolos del ejercicio de fuerza con cuatro intensidades deferentes.

5. ESTUDIO II

5.1. PROBLEMA

En la literatura científica existen varios estudios (Garcia-Ramos et al., 2015; Girman, Jones, Matthews, & Wood, 2014; Hardee, Triplett, Utter, Zwetsloot, & McBride, 2012; Iglesias-Soler et al., 2012; Lawton, Cronin, & Lindsell, 2006; Oliver et al., 2015; Rahimi, Qaderi, Faraji, & Boroujerdi, 2010) que han analizado el efecto agudo producido por un protocolo de entrenamiento de fuerza (PEF) realizado con una configuración tradicional (sin descanso entre repeticiones) y con una configuración tipo clúster (añadiendo un tiempo de recuperación entre repeticiones o grupo de repeticiones). La mayoría de estos estudios ha utilizado diseños del entrenamiento de fuerza en las que había otras variables independientes aparte del tiempo de recuperación entre repeticiones, ya que, por ejemplo, los tiempos de recuperación entre series, las intensidades máximas, número de repeticiones por serie y otras variables eran distintos. Por tanto, no se debería considerar que el efecto agudo observado en los distintos estudios se deba exclusivamente al tiempo de recuperación entre repeticiones, sino a la combinación de distintas variables independientes. Por tanto, si queremos comprobar el efecto que tiene el tiempo de recuperación entre repeticiones (entrenamiento típicamente considerado como clúster), se necesita realizar estudios en los que la única variable independiente sea el tiempo de recuperación entre repeticiones. Para ello hemos diseñado dos estudios en los que trataremos de comprobar por una parte el efecto agudo de distintos tiempos de recuperación ante distintas intensidades y un mismo número de repeticiones por serie, y por otra el efecto sobre el rendimiento físico de tres tiempos de recuperación entre repeticiones ante las mismas intensidades relativas máximas y número de repeticiones. Por tanto, el problema objeto de análisis para el primero de los estudios es el siguiente:

¿Cuál es el grado de fatiga mecánica y estrés metabólico agudos producido por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones en cuatro protocolos de entrenamiento de fuerza diferentes aplicados a hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza?

5.2. OBJETIVO

En base al problema anteriormente planteado, el objetivo de nuestro estudio es el siguiente:

Comprobar el grado de fatiga mecánica y estrés metabólico agudos producido por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones: 0 segundos de recuperación o repeticiones continuas (RC), 10 s (G10) y 20 s (G20) ante cuatro intensidades relativas diferentes (60, 70, 75 y 80% de 1RM) aplicados a hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

5.3. HIPOTESIS

En la literatura científica existe un amplio número de estudios (García-Ramos, et al., 2015; Girman, et al., 2014; Haff et al., 2003; K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J., 2011; Hardee, et al., 2012; Lawton, et al., 2006; Oliver, et al., 2015) que han analizado la fatiga mecánica y metabólica usando diseños del entrenamiento de fuerza en los que se comparaban los efectos de distintos tiempos de recuperación entre repeticiones. A pesar de que la mayoría de estos estudios ha desarrollado un protocolo donde había más de una variable independiente, en la mayoría de estos estudios (García-Ramos, et al., 2015; Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, Cronin, & Newton, 2011; K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J., 2011; Hardee, et al., 2012; Lawton, et al., 2006; Oliver, et al., 2015) se ha observado que, como era de esperar, cuando no se permitía recuperación entre las repeticiones se observaba un mayor grado de fatiga que cuando se añadía un tiempo de recuperación entre las mismas. Como se ha observado en estudios previos y se deduce de la experiencia derivada de cualquier tipo de esfuerzo realizado, la fatiga producida al realizar un mismo trabajo sin pausa entre las distintas acciones que lo configuran siempre será mayor que si se introducen pequeñas pausas de recuperación entre dichas acciones, permitiendo un mayor tiempo de ejecución para la realización de la misma actividad. Sin embargo, es probable que a partir de un determinado tiempo de recuperación entre las distintas acciones el grado de fatiga no se modifique, lo que indicaría que se ha alcanzado un tiempo de recuperación suficiente y que la prolongación del mismo no contribuye a la disminución de la fatiga. Por tanto, nuestra hipótesis es la siguiente:

Un tiempo de recuperación de 10 segundos entre repeticiones disminuye la fatiga con respecto a la realización del mismo trabajo sin descanso entre repeticiones, pero un aumento de la recuperación entre repeticiones a 20 segundos no disminuye significativamente la fatiga con respecto a una recuperación de 10 segundos.

5.4. METODOLOGÍA

5.4.1. Tipo de Investigación

La presente investigación se diseñó con la intención de conocer en mayor medida la respuesta aguda mecánica y metabólica ante diferentes PEFs realizados con diferentes intensidades relativas y tiempos de recuperación entre repeticiones.

Dadas las características de los datos, nuestro estudio se trata de una investigación *cuantitativa*. Teniendo en cuenta el grado de manipulación de las variables y los objetivos de estudio, nuestra investigación es fundamentalmente *descriptiva* aunque podemos considerar la variable *tiempo de recuperación entre repeticiones* como variable independiente. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es en parte *Inferencial*.

5.4.2. Muestra

En el presente estudio participaron treinta hombres jóvenes y sanos con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Todos eran estudiantes del Grado en Ciencias de la Actividad y del Deporte, con al menos 6 meses de experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Los datos de edad, altura y peso de los participantes son los siguientes: (edad: 22.8 ± 3.1 años; altura: 1.80 ± 0.10 metros; peso: 71.9 ± 10.9 kg). Todos los participantes estaban familiarizados con la técnica del ejercicio de sentadilla completa ya que habían participado en estudios previos realizados en nuestro laboratorio. Tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todos los participantes dieron su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado (**ANEXO I**) antes de tomar parte en el estudio.

Los requisitos que se requerían a los participantes para poder formar parte de la investigación se han descrito en la metodología del **Estudio I**.

5.4.3. Diseño Experimental

Este estudio se diseñó para analizar la respuesta aguda mecánica y metabólica ante 12 protocolos de entrenamiento de fuerza caracterizados por la utilización de cuatro intensidades relativas (60, 70, 75 y 80% de 1RM) y tres tiempos de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos) en cada una de ellas. En las dos semanas anteriores a la realización de la primera sesión de evaluación se llevaron a cabo 4 sesiones de familiarización (2 sesiones por semana), que consistieron en la realización de tres series

de 6, 5, 4 y 3 repeticiones con el 60, 70, 75 y 80% de 1RM, respectivamente. Cada grupo realizó 5 sesiones de evaluación: 1) un test inicial de incremento de cargas para la determinación individual de 1RMest y la curva carga-velocidad en el ejercicio de sentadilla completa (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011; Luis Sánchez-Medina, Jesús G Pallarés, Carlos E. Pérez, Ricardo Morán-Navarro, & Juan José González-Badillo, 2017); y 2) cuatro PEFs con las intensidades relativas y tiempos de recuperación indicados. Por tanto, para cada PEF todos los participantes usaron el mismo número de series (3 series), repeticiones por serie e intensidad relativa (6, 5, 4 y 3 repeticiones con las intensidades del 60, 70, 75 y 80% de 1RM, respectivamente), y el mismo tiempo de recuperación entre series (4 minutos). Así, los PEFs se realizaron como sigue (series x repeticiones [% 1RM]): 3x6 [60%] (PEF 1); 3x5 [70%] (PEF 2); 3x4 [75%] (PEF 3); 3x3 [80%] (PEF 4). El número de repeticiones por serie se seleccionó en base al número medio de repeticiones requeridas para alcanzar una pérdida de velocidad dentro de la serie de ~20% cuando la serie se realizó de manera tradicional, ya que en un estudio reciente (Pareja-Blanco et al., 2016) se ha observado que este grado de fatiga produce mayores mejoras en el rendimiento neuromuscular que un grado de pérdida de velocidad dentro de la serie del ~40% (cerca del fallo muscular) y también del ~30% (datos de nuestro laboratorio, Tesis Doctoral de David Rodríguez Rosell). Los PEFs se realizaron en un orden aleatorio y separado por 6-7 días. Con el objetivo de estimar el grado de fatiga generado por los 4 PEFs, los participantes realizaron una batería de test antes y después de la realización de cada esfuerzo: altura del salto con contra movimiento (CMJ), carga individual (kg) que se desplazaba a la velocidad media propulsiva de $\sim 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (carga $V_{1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$) y concentración de lactato en sangre. Durante la realización del presente estudio los participantes no realizaron ningún otro entrenamiento de fuerza.

5.4.4. Evaluación inicial de la fuerza

Cuando los participantes realizaron las sesiones de familiarización se les indicó que no realizaran ningún tipo de ejercicio durante los 4 días que separaban la última sesión de familiarización y la primera sesión de evaluación. En la primera sesión de evaluación se realizó un test incremental de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa con el objetivo de conocer tanto la curva carga-velocidad como 1RMest de todos los participantes, información necesaria para llevar a cabo los PEFs. Tanto el ejercicio de sentadilla completa como el test incremental de cargas progresivas han sido descritos en la metodología del estudio I.

5.4.5. Protocolos de entrenamiento de fuerza

En la **Tabla 4** se muestran las características de cada PEF. Se determinó la carga para cada participante en cada PEF a través de la relación entre la VMP y el porcentaje de 1RM, la cual ha sido observada previamente (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010; Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallares, 2014; Luis Sánchez-Medina, et al., 2017). Así, la VMP objetivo a alcanzar en la primera repetición de la primera serie para cada PEF se usó como una estimación del % de 1RM, como sigue: $\sim 0.98 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (60% 1RM), $\sim 0.82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (70% 1RM), $\sim 0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (75% 1RM), y $\sim 0.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (80% 1RM). El calentamiento se inició incrementando las cargas desde 20 kg hasta que se alcanzó la velocidad objetivo ($\pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Se realizó cada PEF en el siguiente orden: 1) se determinó la concentración de lactato en sangre antes del esfuerzo; 2) los participantes realizaron un calentamiento estándar que consistió en 5 minutos de carrera continua a un ritmo seleccionado por el participante, 2 aceleraciones de 30 metros, 2 series de 10 sentadillas completas con el propio peso corporal y 5 saltos con contra movimiento incrementando la intensidad; 3) se realizaron 3 CMJ máximos, separados por 20 segundos de descanso. Se tomó la media de altura de los 3 saltos como el valor previo al inicio del esfuerzo. La altura de salto se determinó usando un sistema de temporización de infrarrojo (Optojump, Microgate, Bolzano, Italia); 4) Se determinó la carga $V_{1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$. Con este objetivo, los participantes realizaron 3 series de 6 a 3 repeticiones (3 minutos) con incremento de carga de 20 kg hasta alcanzar la carga de $V_{1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}}$ ($\pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), la cual se conocía a través de la relación entre la VMP y el porcentaje de 1RM (Luis Sánchez-Medina, et al., 2017) observada en la primera sesión de evaluación; 5) se realizaron las 3 series correspondientes al PEF; 6) inmediatamente después de completar la última repetición de la tercera serie, los participantes realizaron 3 saltos con contra movimiento máximos, separados por 20 segundos, y 3 repeticiones a la máxima velocidad con la carga absoluta que antes de comenzar el esfuerzo se desplazó a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (la cual se cambió en 10-15 segundos); 7) después de 1 minuto de descanso, se determinó la concentración de lactato en sangre después del ejercicio.

5.4.6. Medidas de la fatiga mecánica

Para analizar el grado de fatiga muscular inducida por los diferentes PEFs, se usaron tres métodos diferentes (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). El primer método consistió en analizar el descenso en la VMP de cada repetición durante las 3 series correspondientes al PEF y fue calculado como el porcentaje de pérdida de velocidad de

la más rápida a la más lenta de cada serie y como promedio de las 3 series. El segundo método consistió en calcular los cambios en la VMP lograda contra la carga de $V1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ antes y después del esfuerzo. Por último, el tercer método consistió en analizar los cambios en la altura del CMJ antes y después del esfuerzo (**Figura 9**).

5.4.7. Concentración de lactato en sangre

Antes del ejercicio y 1 minuto después de completar la última repetición con la carga $V1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en cada PEF se extrajeron muestras capilares de sangre del lóbulo de la oreja. Se utilizó el analizador Lactate Pro 2 LT-1730 (Arkay, Kyoto, Japón). La idoneidad y reproducibilidad de este analizador se ha establecido previamente en todo el intervalo fisiológico de $1,0\text{-}18,0\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Pyne, Boston, Martin, & Logan, 2000).

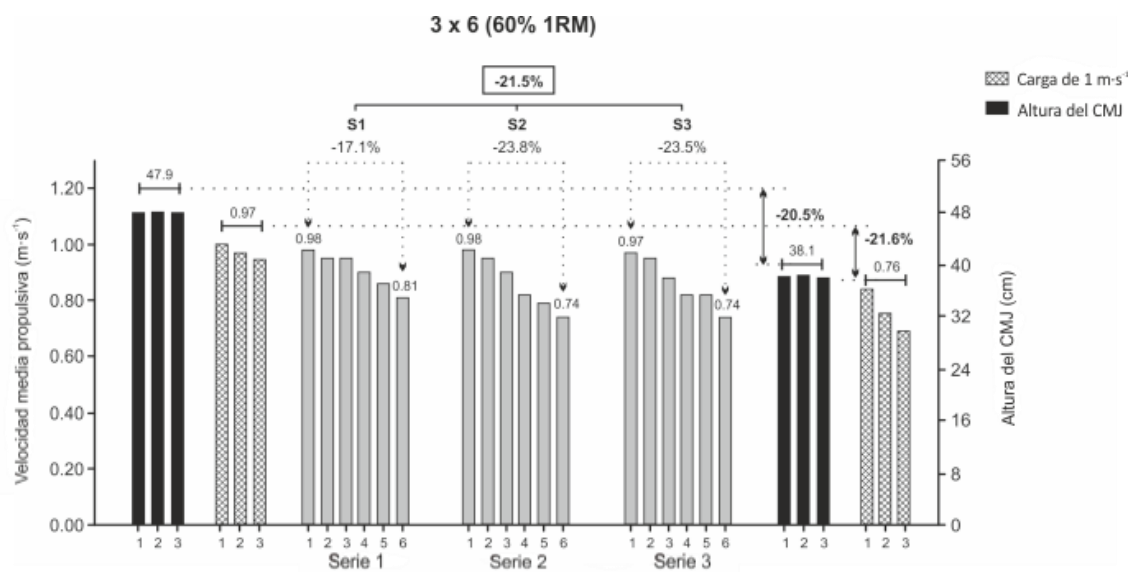


Figura 9. Ejemplo de la realización del protocolo de Fuerza para un participante representativo del RC. Se calculó la pérdida de VMP sobre las tres series (21.5%), la pérdida de VMP con la carga $V1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ antes y después del esfuerzo (21.6%) y la pérdida de altura del CMJ antes y después del ejercicio (20.5%).

5.4.8. Variables Objeto de Estudio

5.4.8.1. Metabólicas

- *Lactatemia, en $\text{mmol}\cdot\text{L}^{-1}$.* Concentración sanguínea de lactato medida después de cada PEF.

5.4.8.2. Mecánicas

- *Pérdida de altura en el salto vertical (CMJ), en porcentaje.* pérdida relativa (%) calculada tras realizar 3 saltos a la máxima intensidad inmediatamente antes y después de la realización del ejercicio de sentadilla, justo antes de realizar las 3 repeticiones con la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$).
- *Pérdida de VMP con la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($C1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), en porcentaje.* es la pérdida (%) de velocidad medida propulsiva entre la media de 3 repeticiones realizadas a máxima velocidad, inmediatamente antes y 1 min después de cada protocolo de ejercicio, con aquella carga absoluta con la que se consigue una VMP de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en situación de ausencia de fatiga.

5.4.9. Control de Variables Extrañas

Este apartado ya ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

5.4.10. Evaluaciones y Pruebas Físicas

5.4.10.1. Análisis Antropométrico

- *Masa corporal (kg).* descrito previamente en la metodología del Estudio I.
- *Talla (m).* descrito previamente en la metodología del Estudio I.

5.4.10.2. Pruebas Físicas

- *Test Isoinercial de cargas progresivas.* La realización de este test ya ha sido descrita previamente en la metodología del Estudio I.
- *Análisis de la concentración de lactato en sangre.* Se midió la concentración de lactato en sangre (en el lóbulo de la oreja) en estado de reposo antes de que los participantes comenzaran con el calentamiento estandarizado. 1 minuto después de que el participante realizará la última repetición con la $C1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ en estado de fatiga se volvió a medir la concentración de lactato en sangre post ejercicio. Para medir las concentraciones de lactato en sangre se utilizó el Lactate Pro LT-1710 (Arkay, Japón). Éste es un analizador portátil que permite determinar la concentración de lactato en sangre total (lactatemia). El manejo de este analizador se realiza introduciendo una tira reactiva en la parte superior y solo necesita una muestra de sangre de $5 \mu\text{l}$ para mostrar el nivel de lactatemia en sangre a los 60 s. La idoneidad y reproductibilidad de este analizador ha sido previamente establecida en un rango fisiológico de $1.0\text{--}18.0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$ (Pyne, et al., 2000).



Figura 10. Medición de la concentración de lactato en sangre con el medidor Lactate pro 2.

- *Test de salto vertical con contra movimiento (CMJ).* Este test ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

5.4.11. Instrumental de Evaluación

Máquina tipo Smith

Las características de este instrumento ya han sido descritas previamente en la metodología del Estudio I.

Transductor lineal de velocidad

Las características de este instrumento ya han sido descritas previamente en la metodología del Estudio I.

Plataforma de salto

Las características de este instrumento han si descritas previamente en la metodología del Estudio I.

Analizador de lactato

Para la medición de la concentración sanguínea de lactato se utilizó el medidor de lactato portátil Lactate Pro 2 LT-1730 (Arkay, Kyoto, Japan). El sistema se calibra automáticamente al introducir la tira reactiva y necesita solo 0.3 μ l de volumen de sangre para hacer la medición de la concentración de lactato. El rango de medida oscila entre 0.5 - 25.0 mmol/L-1 y tiene memoria para almacenar 330 resultados. Este sistema ha mostrado una alta fiabilidad para un rango fisiológico de 0.5 - 25.0 mmol/L-1 (Pyne, et al., 2000).

5.4.12. Plan de Trabajo

El presente estudio tuvo una duración total de 5 semanas. Durante este periodo, cada participante realizó un total de 5 sesiones de evaluación (un test incremental de cargas progresivas y 4 PEFs en el ejercicio de sentadilla completa) separadas por 1 semana. Los esfuerzos se realizaron los días lunes, martes o miércoles de cada semana siempre en el mismo día. Después de la primera sesión de evaluación, donde se determinó la 1RMest y la curva fuerza/carga- velocidad, se distribuyó a los participantes aleatoriamente a uno de los tres grupos RC (n = 10), G10 (n = 10) y G20 (n = 10). Todos los participantes realizaron los PEFs de manera aleatoria y en la misma hora del día (± 1 hora) con el fin de eliminar el efecto de variables extrañas. En la **Tabla 4** se muestra el entrenamiento programado y realizado para cada PEF por los participantes.

Tabla 4. Características descriptivas de los protocolos de entrenamiento en cada sesión.

<i>Programado</i>	PEF 1			PEF 2		
	RC	G10	G20	RC	G10	G20
Series x repeticiones	3 x 6	3 x 6	3 x 6	3 x 5	3 x 5	3 x 5
VMP objetivo (m·s⁻¹)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.83 (~70% 1RM)	0.83 (~70% 1RM)	0.83 (~70% 1RM)
<i>Realizado</i>						
VMP alcanzada (m·s⁻¹)	1.00 ± 0.02 (~58.8% 1RM)	1.00 ± 0.03 (~58.8% 1RM)	0.99 ± 0.03 (~59.4% 1RM)	0.84 ± 0.02 (~69.3% 1RM)	0.83 ± 0.03 (~69.9% 1RM)	0.84 ± 0.02 (~69.3% 1RM)
Promedio de VMP en las 3 series (m·s⁻¹)	0.88 ± 0.05	0.92 ± 0.04 *	0.92 ± 0.05 *	0.71 ± 0.05	0.73 ± 0.04	0.78 ± 0.03 **
<i>Programado</i>	PEF 3			PEF 4		
	RC	G10	G20	RC	G10	G20
Series x repeticiones	3 x 4	3 x 4	3 x 4	3 x 3	3 x 3	3 x 3
VMP objetivo (m·s⁻¹)	0.75 (~75% 1RM)	0.75 (~75% 1RM)	0.75 (~75% 1RM)	0.68 (~80% 1RM)	0.68 (~80% 1RM)	0.68 (~80% 1RM)
<i>Realizado</i>						
VMP alcanzada (m·s⁻¹)	0.75 ± 0.03 (~75.1% 1RM)	0.76 ± 0.02 (~74.5% 1RM)	0.75 ± 0.02 (~75.1% 1RM)	0.69 ± 0.02 (~79.0% 1RM)	0.68 ± 0.02 (~79.6% 1RM)	0.68 ± 0.01 (~79.6% 1RM)
Promedio de VMP en las 3 series (m·s⁻¹)	0.64 ± 0.05	0.68 ± 0.04	0.69 ± 0.03 *	0.59 ± 0.05	0.60 ± 0.04	0.63 ± 0.02 *

PEF1 = protocolo de entrenamiento de fuerza realizado con el 60% de la 1RM; PEF2 = protocolo de entrenamiento de fuerza realizado con el 70% de la 1RM; PEF3 = protocolo de entrenamiento de fuerza realizado con el 75% de la 1RM;

PEF4 = protocolo de entrenamiento de fuerza realizado con el 80% de la 1RM; RC = grupo que realizó las repeticiones de manera continua; G10 = grupo que realizó las repeticiones con 10 segundos de recuperación entre repeticiones; G20 = grupo que realizó las repeticiones con 20 segundos de recuperación entre repeticiones; VMP = velocidad media propulsiva.

5.4.13. Análisis Estadístico

Los valores se muestran como media \pm desviación típica (dt). Se verificó la homogeneidad de la varianza de todos los grupos (RC, G10 y G20) usando el test de Levene, mientras que se examinó si los datos se distribuían según la curva normal usando el test de Kolmogorov-Smirnov. Se aplicó una ANOVA de un factor con el fin de determinar si hubo diferencias significativas entre grupos en el test inicial en todas las variables medidas. Con el objetivo de observar si se habían producido diferencias significativas entre grupos se aplicó una ANOVA de medidas repetidas 3 (grupos: RC, G10, G20) x 4 (PEFs: 60, 70, 75 y 80% de 1RM) con ajustes de Bonferroni para examinar las diferencias entre grupos en la respuesta mecánica y metabólica. También se aplicó un ANOVA de medidas repetidas para comparar la VMP de cada repetición en cada PEF. La significatividad estadística se estableció en $P \leq 0.05$. Los análisis estadísticos se realizaron usando el software SPSS versión 22 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

5.5. RESULTADOS

Todas las variables siguieron una distribución normal y tuvieron varianzas iguales. No se observaron diferencias significativas entre grupos en ninguna variable en el test inicial. En la **Tabla 4** se muestra el entrenamiento real realizado por cada grupo.

5.5.1. Características de los Protocolos de Fuerza. En la **Tabla 4** se muestran el promedio de la velocidad de la mejor repetición y el promedio de la velocidad de las tres series para cada PEF. La media de la VMP fue significativamente mayor para el grupo que descansó 20 segundos comparado con el grupo que realizó las repeticiones de manera continua para todos los PEFs, mientras que solo se observaron diferencias entre RC y G10 en el PEF realizado con el 60% de 1RM. No se observaron diferencias significativas entre G10 y G20 en la media de la VMP de las tres series para ningún PEF. El análisis de los patrones de descenso de la velocidad dentro de cada configuración del entrenamiento (**Figura 11**) mostró que la VMP descendió significativamente ($P < 0.05 - 0.01$) desde la segunda repetición en todas las series y en todos los PEFs para el RC. Para el G10 se observaron descensos significativos ($P < 0.05 - 0.01$) de la VMP desde la segunda (PEF 4) y la tercera (PEFs 1, 2 y 3) repetición para cada serie, mientras que para el G20 la VMP descendió significativamente ($P < 0.05$) desde la tercera (PEF4), la cuarta (PEF3) y la quinta (PEFs 1 y 2) de cada serie. Además, se observaron diferencias significativas ($P < 0.05 - 0.001$) en el descenso de la VMP de cada repetición entre los grupos RC y G10 y entre los grupos RC y G20 principalmente a partir de la segunda repetición, y no se observaron diferencias significativas entre G10 y G20 en los patrones de descenso de la velocidad (**Figura 11**).

5.5.2. Medida de la Fatiga Mecánica y Metabólica. No se observaron diferencias significativas entre los grupos en ninguna variable analizada en el test inicial. El RC presentó un porcentaje de pérdida de velocidad sobre las tres series y una concentración sanguínea de lactato significativamente mayor que G10 y G20 en todos los PEFs. En el PEF1, el RC mostró una pérdida de altura de salto significativamente mayor que el G10, y una pérdida de VMP contra la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ significativamente ($P < 0.05 - 0.01$) mayor que G10 y G20. No se observaron diferencias significativas en ninguna variable analizada entre G10 y G20 (**Tabla 5**).

5.5.3. Relación entre las variables mecánicas y metabólicas. Cuando los datos de todos los grupos se agruparon, se observó una relación muy alta entre la pérdida de velocidad

relativa dentro de las tres series y (i) la pérdida de velocidad contra la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($r = 0.835$; $P < 0.001$), (ii) la pérdida de altura de salto desde el test inicial al final ($r = 0.814$; $P < 0.001$), y (iii) la concentración sanguínea de lactato ($r = 0.918$; $P < 0.000$). Además de esto, se observó una correlación muy alta entre la pérdida de velocidad contra la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y (i) la pérdida de altura de salto desde el test inicial al final ($r = 0.771$; $P < 0.001$) y (ii) la concentración sanguínea de lactato ($r = 0.830$; $P < 0.001$). Finalmente, se observó una relación significativa ($r = 0.824$; $P < 0.001$) entre la pérdida de altura de salto desde el test inicial al final y la concentración sanguínea de lactato (**Tabla 6**).

Tabla 5. Medidas de la fatiga mecánica y el estrés metabólico después de cada esfuerzo para cada grupo.

Intensidad (% 1RM)	RC				G10				G20			
	Pérdida de CMJ (%)	Pérdida de VMP con la carga de 1 m·s ⁻¹ (%)	Pérdida de VMP sobre las 3 series (%)	Lactato (mmol·L ⁻¹)	Pérdida de CMJ (%)	Pérdida de VMP con la carga de 1 m·s ⁻¹ (%)	Pérdida de VMP sobre las 3 series (%)	Lactato (mmol·L ⁻¹)	Pérdida de CMJ (%)	Pérdida de VMP con la carga de 1 m·s ⁻¹ (%)	Pérdida de VMP sobre las 3 series (%)	Lactato (mmol·L ⁻¹)
60%	21.3 ± 5.3 **	22.8 ± 8.8 **†	22.1 ± 5.7 ***†††	6.7 ± 2.9 ***†††	17.2 ± 4.5	13.6 ± 8.1	11.2 ± 5.4	3.4 ± 0.9	13.6 ± 5.0	12.6 ± 8.5	9.1 ± 3.3	2.9 ± 0.8
70%	21.5 ± 4.7	21.2 ± 10.1	27.4 ± 8.6 ***†††	6.6 ± 2.7 ***††	16.4 ± 6.0	12.8 ± 7.0	13.3 ± 4.8	3.7 ± 0.9	18.1 ± 4.1	13.5 ± 9.0	12.1 ± 4.3 ^A	2.9 ± 0.7
75%	19.5 ± 5.2	22.1 ± 11.3	26.9 ± 9.0 ***†††	5.5 ± 2.1 ***†	14.6 ± 5.1	15.7 ± 7.5	14.1 ± 5.9	3.9 ± 1.2	17.0 ± 3.6	15.8 ± 6.9	11.3 ± 3.3	2.9 ± 0.9
80%	18.2 ± 5.8	16.8 ± 9.7	22.1 ± 8.8**†	4.9 ± 1.6 ***	16.6 ± 4.8	18.4 ± 7.7	13.2 ± 5.6	3.6 ± 1.2	16.2 ± 3.8	16.7 ± 7.9	12.0 ± 5.3	2.6 ± 0.5

Los datos se muestran como media ± dt. RC = grupo que realizó las repeticiones de manera continua; G10: grupo que realizó las repeticiones con 10 segundos de descanso en medio; G20 = grupo que realizó las repeticiones con 20 segundos de descanso en medio; Estadísticamente significativo con respecto a G20: * P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001; Estadísticamente significativo con respecto a G10: † P < 0.05, †† P < 0.01, ††† P < 0.001; Diferencias significativas con respecto a 60% 1RM: ^AP < 0.05.

Tabla 6. Relación entre las diferentes variables mecánicas y metabólicas.

	Pérdida de VMP con la carga de 1 m·s ⁻¹ (%)		Lactato (mmol·L ⁻¹)
		Pérdida de CMJ (%)	
Pérdida de VMP en las 3 series (%)	0.835**	0.814**	0.918***
Pérdida de VMP con la carga de 1 m·s ⁻¹ (%)		0.771**	0.830**
Pérdida de CMJ (%)			0.814**

Relación estadísticamente significativa: ** P < 0.01, *** P < 0.001.

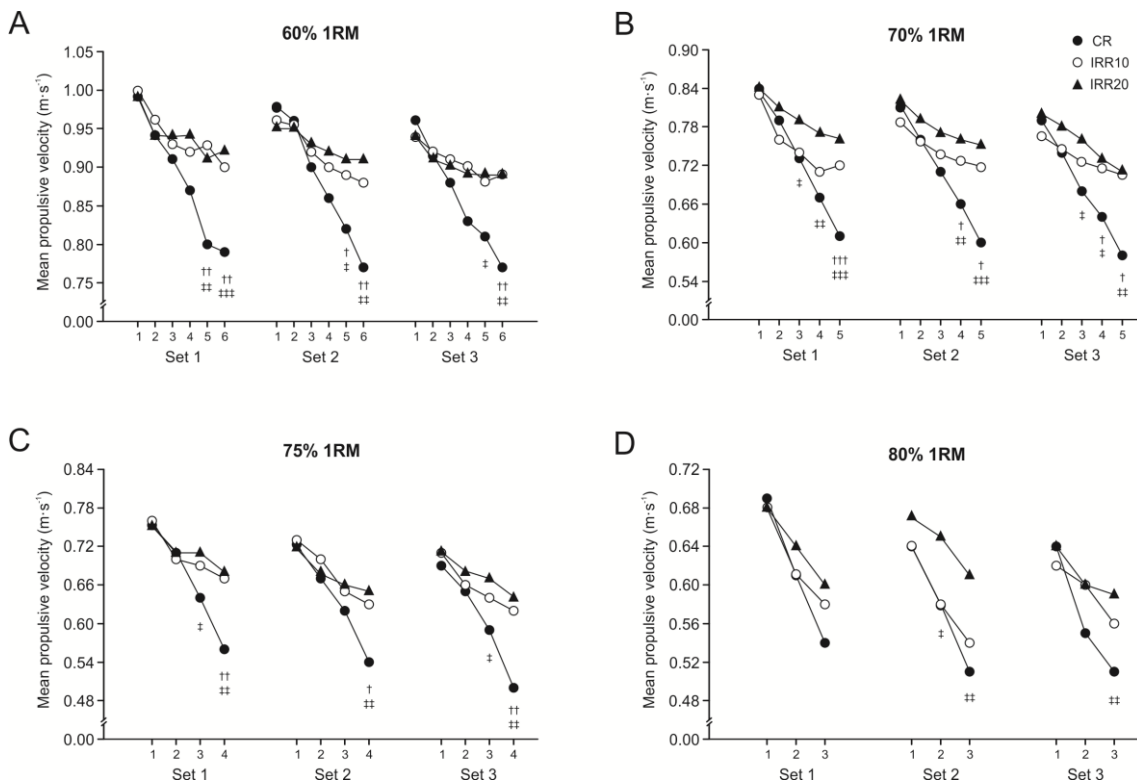


Figura 11. Promedio de la velocidad media propulsiva durante cada repetición para cada magnitud de carga usada y a través de las diferentes configuraciones del entrenamiento (RC, G10 y G20). Diferencias estadísticas respecto al G10: P < .05, †† P < .01, ††† P < 0.001. Diferencias estadísticas respecto al G20: ‡ P < .05, ‡‡ P < .01, ‡‡‡ P < .001.

5.6. DISCUSIÓN

El objetivo de nuestro estudio fue comparar las respuestas mecánica y metabólica de tres configuraciones del entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos) ante cuatro PEFs realizados con intensidades relativas distintas (60, 70, 75 y 80% de 1RM) en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Como era de esperar, el RC presentó una pérdida de velocidad dentro de la serie y una concentración de lactato en sangre significativamente mayor que el G10 y el G20 en todos los PEFs analizados. A pesar de esto, la pérdida de altura del CMJ y la pérdida de velocidad con la carga $V1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ solo fueron significativamente mayores para el RC comparado con el G10 y G20 en el PEF realizado con el 60% de 1RM. No se observaron diferencias significativas entre G10 y G20 para ninguna variable analizada. Estos resultados podrían ser de interés para los entrenadores y profesionales de la condición física ya que podrían considerar el entrenamiento de fuerza con pequeñas pausas de 10 o 20 segundos entre repeticiones, ya que no hay diferencias entre ambas, como un método efectivo para realizar todas las repeticiones dentro de la serie a una velocidad mayor y por tanto provocando un menor grado de fatiga mecánica y metabólica que si se entrena sin añadir un descanso entre las repeticiones. No obstante, se necesita realizar otros estudios para determinar si el hecho de obtener un menor grado de fatiga dentro de la serie resulta en cambios del rendimiento físico y en acciones propias de determinados deportes diferentes o no a las mostradas por los programas de entrenamiento tradicionales.

Un aspecto único y muy importante de este estudio fue que se ajustó la intensidad relativa que usaba cada participante a través de la relación entre la VMP y el % de 1RM en el ejercicio de sentadilla completa. Esta relación fue analizada en nuestro laboratorio previamente a la realización de nuestro estudio y fue publicada recientemente (L. Sánchez-Medina, Jesús G. Pallarés, Carlos E. Pérez, Ricardo Morán-Navarro, & J. J. González-Badillo, 2017). De esta forma, todos los participantes iniciaron las sesiones de entrenamiento prácticamente a la misma velocidad en la primera repetición de la serie, lo cual, de acuerdo con el estudio previamente mencionado, nos permite aceptar que, con una alta probabilidad, la intensidad relativa con la que entrenaban era muy similar para todos los sujetos y se correspondía con la intensidad programada para cada PEF (**Tabla 4**). Debido a que el descenso en la fuerza y la velocidad están influidos por la intensidad relativa usada (Izquierdo et al., 2006; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), es

esencial que en estudios de estas características todos los participantes sean evaluados con la misma o muy similar intensidad relativa con el fin de entender el impacto de la configuración del entrenamiento variando solo el tiempo de recuperación entre repeticiones. Sin embargo, en estudios previos en esta materia (Garcia-Ramos, et al., 2015; Girman, et al., 2014; Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. , 2011; Hardee, et al., 2012; Lawton, et al., 2006; Moir, Graham, Davis, Guers, & Witmer, 2013; Oliver, et al., 2015) no se ha usado la velocidad de la primera (más rápida) repetición en la serie para determinar la intensidad relativa. Esto significa que en estos estudios no se ha comprobado que la carga actual usada por los participantes se correspondía con la carga propuesta.

De acuerdo con nuestros resultados, en la mayoría de estudios (Garcia-Ramos, et al., 2015; Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. , 2011; Hardee, et al., 2012; Lawton, et al., 2006; Oliver, et al., 2015) en los que se analizó el efecto de añadir o no un tiempo de descanso entre repeticiones sobre el estrés mecánico se han observado menores pérdidas de potencia en los grupos con diseños del entrenamiento tipo clúster que en los grupos tradicionales. Estos resultados son similares en diferentes ejercicios tales como sentadilla completa (Oliver, et al., 2015), press banca (Garcia-Ramos, et al., 2015; Lawton, et al., 2006), cargada (Haff, et al., 2003; K. T. Hansen, et al., 2011) y saltos con carga (Hardee, et al., 2012). Esto significa que, como era de esperar, la inclusión de pequeños periodos de descanso entre repeticiones podría incrementar el número de repeticiones realizado a mayor velocidad. El rendimiento en velocidad en esfuerzos de muy corta duración son principalmente dependientes del sistema de fosfageno (Girman, et al., 2014). Así, los depósitos de fosfocreatina (FCr) disminuyen progresivamente a medida que el número de repeticiones incrementa, alcanzando casi la depleción completa cuando se realiza una serie cerca del fallo muscular sin pausa de recuperación entre repeticiones (Gorostiaga et al., 2012). Por tanto, la inclusión de pequeños periodos de descanso entre repeticiones podrían proporcionar tiempo suficiente para la reposición parcial de FCr, la cual es importante para la recuperación de la velocidad durante varias series de ejercicio (Bogdanis, Nevill, Boobis, Lakomy, & Nevill, 1995).

El RC mostró un mayor porcentaje de pérdida de velocidad con la carga de $V1m \cdot s^{-1}$ y de altura del CMJ, y mayores concentraciones de lactato en sangre comparado con el G10 y el G20 en todos los PEFs, aunque las diferencias fueron solo estadísticamente

significativas en el PEF que se realizó con el 60% de 1RM. Las pérdidas de altura del CMJ y de velocidad con la carga $V1m \cdot s^{-1}$, han sido consideradas como estimadores de la fatiga aguda y retardada (72 horas post esfuerzo) producida por diferentes PEFs (Gonzalez-Badillo et al., 2016; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), al mismo tiempo que son predictores de alta validez del estrés metabólico, estimado a través del lactato y el amonio (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011). Sin embargo, en pocos estudios (Denton & Cronin, 2006; Girman, et al., 2014; Oliver, et al., 2015) se ha analizado el grado de fatiga mecánica y el estrés metabólico producido por el entrenamiento de fuerza con pequeñas pausas de descanso entre repeticiones. En línea con nuestros resultados, estos estudios han observado que los grupos con configuraciones del entrenamiento de fuerza tipo clúster mostraron pérdidas de altura de salto (Girman, et al., 2014) y concentraciones de lactato en sangre (Denton & Cronin, 2006; Girman, et al., 2014; Oliver, et al., 2015) significativamente menores que los grupos que entrenabas siguiendo un programa de entrenamiento tradicional. Como se ha mencionado anteriormente, el grado de depleción de los depósitos de FCr durante un entrenamiento tradicional es mucho mayor que el producido por un entrenamiento de fuerza tipo clúster. Además un mayor incremento en la concentración de lactato en sangre se asocia con un aumento de la concentración de diferentes subproductos de metabolismo (particularmente fosfato inorgánico y iones de hidrogeno), los cuales están directamente conectados con la fatiga (Allen & Trajanovska, 2012). En este sentido, se ha especulado que podrían ser necesarios al menos 15 segundos de recuperación entre repeticiones en ejercicios que se realizan con las extremidades inferiores tales como el salto vertical y la sentadilla completa para permitir la resíntesis de FCr y mantener así los niveles de concentración de lactato en sangre (Pereira et al., 2008), permitiendo el aumento de la velocidad, en las repeticiones posteriores. Sin embargo, a pesar de que el G20 tuvo un tiempo de recuperación entre repeticiones que fue el doble del que tuvo el G10, no se han observado diferencias significativas entre estos dos grupos en ninguna de las variables analizadas. Estos resultados coinciden con los observados en un estudio previo (referencia) en el que se comparó la pérdida de fuerza, velocidad y potencia durante 3 series de 6 repeticiones con el 80% de 1RM realizada con tres configuraciones diferentes: sin tiempo de recuperación entre repeticiones, 20 y 40 s de recuperación entre repeticiones. En este estudio se encontró que cuando las series se realizaron sin tiempo de recuperación entre repeticiones, el porcentaje de pérdida de fuerza, velocidad y potencia durante las 3 series fue significativamente mayor al mostrado cuando se incluía un tiempo de recuperación

entre repeticiones. Sin embargo, similar a nuestros resultados, no hubo diferencias significativas entre descansar 20 o 40 s entre repeticiones. Por tanto, estos hallazgos confirman nuestra hipótesis de que es probable que a partir de un determinado tiempo de recuperación entre las distintas acciones el grado de fatiga no se modifique, lo que indicaría que se ha alcanzado un tiempo de recuperación suficiente y que la prolongación del mismo no contribuye a la disminución de la fatiga.

5.7. CONCLUSIONES

Los resultados del presente estudio sugieren que añadir un periodo de 10 o 20 segundos de recuperación entre repeticiones resulta en un significativamente menor (i) grado de fatiga dentro de las tres series, (ii) pérdida de altura de CMJ y (iii) concentración de lactato en sangre comparado con un entrenamiento tradicional ante cuatro PEFs realizados con el 60, 70, 75 y 80% de 1RM. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas entre el G10 y el G20 en ninguna variable analizada. Además, los resultados del presente estudio también indican que tanto la fatiga mecánica (medida a través de la pérdida de velocidad con la carga $V1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la pérdida de la altura del CMJ) como el estrés metabólico (medida a través de la concentración de lactato en sangre) están asociados con la pérdida de velocidad inducida dentro de la serie independientemente de la configuración del entrenamiento que se use.

5.8. APLICACIONES PRÁCTICAS

Aunque no conocemos si un menor grado de fatiga dentro de la serie, ante la misma intensidad relativa y un mismo trabajo mecánico individual realizado (mismo número de repeticiones en la serie y totales) produce mejor o peor efecto sobre el rendimiento que el mismo entrenamiento pero sin pausas entre repeticiones, podemos sugerir que este tipo de entrenamiento se puede aplicar si queremos que nuestro deportista entrene ante unas intensidades y volúmenes determinados con grados de fatiga más bajos que los alcanzados con el mismo entrenamiento sin descanso entre repeticiones, ya sea por la cercanía de la competición, por encontrarse en una fase inicial de la recuperación de la condición física o por cualquier otra causa. Pero también debería tenerse en cuenta que más de 10 s de pausa entre repeticiones probablemente no proporcione menor grado de fatiga. En esta situación, nos deberíamos plantear si una pausa de 20 s podría ocasionar una excesiva reducción del estímulo por exceso de descanso entre repeticiones, lo que podría traducirse en una disminución del efecto positivo del entrenamiento.

6. ESTUDIO III

Efectos del tiempo de recuperación entre repeticiones sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

6. ESTUDIO III

6.1 PROBLEMA

Para nuestro conocimiento solo existen cuatro estudios (Byrd, Centry, & Boatwright, 1988; K. T. Hansen, Cronin, Pickering, & Newton, 2011; T. Lawton, Cronin, Drinkwater, Lindsell, & Pyne, 2004; Oliver et al., 2013) en los que se ha analizado el efecto producido por diferentes programas de entrenamiento de fuerza con una pausa entre repeticiones comparado con programas de entrenamiento de fuerza sin descanso entre repeticiones. En estos estudios se observan resultados dispares, por ejemplo en el estudio realizado por Byrd et al., (1988) se observó que no había diferencias significativas entre el entrenamiento tradicional y los dos programas de entrenamiento con descanso entre repeticiones (1 y 2 segundos), esto podría deberse a que el tiempo de recuperación aplicado fue muy bajo. En otros dos estudios (K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. , 2011; T. Lawton, et al., 2004) se ha observado que tanto el grupo que entrenaba de manera tradicional como el que siguió un entrenamiento tipo clúster obtuvieron mejoras similares en la potencia desarrollada ante varias cargas absolutas, mientras que el grupo que entrenó de manera tradicional obtuvo mayores mejoras en la fuerza máxima. Por otro lado, en un estudio reciente (Oliver, et al., 2013) se observó que el grupo que siguió un programa de entrenamiento con descanso entre grupos de repeticiones (60 segundos) presentó mayores mejoras en la fuerza máxima y en la potencia que el grupo que entrenaba de manera tradicional. Estas discrepancias en los resultados observados en los cuatro estudios que hemos encontrado en la literatura científica se pueden deber a que en los programas de entrenamiento realizados en todos los estudios existen varias variables independientes (como el número de series y repeticiones por serie) y por tanto no se debería considerar que los efectos se deben exclusivamente al tiempo de recuperación entre repeticiones. Ante esta situación, consideramos pertinente la necesidad de analizar cuál es el efecto de una pausa de recuperación entre las repeticiones de las series frente a no incluirla, controlando todas las demás variables que pudieran influir en la variable dependiente excepto el tiempo de pausa entre repeticiones. Por tanto, el problema objeto de estudio es el siguiente:

¿Cuál es el efecto de un programa de entrenamiento de fuerza sin pausa entre las repeticiones de la serie frente a la introducción de pausas sobre el rendimiento en sprint,

salto vertical y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza?

6.2 OBJETIVO

En base al problema planteado con anterioridad, el objetivo de nuestro estudio es el siguiente:

Analizar los cambios producidos por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 segundos) sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

6.3 HIPOTESIS

A pesar de que en la mayoría de estos estudios se ha desarrollado un protocolo donde había más de una variable independiente, en la mayoría de ellos (Garcia-Ramos et al., 2015; Haff et al., 2003; K. T. Hansen, Cronin, & Newton, 2011; K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. , 2011; Hardee, Triplett, Utter, Zwetsloot, & McBride, 2012; T. W. Lawton, Cronin, & Lindsell, 2006; Oliver et al., 2015) se ha observado que, como era de esperar, cuando no se permitía recuperación entre las repeticiones se observaba un mayor grado de fatiga que cuando se añadía un tiempo de recuperación entre las mismas. Como se ha observado en estudios previos y se deduce de la experiencia derivada de cualquier tipo de esfuerzo realizado, la fatiga producida al realizar un mismo trabajo sin pausa entre las distintas acciones que lo configuran siempre será mayor que si se introducen pequeñas pausas de recuperación entre dichas acciones, permitiendo un mayor tiempo de ejecución para la realización de la misma actividad o trabajo. Sin embargo, es probable que a partir de un determinado tiempo de recuperación entre las distintas acciones el grado de fatiga no se modifique, lo que indicaría que se ha alcanzado un tiempo de recuperación suficiente y que la prolongación del mismo no contribuye a la disminución de la fatiga, lo que podría reducir el grado de estímulo proporcionado. Dado que cada sesión de entrenamiento constituye un esfuerzo por parte del ejecutante, y que el efecto del entrenamiento depende de la magnitud de dicho esfuerzo y, por tanto, del grado de fatiga generado, presentando una tendencia curvilínea carga-rendimiento (Busso, 2003; Gonzalez-Badillo, Gorostiaga, Arellano, & Izquierdo, 2005; Gonzalez-Badillo, Izquierdo, & Gorostiaga, 2006), es probable que una pequeña

pausa entre repeticiones tienda a mejorar el rendimiento o efecto del entrenamiento, pero que a medida que aumenta la pausa se produzca el efecto contrario, una disminución excesiva del estímulo y una menor mejora del rendimiento. Teniendo en cuenta que en nuestro estudio se proponen tres alternativas, no descansar entre repeticiones, descansar 10 s o descansar 20 s, es probable que la no inclusión de pausa y la inclusión de una pausa de 20 s tiendan a ofrecer menor efecto que una pausa de 10 s entre repeticiones. Por tanto, nuestra hipótesis es la siguiente:

Para tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones en la serie (0, 10 y 20 segundos), con intensidades comprendidas entre el 60 y el 80% de 1RM, una pausa de 10 s ofrece mejor resultado que la ausencia de recuperación y que una pausa de 20 s entre las repeticiones que conforman las series.

6.4. METODOLOGÍA

6.4.1. Tipo de Investigación

En función de las características de los datos, el estudio III de la tesis doctoral es un estudio *cuantitativo*. Por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del estudio, nuestra investigación es fundamentalmente *experimental*. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es *inferencial*. Por último, la investigación es de carácter fundamentalmente *longitudinal*, ya que consideramos los cambios que se pueden dar en el tiempo como consecuencia del entrenamiento.

6.4.2. Muestra

En esta investigación participaron treinta y tres hombres jóvenes estudiantes del Grado en Ciencias la Actividad Física y del Deporte. Los participantes tenían una edad, altura y peso de (media \pm dt): 23.7 ± 2.5 años, 1.76 ± 0.08 m, y 72.5 ± 11.4 kg. Todos los participantes tenían al menos 6 meses de experiencia previa en entrenamiento de fuerza y todos estaban familiarizados con la técnica del ejercicio de sentadilla completa. Los requisitos que tenían que cumplir para formar parte del presente estudio han sido descritos en la metodología del estudio I.

Una vez seleccionados los participantes y tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todos ellos dieron su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado que se adjunta en el ANEXO I, antes de tomar parte en el estudio.

6.4.3. Diseño del Estudio

En este estudio se ha utilizado un diseño experimental para analizar los cambios producidos por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones 0 s (RC), 10 s (G10) y 20 s (G20) sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de la extremidades inferiores. En las dos semanas previas al comienzo de la investigación se realizaron 4 sesiones de familiarización que consistieron en 3 series de 6, 5, 4 y 3 repeticiones con el 60, 70, 75 y 80% de 1RM, respectivamente. Este estudio tuvo una duración de 10 semanas y estuvo compuesto de 18 sesiones (2 sesiones de evaluación y 16 sesiones de entrenamiento). Los test se realizaron los días lunes, martes o miércoles de la semana 1 y 10, y se organizaron en grupos de 3 participantes que venían al laboratorio en los siguientes horarios: 10:00 a 11:30; 11:30 a 13:00; 13:00 a 14:30 – 16:00

a 17:30; 17:30 a 19:00; 19:00 a 20:30. En las sesiones de evaluación se llevaron a cabo las siguientes evaluaciones: 1) test de velocidad en 20 m; 2) test de salto vertical sin cargas; 3) test incremental de salto vertical con cargas; 4) test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de sentadilla completa. Las sesiones de entrenamiento se realizaron lunes y miércoles o martes y jueves, siempre en la misma hora del día (± 1 hora) para evitar la influencia de variables extrañas. Todas las variables fueron equivalentes a los distintos grupos excepto el tiempo de recuperación entre repeticiones.

6.4.4. Variables Objeto de Estudio

6.4.4.1. Variable Independiente

- *Tiempo de recuperación entre repeticiones en segundos.* Tiempo de recuperación entre cada repetición en todas las sesiones de entrenamiento. Los tiempos de recuperación utilizados en este estudio fueron: 0 s, 10 s y 20 s.

6.4.4.2. Variable independiente controlada, común a todos los grupos.

- Intensidades relativas, series y repeticiones por serie y tiempo de recuperación entre series, que constituyeron el entrenamiento programado

6.4.4.3 Variables Dependientes

- *Tiempo en 10 m (T_{10}), en segundos.* Tiempo en recorrer una distancia de 10 m en el test de carrera en 20 m.
- *Tiempo en 20 m (T_{20}), en segundos.* Tiempo en recorrer una distancia de 20 m en el test de carrera en 20 m.
- *Tiempo de 10 a 20 m (T_{10-20}), en segundos.* Tiempo en recorrer una distancia de 10 a 20 m en el test de carrera.
- *Altura en el salto vertical (CMJ), en cm.* Promedio de los 3 saltos considerados para el análisis antes y después del programa de entrenamiento.
- *Velocidad máxima alcanzada en el CMJ con cargas (CMJ20 y CMJ30), en $m \cdot s^{-1}$.* Velocidad máxima alcanzada en el salto vertical con las cargas absolutas de 20 y 30 kg.
- *Cambios en la velocidad con las cargas de 30 (SQ30), 40 (SQ40), 50 (SQ50), 60 (SQ60) y 70 kg (SQ70), en $m \cdot s^{-1}$.* cambios en la velocidad media propulsiva ante las cargas indicadas en el test isoinercial de incremento de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa.

- *VMP con las cargas comunes (VMPCCC), en $m \cdot s^{-1}$* . Calculada como el promedio de la mejor VMP obtenida con las cargas absolutas comunes desplazadas en el test progresivo inicial y final en el ejercicio de sentadilla completa.
- *VMP ante cargas iguales o inferiores al $\sim 60\%$ 1RM (VMPCB), en $m \cdot s^{-1}$* . Calculada como el promedio de la mejor VMP obtenida con las cargas absolutas desplazadas en el test progresivo inicial a una VMP igual o superior a $1.00 m \cdot s^{-1}$ en el ejercicio de sentadilla completa.
- *VMP ante cargas superiores al $\sim 60\%$ 1RM (VMPCA), en $m \cdot s^{-1}$* . Calculada como el promedio de la mejor VMP obtenida con las cargas absolutas desplazadas en el test progresivo inicial a una VMP inferior a $1.00 m \cdot s^{-1}$ en el ejercicio de sentadilla completa.
- *1RM estimada (1RMest), en kg*. Estimación de la fuerza dinámica máxima (1RM) en el ejercicio de sentadilla completa.
- *1RM estimada dividida por el peso corporal (1RM/PC)*. Estimación de la fuerza dinámica máxima en el ejercicio de sentadilla completa dividida por el peso corporal de los participantes.

6.4.5. Control de Variables Extrañas

Este apartado ya ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

6.4.6. Análisis Antropométrico

Masa Corporal (kg). Este test ya ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

Talla (cm). Este test ya ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

6.4.7. Pruebas Físicas

- *Capacidad de aceleración*. Este test ha sido descrito previamente en el apartado metodología del Estudio I.
- *Test de salto vertical sin cargas*. Este test ha sido descrito previamente en el apartado metodología del Estudio I.
- *Test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de salto vertical con cargas*. Para la realización del salto vertical con cargas, los participantes comenzaron en posición de bipedestación con las rodillas y cadera completamente extendidas, los pies separados a la anchura de las caderas y la barra descansando sobre la espalda a nivel del acromion. Cada participante descendía en un

movimiento continuo hasta el grado de profundidad que los propios participantes seleccionaron, en ese momento comenzaba la fase concéntrica, la cual se realizaba a la máxima velocidad posible hasta llegar al despegue. La evaluación consistió en un test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de salto vertical con cargas que se realizó en una maquina tipo Smith (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España). El calentamiento consistió en 5 min de carrera suave y 5 min de ejercicios de movilidad articular, seguido de una serie de 5 saltos verticales sin carga y 2 repeticiones de salto vertical con la carga de 10 kg. La carga inicial del test se fijó en 20 kg para todos los participantes y se aumentó gradualmente en 10 kg. Los participantes realizaron 2 repeticiones con cada carga con 2 minutos de recuperación entre repeticiones. Sólo la mejor repetición con cada carga, determinada por la velocidad máxima, fue considerada para el análisis posterior. El tiempo de recuperación entre cada carga se fijó en dos minutos. El test finalizaba cuando la carga se desplazaba a una velocidad máxima de $\sim 2.40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Para el análisis posterior se consideró la siguiente variable: Velocidad máxima alcanzada ante cada carga del test inicial y final. Esta variable se midió con un sistema de medición lineal (Sistema T-Force, Ergotech, Murcia, España), y fue seleccionada porque es muy difícilmente manipulable por los participantes y presenta una relación muy alta con la velocidad del despegue (Jímenez-Reyes, Pareja-Blanco, Rodríguez-Rosell, Marques, & González-Badillo, 2016).



Figura 12. Ejecución del salto con cargas (de izquierdas a derecha posición inicial, intermedia y final).

- *Test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de sentadilla completa.*
Este test ha sido descrito previamente en el apartado de metodología del Estudio I.

6.4.8. Instrumental de Evaluación

6.4.8.1. Máquina tipo Smith

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

6.4.8.2. Transductor Lineal de Velocidad

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

6.4.8.3 Plataforma de Salto

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

6.4.8.4 Células Fotoeléctricas

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

6.4.9. Programa de entrenamiento de fuerza

El programa de entrenamiento tuvo una duración de 10 semanas. En las semanas 1 y 10 se realizaron los tests inicial y final, en los días lunes martes o miércoles. Desde la semana 2 a las 9 se realizaron las 16 sesiones de entrenamiento de fuerza, (dos sesiones por semana) en los días lunes y miércoles o martes y jueves. El único ejercicio realizado como entrenamiento fue la sentadilla completa. Tanto los tests como las sesiones de entrenamiento fueron realizados en una máquina tipo Smith, y todas las repeticiones realizadas por los participantes durante el entrenamiento fueron medidas usando el medidor lineal de velocidad T-Force System. El tiempo de recuperación entre series, el número de series y repeticiones por series y la intensidad relativa fueron equivalentes para los tres grupos. La velocidad de ejecución fue la máxima en todas las repeticiones para los tres grupos experimentales. El tiempo de recuperación entre repeticiones (0 s vs. 10 s

vs. 20) fue la única variable diferente para los tres grupos. El calentamiento consistió en 5 minutos de carrera continua a un ritmo suave seleccionado por los participantes, seguido de 2 aceleraciones de 30 metros y el calentamiento en el ejercicio de sentadilla completa programado para cada grupo. En la **Tabla 7** se muestran las características descriptivas del entrenamiento programado y realizado para los grupos RC, G10 y G20.

Tabla 7. Características descriptivas de los programas de entrenamiento de fuerza realizados en cada sesión para el RC, G10 y G20.

<i>Programado</i>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
Series x Rep (%)									
RC	3 x 6	3 x 6	3 x 6	3 x 6	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 4
G10	3 x 6	3 x 6	3 x 6	3 x 6	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 4
G20	3 x 6	3 x 6	3 x 6	3 x 6	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 5	3 x 4
VMP objetivo (m·s⁻¹)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.82 (~70% 1RM)	0.82 (~70% 1RM)	0.82 (~70% 1RM)	0.82 (~70% 1RM)	0.75 (~75% 1RM)
Realizado									
VMP promedio (m·s⁻¹)									
RC	0.99 ± 0.03 (~59.4% 1RM)	0.99 ± 0.02 (~59.4% 1RM)	0.98 ± 0.03 (~60.1% 1RM)	0.96 ± 0.06 (~61.4% 1RM)	0.81 ± 0.03 (~71.2% 1RM)	0.81 ± 0.03 (~71.2% 1RM)	0.81 ± 0.04 (~71.2% 1RM)	0.82 ± 0.02 (~70.6% 1RM)	0.75 ± 0.2 (~75.1% 1RM)
G10	0.99 ± 0.02 (~59.4% 1RM)	0.98 ± 0.03 (~60.1% 1RM)	0.98 ± 0.02 (~60.1% 1RM)	0.98 ± 0.01 (~60.1% 1RM)	0.82 ± 0.02 (~70.6% 1RM)	0.85 ± 0.02 (~68.6% 1RM)	0.82 ± 0.02 (~70.6% 1RM)	0.80 ± 0.03 (~71.9% 1RM)	0.74 ± 0.02 (~75.8% 1RM)
G20	0.99 ± 0.03 (~59.4% 1RM)	0.99 ± 0.03 (~59.4% 1RM)	0.99 ± 0.01 (~59.4% 1RM)	0.99 ± 0.03 (~59.4% 1RM)	0.82 ± 0.03 (~70.6% 1RM)	0.83 ± 0.02 (~69.9% 1RM)	0.83 ± 0.02 (~69.9% 1RM)	0.83 ± 0.01 (~69.9% 1RM)	0.74 ± 0.01 (~75.8% 1RM)

RC = grupo que realizó el entrenamiento sin descanso entre repeticiones; G10 = grupo que realizó el entrenamiento con 10 segundos de descanso entre repeticiones; G20 = grupo que realizó el entrenamiento con 20 segundos entre repeticiones; VMP = velocidad media propulsiva; Rep = repeticiones.

<i>Programado</i>	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	
Series x Rep (%)								
RC	3 x 4	3 x 4	3 x 4	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	
G10	3 x 4	3 x 4	3 x 4	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	
G20	3 x 4	3 x 4	3 x 4	3 x 3	3 x 3	3 x 3	3 x 3	
VMP objetivo (m·s⁻¹)	0.75	0.75	0.75	0.68	0.68	0.68	0.68	
	(~75% 1RM)	(~75% 1RM)	(~75% 1RM)	(~80% 1RM)	(~80% 1RM)	(~80% 1RM)	(~80% 1RM)	
Realizado								Total
VMP promedio (m·s⁻¹)								
RC	0.74 ± 0.02	0.75 ± 0.02	0.75 ± 0.01	0.69 ± 0.03	0.68 ± 0.01	0.67 ± 0.03	0.68 ± 0.03	0.81 ± 0.11
	(~75.8% 1RM)	(~75.1% 1RM)	(~75.1% 1RM)	(~79.0% 1RM)	(~79.6% 1RM)	(~80.3% 1RM)	(~79.6% 1RM)	(~71.2% 1RM)
G10	0.74 ± 0.01	0.74 ± 0.04	0.74 ± 0.03	0.68 ± 0.02	0.67 ± 0.02	0.67 ± 0.00	0.67 ± 0.01	0.80 ± 0.12
	(~75.8% 1RM)	(~75.8% 1RM)	(~75.8% 1RM)	(~79.6% 1RM)	(~80.3% 1RM)	(~80.3% 1RM)	(~80.3% 1RM)	(~71.9% 1RM)
G20	0.75 ± 0.02	0.76 ± 0.02	0.75 ± 0.01	0.68 ± 0.02	0.68 ± 0.02	0.68 ± 0.01	0.69 ± 0.01	0.81 ± 0.12
	(~75.1% 1RM)	(~74.5% 1RM)	(~75.1% 1RM)	(~79.6% 1RM)	(~79.6% 1RM)	(~79.6% 1RM)	(~79.0% 1RM)	(~71.2% 1RM)

6.4.10. Análisis Estadístico

Los datos se muestran como media y desviación típica (dt). La fiabilidad se evaluó a través del coeficiente de correlación intra-clase y el coeficiente de variación. Se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov para examinar si los datos se distribuían según la curva normal, y el test de Levene para comprobar la homogeneidad de la varianza entre todos los grupos (RC vs. G10 vs. G20). Se realizó la prueba ANOVA de un factor a los datos del test inicial para analizar si existían diferencias significativas entre los grupos. Se aplicó la prueba ANOVA de medidas repetidas 3 (grupos: RC, G10, G20) \times 2 (Test: Test Inicial, Test Final) con ajuste de Bonferroni. El tamaño del efecto se calculó a través de la *g* de Hedge's (Hedges LV, 1985). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para comprobar la relación entre los cambios de las diferentes variables. Además de estas pruebas de hipótesis nula, se analizaron también las diferencias prácticas usando una aproximación basada en la magnitud de los cambios. Para estimar la magnitud del efecto producido por cada protocolo de entrenamiento sobre las variables estudiadas se calculó el tamaño del efecto y el 90% de intervalo de confianza (TE, 90% IC) usando la *g* de Hedges (Hedges LV, 1985). Las probabilidades fueron calculadas para establecer si las diferencias verdaderas fueron menores, iguales o superiores al mínimo cambio apreciable (0.2 x la desviación típica entre sujetos) (Batterham & Hopkins, 2006). La probabilidad cuantitativa de que las diferencias para un grupo sean menores o mayores fueron evaluadas cualitativamente como sigue: 1%, casi incierto; 1-5%, muy improbable; 5-25%, improbable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99% muy probable; y >99%, casi cierto. Si los cambios considerados como beneficioso-mejor y perjudicial-peor para un grupo fueron >5% se denominó como no claro. El grado de transferencia se calculó a través de la relación entre la ganancia en el ejercicio no entrenado y la ganancia en el ejercicio entrenado. La ganancia se calculó como el número de desviaciones típicas comprendidas en las diferencias de media pre – pos tratamiento (Zatsiorsky & Kraemer, 1995). La significatividad estadística se estableció en $P \leq 0.05$. Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico SPSS versión 22.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos).

6.5. RESULTADOS

No se observaron diferencias significativas entre los grupos para ninguna variable analizada en el test inicial. Los sujetos del RC, G10 y G20 completaron el $96.1 \pm 3.3\%$, $97.0 \pm 3.4\%$ y el $96.5 \pm 3.0\%$ de las sesiones programadas, respectivamente. En la **Tabla 7** se muestra el entrenamiento real realizado por cada grupo experimental.

6.5.1. Salto vertical y sprint. No se observaron interacciones significativas grupo x tiempo para ninguna variable medida. El RC presentó mejoras significativas en T₁₀₋₂₀ ($P < 0,05$) y CMJ ($P < 0,01$), mientras G10 y G20 solo presentaron incrementos significativos en CMJ ($P < 0.001$) (**Tabla 8**). Además, el análisis de las diferencias estandarizadas intra grupo resultó en un efecto *posiblemente* mejor en T₁₀₋₂₀ para el RC mientras que presentó un efecto *posiblemente* negativo para el G10 y un efecto *probablemente* trivial para el G20. El tamaño del efecto intra grupo fue muy similar para todos los grupos en las diferentes variables analizadas. Aunque no se observaron diferencias significativas entre grupos en ninguna variable analizada, el análisis de las diferencias estandarizadas entre grupos mostró un efecto *posiblemente* más favorable para el RC comparado con el G20 en T₁₀₋₂₀ y un efecto *posiblemente* mejor para G20 en T₁₀ y T₂₀ comparado con G10.

6.5.2. Evaluaciones Isoinerciales de Fuerza. El G10 presentó una interacción significativa ($P < 0.05$) en 1RM/PC comparado con el G20. El RC obtuvo mejoras significativas ($P < 0.01$) en todas las variables analizadas, mientras que G10 y G20 presentaron incrementos significativos en todas las variables excepto en CMJ20 y CMJ30 para G10 y CMJ20 para G20. El G10 obtuvo mayores TE intra grupo que el CR y el G20 en todas las variables de fuerza, excepto en CMJ20 y CMJ40 (**Tabla 8**). Cuando se analizaron las diferencias prácticas se observaron efectos positivos *probables* o *muy probables* en todas las variables y grupos, excepto en CMJ20 para el G10. Aunque no se encontraron diferencias significativas entre grupos para ninguna variable analizada, el CR y el G10 presentaron un efecto *posiblemente* y *probablemente* mejor que G20 en 1RMest y 1RM/PC, respectivamente (**Figura 14 y Figura 15**).

6.5.3 Relación entre las variables de fuerza y el salto vertical. Cuando los datos de todos los grupos se unieron, se observó una correlación significativa positiva entre los cambios en 1RMest y los cambios en CMJ ($r = 0.529$; $P < 0.01$) y CMJ30 ($r = 0.503$; $P < 0.05$).

Tabla 8. Cambios en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular del pre al post para cada grupo (media \pm dt).

	RC (n = 10)				G10 (n = 10)				G20 (n = 10)			
	Pre	Post	Δ (%)	TE (95% IC)	Pre	Post	Δ (%)	TE (95% IC)	Pre	Post	Δ (%)	TE (95% IC)
T₁₀ (s)	1.77 \pm 0.10	1.77 \pm 0.10	0.0	0.00 (-0.49 to 0.49)	1.74 \pm 0.06	1.74 \pm 0.07	0.0	0.00 (-0.38 to 0.38)	1.79 \pm 0.08	1.77 \pm 0.08	-1.1	-0.25 (-0.59 to 0.09)
T₂₀ (s)	3.09 \pm 0.15	3.07 \pm 0.18	-0.7	-0.11 (-0.46 to 0.23)	3.04 \pm 0.10	3.02 \pm 0.13	-0.7	-0.16 (-0.40 to 0.07)	3.10 \pm 0.14	3.07 \pm 0.13	-1.0	-0.22 (-0.43 to -0.01)
T₁₀₋₂₀ (s)	1.31 \pm 0.07	1.29 \pm 0.08 *	-1.5	-0.25 (-0.54 to 0.04)	1.28 \pm 0.05	1.27 \pm 0.07	-0.8	-0.16 (-0.41 to 0.18)	1.31 \pm 0.06	1.30 \pm 0.07	-0.8	-0.15 (-0.34 to 0.03)
CMJ (cm)	37.9 \pm 5.2	41.3 \pm 6.7 ***	9.0	0.54 (0.12 to 0.96)	38.4 \pm 4.0	41.2 \pm 5.2 **	7.3	0.60 (0.24 to 0.97)	37.0 \pm 6.4	40.0 \pm 6.4 ***	8.1	0.47 (0.20 to 0.74)
CMJ20 (m/s)	2.65 \pm 0.21	2.80 \pm 0.21 **	5.7	0.68 (0.11 to 1.25)	2.68 \pm 0.15	2.70 \pm 0.18	0.7	0.12 (-0.44 to 0.68)	2.63 \pm 0.30	2.71 \pm 0.25	3.0	0.29 (-0.03 to 0.61)
CMJ30 (m/s)	2.46 \pm 0.15	2.67 \pm 0.17 **	8.5	1.25 (0.34 to 2.16)	2.45 \pm 0.16	2.50 \pm 0.17	2.0	0.30 (-0.14 to 0.75)	2.44 \pm 0.24	2.55 \pm 0.12 *	4.5	0.58 (0.03 to 1.13)
VMPCB (m/s)	0.98 \pm 0.10	1.20 \pm 0.07 ***	22.5	2.43 (0.84 to 4.02)	0.97 \pm 0.05	1.18 \pm 0.07 ***	21.6	3.45 (1.60 to 5.30)	0.97 \pm 0.10	1.13 \pm 0.12 ***	16.5	1.45 (0.57 to 2.33)
VMPCA (m/s)	1.24 \pm 0.09	1.32 \pm 0.08 **	6.5	0.89 (0.34 to 1.44)	1.25 \pm 0.05	1.28 \pm 0.06	2.4	0.54 (-0.12 to 1.21)	1.26 \pm 0.09	1.30 \pm 0.09 *	3.2	0.44 (-0.20 to 1.09)
1RM_{est} (kg)	85.6 \pm 16.2	102.9 \pm 14.0 ***	20.2	1.09 (0.40 to 1.77)	82.9 \pm 12.4	104.5 \pm 9.7 ***	26.1	1.94 (0.88 to 3.00)	89.8 \pm 14.4	102.1 \pm 14.2 ***	13.7	0.86 (0.36 to 1.36)
1RM/PC †	1.15 \pm 0.25	1.36 \pm 0.25 ***	18.3	0.80 (0.29 to 1.31)	1.24 \pm 0.21	1.55 \pm 0.24 ***	25.0	1.37 (0.61 to 2.13)	1.25 \pm 0.22	1.40 \pm 0.20 ***	12.0	0.71 (0.29 to 1.14)

RC = grupo que realizó las repeticiones de manera continua; G10 = grupo que realizó las repeticiones con 10 segundos de descanso entre repeticiones; G20 = grupo que realizó las repeticiones con 20 segundos de descanso entre repeticiones; Pre = test inicial; Post = test final; Δ = porcentaje de cambio del pre al post; TE = tamaño del efecto intra grupo; IC = intervalo de confianza; T₁₀ = tiempo en recorrer 10 metros a sprint; T₂₀ = tiempo en recorrer 20 metros a sprint; T₁₀₋₂₀ = tiempo en recorrer la distancia entre 10 y 20 metros a sprint; CMJ = salto con contra movimiento; CMJ20 = salto con contra movimiento con una carga absoluta de 20 kg; CMJ30 = salto con contra movimiento con una carga absoluta de 30 kg; VMPCB = velocidad media de las cargas comunes al pre y al post; VMPCA = velocidad media con las cargas comunes mayores o iguales a la carga de 1 m·s⁻¹; VMPCB = velocidad media con las cargas comunes mayores o iguales a la carga de 1 m·s⁻¹; 1RM_{est} = repetición máxima estimada a través de la velocidad; 1RM/BM = repetición máxima dividido por el peso corporal. Diferencias significativas intra grupo: *P < 0.05. ** P < 0.01. *** P < 0.001; Interacción significativa grupo x tiempo: † P < 0.05.

Tabla 9. Probabilidades de cambio intra-grupos en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular.

	RC				G10				G20			
	Pre	Post	Probabilidad de que los cambios sean mejores / triviales / peores.		Pre	Post	Probabilidad de que los cambios sean mejores / triviales / peores.		Pre	Post	Probabilidad de que los cambios sean mejores / triviales / peores.	
T₁₀ (s)	1.77 ± 0.10	1.77 ± 0.10	18/61/20	No claro	1.74 ± 0.06	1.74 ± 0.07	17/70/13	No claro	1.79 ± 0.08	1.77 ± 0.08	58/41/1	Posiblemente
T₂₀ (s)	3.09 ± 0.15	3.07 ± 0.18	33/62/5	No claro	3.04 ± 0.10	3.02 ± 0.13	26/71/3	Posiblemente	3.10 ± 0.14	3.07 ± 0.13	39/61/0	Posiblemente
T₁₀₋₂₀ (s)	1.31 ± 0.07	1.29 ± 0.08	59/41/0	Posiblemente	1.28 ± 0.05	1.27 ± 0.07	54/43/3	Posiblemente	1.31 ± 0.06	1.30 ± 0.07	12/88/0	Probablemente trivial
CMJ (cm)	37.9 ± 5.2	41.3 ± 6.7	89/11/0	Probablemente	38.4 ± 4.0	41.2 ± 5.2	99/1/0	Muy probable	37.0 ± 6.4	40.0 ± 6.4	98/2/0	Muy probable
CMJ20 (m/s)	2.65 ± 0.21	2.80 ± 0.21	96/4/0	Muy probable	2.68 ± 0.15	2.70 ± 0.18	40/46/15	No claro	2.63 ± 0.30	2.71 ± 0.25	64/36/0	posiblemente
CMJ30 (m/s)	2.46 ± 0.15	2.67 ± 0.17	99/1/0	Muy probable	2.45 ± 0.16	2.50 ± 0.17	61/37/2	Posiblemente	2.44 ± 0.24	2.55 ± 0.12	80/19/1	Probablemente
VMPC (m/s)	0.98 ± 0.10	1.20 ± 0.07	100/0/0	Lo más probable	0.97 ± 0.05	1.18 ± 0.07	100/0/0	Lo más probable	0.97 ± 0.10	1.13 ± 0.12	100/0/0	Lo más probable
VMPCB (m/s)	1.24 ± 0.09	1.32 ± 0.08	100/0/0	Lo más probable	1.25 ± 0.05	1.28 ± 0.06	100/0/0	Lo más probable	1.26 ± 0.09	1.30 ± 0.09	99/1/0	Muy probable
VMPCA (m/s)	0.70 ± 0.05	0.85 ± 0.06	97/1/1	Muy probable	0.72 ± 0.07	0.86 ± 0.05	100/0/0	Lo más probable	0.73 ± 0.04	0.82 ± 0.05	97/2/1	Muy probable
1RMest (kg)	85.6 ± 16.2	102.9 ± 14.0	99/1/0	Muy probable	82.9 ± 12.4	104.5 ± 9.7	100/0/0	Lo más probable	89.8 ± 14.4	102.1 ± 14.2	100/0/0	Lo más probable
1RM/PC	1.15 ± 0.25	1.36 ± 0.25	99/170	Muy probable	1.24 ± 0.21	1.55 ± 0.24	100/0/0	Lo más probable	1.25 ± 0.22	1.40 ± 0.20	100/0/0	Lo más probable

RC = grupo que realizó las repeticiones de manera continua; G10 = grupo que realizó las repeticiones con 10 segundos de descanso entre repeticiones; G20 = grupo que realizó las repeticiones con 20 segundos de descanso entre repeticiones; Pre = test inicial; Post = test final; Δ = porcentaje de cambio del pre al post; TE = tamaño del efecto intra grupo; IC = intervalo de confianza; T₁₀ = tiempo en recorrer 10 metros a sprint; T₂₀ = tiempo en recorrer 20 metros a sprint; T₁₀₋₂₀ = tiempo en recorrer la distancia entre 10 y 20 metros a sprint; CMJ = salto con contra movimiento; CMJ20 = salto con contra movimiento con una carga absoluta de 20 kg; CMJ30 = salto con contra movimiento con una carga absoluta de 30 kg; VMPC = velocidad media de las cargas comunes al pre y al post; VMPCB = velocidad media con las cargas comunes mayores o iguales a la carga de 1 m·s⁻¹; VMPCA = velocidad media con las cargas comunes mayores o iguales a la carga de 1 m·s⁻¹; 1RMest = repetición máxima estimada a través de la velocidad; 1RM/PC = repetición máxima dividido por el peso corporal.

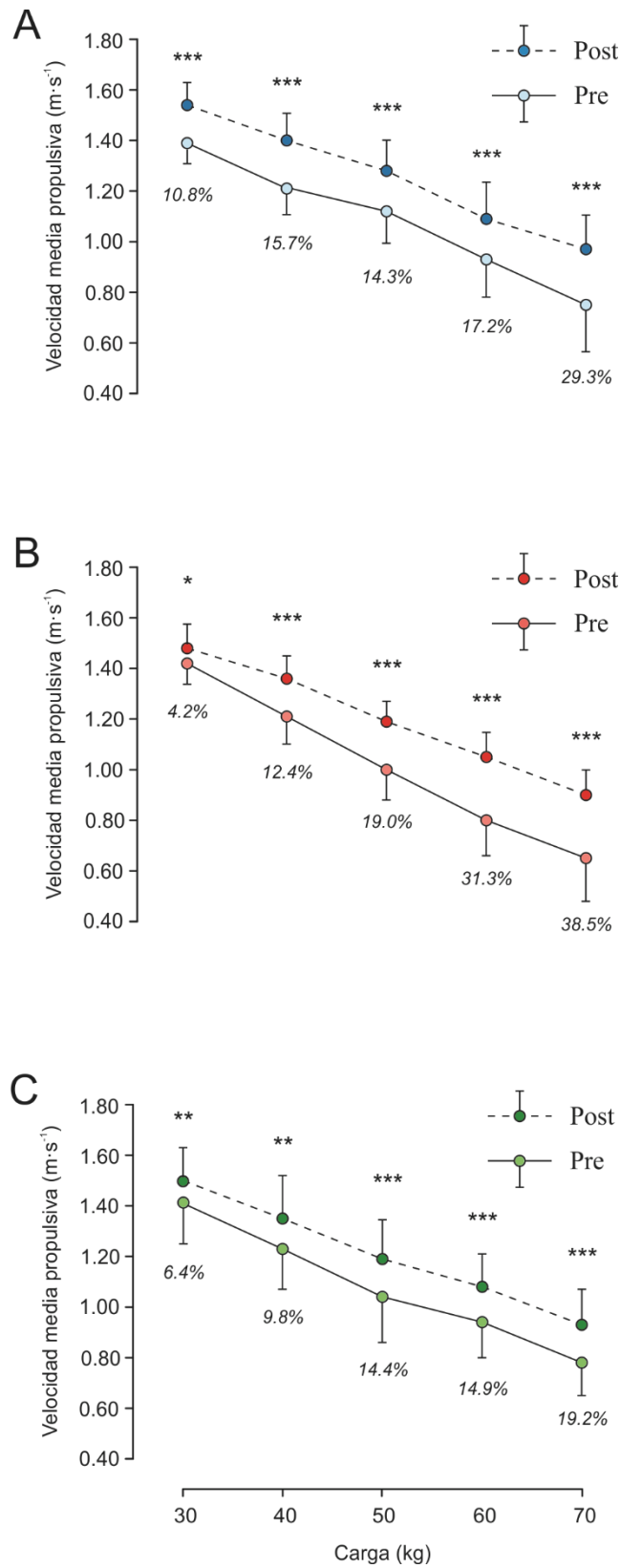


Figura 13. Curva carga-velocidad obtenida para los grupos RC (A), G10 (B) y G20 (C) antes y después del periodo de entrenamiento. Las barras de error representan las dt. Diferencias estadísticamente significativas intra grupo: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

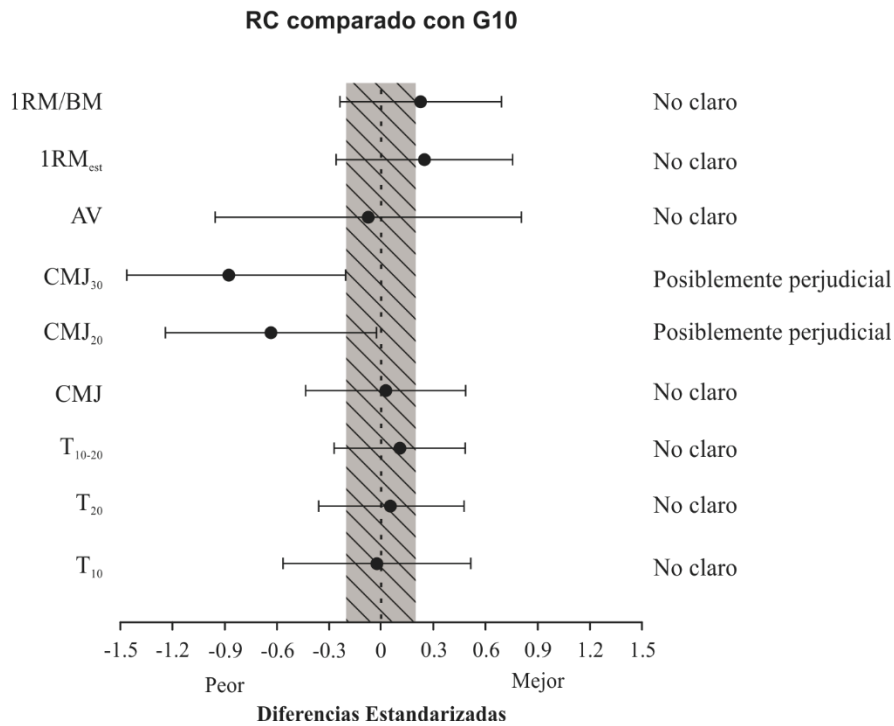


Figura 14. Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el RC y G10 en las variables tiempo en 10 metros (T₁₀), tiempo en 20 metros (T₂₀), tiempo de 10 a 20 metros (T₁₀₋₂₀), salto con contra movimiento (CMJ), velocidad lograda en el salto con 20 kg (CMJ₂₀), velocidad lograda en el salto en 30 g CMJ₃₀), repetición máxima (1RM) y repetición máxima partida por el peso corporal (1RM/PC).

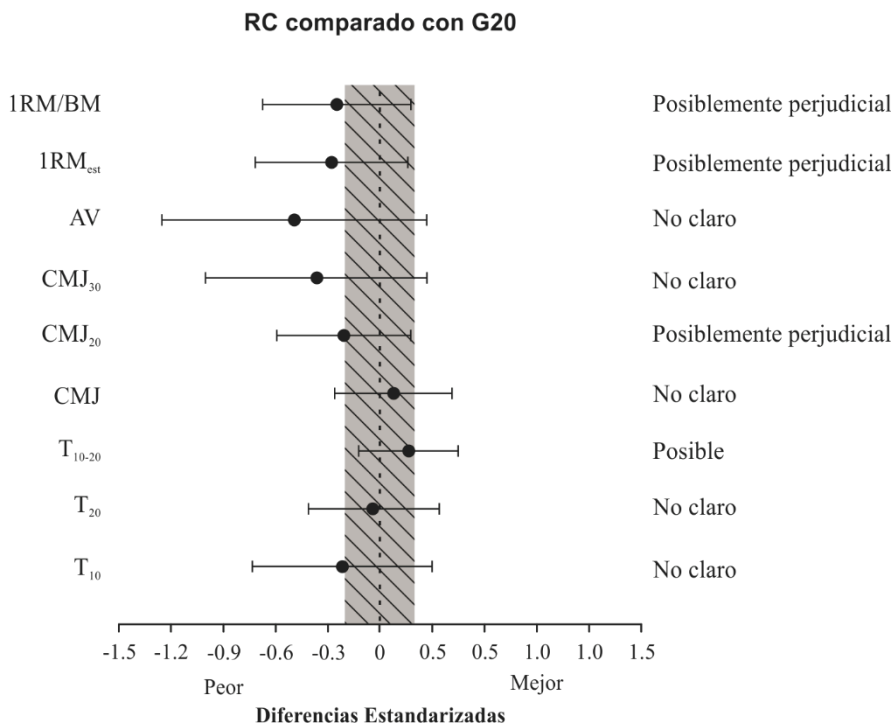


Figura 15 Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el RC y G20 en las variables tiempo en 10 metros (T₁₀), tiempo en 20 metros (T₂₀), tiempo de 10 a 20 metros (T₁₀₋₂₀), salto con contra movimiento (CMJ), velocidad lograda en el salto con

20 kg (CMJ20), velocidad lograda en el salto con 30 g CMJ30), repetición máxima (1RM) y repetición máxima partida por el peso corporal (1RM/PC).

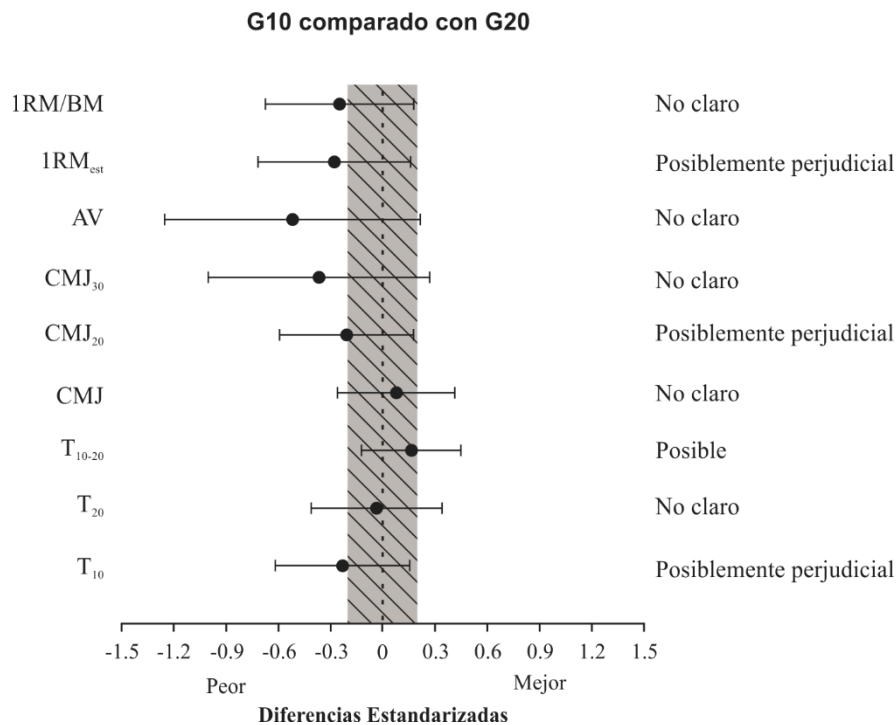


Figura 16. Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el G10 y G20 en las variables tiempo en 10 metros (T₁₀), tiempo en 20 metros (T₂₀), tiempo de 10 a 20 metros (T₁₀₋₂₀), salto con contra movimiento (CMJ), velocidad lograda en el salto con 20 kg (CMJ20), velocidad lograda en el salto con 30 g CMJ30), repetición máxima (1RM) y repetición máxima partida por el peso corporal (1RM/PC).

Tabla 10. Fiabilidad observada en los test realizados en el presente estudio.

	CCI	L. Inferior	L. Superior	CV
T₁₀	0,937	0,868	0,970	1,8
T₂₀	0,964	0,926	0,983	1,0
T₁₀₋₂₀	0,948	0,892	0,975	0,0
CMJ	0,996	0,993	0,998	1,4
CMJ20	0,940	0,876	0,972	3,0
CMJ30	0,957	0,908	0,980	2,3
CMJ40	0,770	0,380	0,916	2,7

CCI = Coeficiente de correlación intraclase; L. Inferior = Límite inferior del intervalo de confianza; L. Superior = Límite superior del intervalo de confianza; CV = coeficiente de variación; T₁₀ = Tiempo en recorrer 10 metros a la máxima velocidad posible; T₂₀ = Tiempo en recorrer 20 metros a la máxima velocidad posible; T₁₀₋₂₀ = Tiempo en recorrer la distancia de 10 a 20 metros a la máxima velocidad posible; CMJ = Salto con contra movimiento; CMJ20 = Salto con contra movimiento con una carga de 20 kg; CMJ30 = Salto con contra movimiento con una carga de 30 kg; CMJ40 = Salto con contra movimiento con una carga de 40 kg

6.6. DISCUSIÓN

El principal objetivo del presente estudio fue analizar los efectos producidos por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia en el entrenamiento de fuerza. En términos generales, los resultados del presente estudio sugieren que los tres grupos presentan mejoras significativas en todas las variables analizadas, siendo el G10 el grupo que presentó mayores porcentajes de cambio en la mayoría de las variables, aunque estos cambios no fueron significativamente superiores a los mostrados por los otros dos grupos. Por tanto, nuestros resultados parecen indicar que el entrenamiento de fuerza añadiendo un tiempo de recuperación entre repeticiones de 10 o 20 segundos es un método igual de efectivo, sin claras diferencias entre ellos, que el entrenamiento de fuerza tradicional para mejorar el rendimiento físico.

Con respecto a los cambios en las variables relacionadas con la fuerza muscular medidas a través del test incremental en sentadilla completa y el test de salto vertical con cargas, el grupo RC obtuvo mejoras significativas ($P < 0.01$) en todas las variables analizadas, mientras que los grupos G10 y G20 presentaron incrementos significativos en todas las variables, excepto en CMJ20 y CMJ30 para G10 y CMJ20 para G20. No se observaron diferencias significativas entre los tres grupos en ninguna de las variables estudiadas, aunque hubo una tendencia a que el grupo RC presentará mayores porcentajes de cambio y tamaños del efecto que los otros dos grupos experimentales, excepto en la variable 1RMest donde el grupo G10 mostró una mayor magnitud de cambio en comparación con RC y G20. En relación con los cambios observados en las variables 1RMest, VMPC y VMPCA, nuestros resultados coinciden con los presentados en una reciente tesis doctoral (Estudio III, Tesis Doctoral David Rodríguez) en la que se analizó la relación entre la pérdida de velocidad obtenida dentro de la serie (10, 20, 30 y 45%) y el porcentaje de cambio en el rendimiento de diferentes variables relacionadas con la fuerza muscular después de un periodo de entrenamiento de fuerza con intensidades relativas comprendidas entre 70–85% de 1RM. En dicha Tesis se observó que realizar repeticiones hasta alcanzar una pérdida de velocidad en la serie del 10–20% (lo cual coincide con la pérdida media observada para el grupo G10 [~14%] del presente estudio) produjo mayores incrementos en la 1RM que entrenar alcanzando un 30 o 45% de pérdida de velocidad en la serie (lo cual coincide con la pérdida media observada para el grupo RC

[~27%] del presente estudio). Sin embargo, al igual que en este estudio, los porcentajes de cambio para las variables VMPC y VMPCA fueron similares e incluso ligeramente superiores para el grupo que alcanzó una pérdida de velocidad del 30% (similar a RC) comparado con los grupos que perdieron un 10 y un 20% de velocidad en la serie (similar a G10 y G20). Por tanto, parece que los cambios en la fuerza muscular producidos después de un periodo de entrenamiento de fuerza podrían estar determinados por la pérdida de velocidad alcanzada dentro de cada serie, independientemente de cómo se configure dicho entrenamiento de fuerza.

Por otra parte, para nuestro conocimiento, solo existen cuatro estudios (Byrd, et al., 1988; K. T. Hansen, Cronin, Pickering, et al., 2011; T. Lawton, et al., 2004; Oliver, et al., 2013) en la literatura científica en los que se han analizado los efectos producidos por programas del entrenamiento de fuerza tipo clúster (añadiendo un tiempo de recuperación entre repeticiones) comparados con programas de entrenamiento de fuerza tradicionales (sin descanso entre repeticiones). En el estudio realizado por Hansen et al. (2011) se observó, en línea con nuestros resultados, que ambos grupos (entrenamiento tradicional vs. entrenamiento con descanso entre repeticiones) mejoraron significativamente la fuerza máxima medida a través de 1RM. Sin embargo, a diferencia de nuestro estudio, el grupo que entrenó de manera tradicional mejoró la 1RM en mayor medida (18% vs 14%) que el grupo que entreno con descanso entre repeticiones. En la misma línea, en el estudio realizado por Lawton et al. (2004), ambos grupos mejoraron en el test de 6RM de manera significativa, sin embargo, el grupo que realizaba las repeticiones de manera continua mejoro su 6RM en mayor medida que el grupo que entrenaba siguiendo un método tipo clúster (9.6 % vs. 4.9%). Estos resultados, contrarios a los observados en nuestro estudio, podrían venir explicados por la población utilizada en los estudios mencionados. Mientras que en nuestro estudio los participantes fueron hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, en los estudios de Lawton et al. (2004) y Hansen et al. (2011) los participantes fueron jugadores profesionales de rugby, fútbol y baloncesto con altos niveles de fuerza. Por tanto, aunque parece claro que el entrenamiento de fuerza con un descanso entre repeticiones de 10 o 20 segundos produce mejoras en la fuerza máxima muy similares a las inducidas por programas de entrenamiento de fuerza tradicionales, podría ser que para jugadores profesionales altamente entrenados, el entrenamiento de fuerza con una configuración tradicional produzca mayores mejoras en la fuerza máxima. Esto podría deberse a que, probablemente, los sujetos más entrenados en fuerza necesiten

un grado de estímulo mayor (menos tiempo o ningún tiempo de recuperación entre repeticiones para un mismo número de repeticiones por serie) (Ford et al., 2011; Rodriguez-Rosell, Franco-Marquez, Mora-Custodio, & Gonzalez-Badillo, 2016). Además del nivel de fuerza inicial de los participantes, existen otras razones relacionadas con el protocolo de entrenamiento de fuerza llevado a cabo que podrían explicar las diferencias entre los resultados observados en nuestro estudio y los mostrados en los estudios antes mencionados (K. T. Hansen, Cronin, Pickering, et al., 2011; T. Lawton, et al., 2004). Así, en estos estudios, el grupo que siguió un entrenamiento de fuerza tradicional realizó un mayor número de repeticiones por serie y tuvo un mayor tiempo de recuperación entre series (K. T. Hansen, Cronin, Pickering, et al., 2011; T. Lawton, et al., 2004). Estos factores han podido tener influencia sobre los resultados obtenidos ya que se ha descrito que los beneficios para la mejora de la fuerza parecen tener una relación directa con el tiempo de recuperación entre series, al menos hasta los 3-4 minutos de recuperación. En un estudio se encontró que entrenando 4 días por semana, durante 5 semanas y haciendo 5 series de 10 repeticiones, se obtuvieron mayores mejoras en la fuerza máxima en el ejercicio de sentadilla cuanto más se prolongaba el tiempo de recuperación entre series: 30 s (+2,4%), 90 s (+5,8%), 180 s (+7,6%). La misma tendencia se observó en el salto con contra movimiento: 30 s (0,0%), 90 s (+1,7%), 180 s (+3,9%). Por el contrario la falta de recuperación dentro de la serie parece favorecer la mejora de la fuerza dinámica máxima (Rooney, Herbert, & Balnave, 1994).

Con respecto a los cambios observados en la curva carga-velocidad, todos los grupos presentaron mejoras significativas en todas las cargas analizadas, y sin diferencias significativas entre ellos (**Figura 10**). Sin embargo, en los grupos RC y G10 se observó una tendencia a mayor mejora porcentual con las cargas altas (valores para RC vs. G10 vs. G20: 60 kg; 17,2 vs. 31,3 vs. 14,9; 70 kg; 29,3 vs. 38,5 vs. 19,2; **ver Figura 10**). Para nuestro conocimiento solo hemos encontrado dos estudios (K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J., 2011; T. Lawton, et al., 2004) en los que se han analizado los cambios en la potencia alcanzada en el press de banca lanzado y el salto vertical ante varias cargas absolutas. En el estudio de Lawton et al., (2004) el grupo que entrenó sin pausas entre las repeticiones realizó un entrenamiento de 4 series de 6 repeticiones con 260 segundos de descanso entre series, mientras que el grupo que entrenó aplicando un descanso entre repeticiones realizó 8 series de 3 repeticiones con 113 segundos de descanso. Ambos grupos entrenaron con cargas comprendidas entre el 80 y

el 105% de 6RM en el ejercicio de press de banca. Mientras que en el estudio de Hansen et al. (2011), en el que los participantes fueron 18 jugadores profesionales de rugby, el grupo que siguió un entrenamiento tipo clúster (0, 10, 20 o 30 s de recuperación entre repeticiones variando en cada sesión) hizo 5 series en todas las sesiones de entrenamiento con 1-6 repeticiones por serie. El tiempo de recuperación entre series fue variando a lo largo del ciclo de entrenamiento (120 y 130 s en las distintas sesiones), y las intensidades estuvieron comprendidas entre el 80 y el 95% de 1RM. El grupo que siguió un entrenamiento tradicional usó los mismos ejercicios (sentadilla y tirón de cargada), intensidades relativas y número de series, mientras que el tiempo de recuperación entre series (180 s) y el número de repeticiones por serie (3-8 repeticiones) fue diferente. De acuerdo con nuestros resultados, en estos estudios (K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J., 2011; T. Lawton, et al., 2004) no se observaron diferencias significativas en el porcentaje de cambio en la potencia máxima alcanzada ante distintas cargas absolutas. Por tanto, nuestros resultados y los resultados obtenidos en los estudios mostrados anteriormente sugieren que ambos métodos de entrenamiento (tradicional y tipo clúster) son igualmente efectivos para mejorar la velocidad, la fuerza y la potencia ante cada carga absoluta independientemente de la intensidad relativa usada, el tiempo de recuperación entre series y entre repeticiones.

Por otra parte, el RC presentó mejoras significativas en T_{10-20} ($P < 0.05$) y CMJ ($P < 0.01$), mientras que G10 y G20 solo presentaron incrementos significativos en CMJ ($P < 0.001$) (**Tabla 3**). Además, el análisis de las diferencias estandarizadas resultó en un efecto *posiblemente* mejor en T_{10-20} para el RC, mientras que presentó un efecto *posiblemente* negativo para el G10 y un efecto *probablemente trivial* para el G20 (**Figura 1**). El tamaño del efecto intra grupo fue muy similar para todos los grupos en las diferentes variables analizadas. Solo conocemos un estudio (K. T. Hansen, Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J., 2011) en el que se han analizado los efectos producidos por un programa de entrenamiento de fuerza tradicional y otro programa de entrenamiento de fuerza con descanso (10, 20 y 30 s) entre repeticiones sobre el rendimiento en el salto vertical. En este estudio se observó que tanto el grupo tradicional como el clúster obtuvieron mejoras significativas en el salto vertical. Sin embargo, el análisis de las diferencias estandarizadas resultó en un efecto *probablemente* más favorable para el grupo clúster comparado con el tradicional en la potencia desarrollada en el salto vertical, mientras que en nuestro estudio no hubo diferencias entre grupos. Estas discrepancias en los resultados

podrían venir explicadas por las diferencias en los programas de entrenamiento utilizados, ya que en nuestro estudio todas las variables fueron equivalentes, mientras que en el estudio de Hansen et al. (2011) hubo varias variables independientes, tales como el número de repeticiones por serie y el tiempo de recuperación entre series. El grupo que entrenó siguiendo un programa de entrenamiento tradicional realizó un número de repeticiones por serie comprendido entre 8 y 3 repeticiones, mientras que el grupo clúster entrenó realizando repeticiones entre 6 y 1, ambos ante las mismas intensidades relativas (80-95% de 1RM). En este sentido, el grupo que ha entrenado siguiendo un método tradicional ha realizado repeticiones por series muy cercanas al fallo muscular (Sakamoto & Sinclair, 2006; Shimano et al., 2006). Esto podría explicar el hecho de que el grupo clúster obtuviera un efecto *posiblemente* mejor, ya que en estudios previos los grupos que han entrenado realizando repeticiones por serie al fallo muscular o cerca del mismo no han obtenido mejoras significativas en el salto vertical (Pareja-Blanco et al., 2016; Ronnestad, Kvamme, Sunde, & Raastad, 2008). Por tanto, parece que cuando se compara un programa de entrenamiento de fuerza tradicional con uno tipo clúster siendo ambos equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones, ambas configuraciones del entrenamiento de fuerza producen efectos muy similares sobre el rendimiento físico.

Aunque no hubo diferencias significativas entre grupos, el hecho de que el grupo G10 presentara mayores porcentajes de cambio intra-grupo podría venir explicado por el grado de fatiga producido por cada programa de entrenamiento (RC, G10 y G20). En este sentido, el grupo RC presentó una pérdida de velocidad media durante todo el entrenamiento de ~27%, mientras que el grupo G10 mostró una pérdida de ~14% y el grupo G20 de ~11%. En un estudio previo (Pareja-Blanco, et al., 2016) se observó que el grupo que entrenó perdiendo el 20% de la velocidad inicial en cada serie obtuvo mayores mejoras que el grupo que entrenó perdiendo un 40-45% de velocidad en cada serie. En la misma línea, otros estudios realizados en nuestro laboratorio (Datos sin publicar) parecen indicar que, ante las mismas intensidades relativas, entrenar la sentadilla con pérdidas de velocidad dentro de la serie de entre el 10% y el 20% producen mejoras significativamente mayores que entrenar con pérdidas superiores. En base a estas consideraciones, los grupos G10 y G20 deberían haber obtenido mayores mejoras que el grupo RC en la mayoría de las variables analizadas, sin embargo, cabe la posibilidad de que añadir un tiempo de recuperación entre repeticiones de 10 o 20 segundos modifique

el grado de fatiga o el porcentaje de pérdida de velocidad más favorable para la mejora del rendimiento físico.

6.7. CONCLUSIONES.

Cuando se igualan las intensidades relativas, el volumen y el tiempo de recuperación entre series, los entrenamientos de fuerza sin descanso entre repeticiones o con descansos de 10 o 20 segundos no producen efectos claramente diferenciados sobre la RM estimada, las velocidades ante distintas cargas absolutas, el rendimiento en carreras cortas y en salto vertical en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

6.8. APLICACIONES PRÁCTICAS

Ante un mismo volumen, intensidades relativas y tiempos de recuperación entre series, no parece necesario aumentar la pausa de recuperación entre repeticiones hasta los 20 segundos para obtener los mejores efectos ante intensidades equivalentes a las aplicadas en este estudio. Estos resultados son de interés para investigadores, entrenadores o profesionales de la actividad física ya que una corta pausa de recuperación de 10 s entre repeticiones podría ofrecer resultados semejantes que el entrenamiento sin pausa entre repeticiones, lo cual podría ser útil para aplicarlo a personas mayores, deportistas que se recuperan de una lesión o atletas que se encuentren cerca de la competición y quieran bajar el grado de fatiga producido por el entrenamiento.

7. ESTUDIO IV

Efectos del entrenamiento de fuerza con cargas bajas, medias y altas, ante una pérdida de velocidad en la serie de 20%, sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las piernas en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

7. ESTUDIO IV

7.1. PROBLEMA

En la literatura científica existen una multitud de estudios que han analizado las diferencias entre entrenar con las cargas altas y cargas bajas (Drinkwater et al., 2007; McBride, Triplett-McBride, Davie, & Newton, 2002; Mora-Custodio, Rodriguez-Rosell, Pareja-Blanco, Yanez-Garcia, & Gonzalez-Badillo, 2016; Sayers & Gibson, 2010; Schindtbleicher D, 1981; Seynnes et al., 2004; Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993). Sin embargo, la mayoría de estos estudios lo han hecho a través de diferentes programas de entrenamiento de fuerza en los que había varias variables independientes tales como, número de repeticiones por serie (Jones, Bishop, Hunter, & Fleisig, 2001; Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997), número de series y repeticiones por series (Chesnut & Docherty, 1999; McBride, et al., 2002), número de series, repeticiones y tiempo de recuperación entre series (Campos et al., 2002). Esto no nos permite atribuir el efecto del programa del entrenamiento solo a la intensidad relativa usada, sino que debe atribuirse a la combinación de la intensidad relativa y las diferentes variables no controladas en el estudio. Solo conocemos tres estudios (Almasbakk & Hoff, 1996; Mora-Custodio, et al., 2016; Seynnes, et al., 2004) en los que se ha analizado el efecto de distintas intensidades del entrenamiento de fuerza controlando el volumen a través del número de repeticiones por serie y repeticiones totales. En el estudio de Almasbakk and Hoff (1996), el grupo de cargas altas mejoró en mayor medida que el grupo de cargas bajas, sin embargo, este hecho puede venir explicado porque la intensidad usada fue excesivamente baja (0.37 kg), mientras que el estudio de Seynnes et al, (2004) se llevó a cabo con personas mayores que no podían realizar, por si mismas, las actividades de la vida diaria. Por otra parte, en el estudio de Mora-Custodio et al, (2016), ambos grupos de entrenamiento de fuerza mejoraron significativamente y el grupo de cargas bajas presentó un efecto *posiblemente* mejor que el de cargas altas. Sin embargo, no conocemos estudios hasta la fecha en los que se haya analizado el efecto de diferentes intensidades con el mismo volumen medido a través de la pérdida de velocidad dentro de la serie. Por tanto, no existen en la literatura científica estudios que analicen de manera suficiente el efecto de la intensidad del entrenamiento. En base a estas consideraciones el principal problema de nuestro estudio es el siguiente:

¿Qué programa de entrenamiento de fuerza realizado con el ejercicio de sentadilla completa y caracterizado por diferentes rangos de intensidades relativas: 1) entre el 40 y el 55% de la RM (G40-55), 2) entre el 55 y el 70% de la RM (G55-70) y 3) entre el 70 y el 85% de la RM (G70-85), ante la misma pérdida de velocidad dentro de la serie, produce mayores mejoras sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza?

7.2. OBJETIVO

En base a estas consideraciones mencionadas con anterioridad el objetivo de nuestro estudio es el siguiente:

Analizar los efectos provocados por tres programas de entrenamiento equivalentes en todas sus variables excepto en la intensidad relativa (G40-55 vs. G55-70 vs. G70-85) sobre el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza

7.3. HIPOTESIS

Recientemente, con el entrenamiento de la sentadilla completa, se ha observado que ante un mismo rango de intensidades relativas (70-85% de la RM), los sujetos que perdían un menor porcentaje de velocidad en la serie: el 10% frente al 30% (Datos de laboratorio aún no publicados. Tesis Doctoral de David Rodríguez Rosell) y el 20% frente al 40% (Pareja-Blanco et al., 2016), tendían a ofrecer mejores resultados que la mayor pérdida en cada caso, especialmente en acciones realizadas a alta velocidad absoluta. Esta misma tendencia también se observó al comparar pérdidas semejantes con intensidades más bajas, del 50 al 75% de la RM (Datos de laboratorio aún no publicados. Tesis Doctoral de David Rodríguez Rosell), observándose que las pérdidas del 10 y el 30% de la RM tendían a ofrecer mejores resultados que una pérdida del 45%. Dado que en nuestro estudio se ha programado un porcentaje de pérdida común a todos los grupos del 20%, pérdida que ha mostrado ofrecer resultados positivos sobre el rendimiento en fuerza, sprint y salto desde intensidades del 50 al 85% de la RM, es probable que también en todas las intensidades programadas en nuestro estudio, desde el 40 al 85% de la RM, se produzcan mejoras significativas intra-grupos y sin diferencias entre los distintos rangos de intensidades relativas.

En base a las consideraciones mencionadas anteriormente, la hipótesis de nuestro estudio es la siguiente:

Ante una pérdida de velocidad en la serie del 20%, común a los tres rangos de intensidades programados (G40-55; G55-70 y G70-85% de 1RM), los cambios en el rendimiento en el sprint, el salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores son semejantes.

7.4. METODOLOGÍA

7.4.1. Tipo de Investigación

En función de las características de los datos, el estudio IV de la tesis doctoral es un estudio *cuantitativo*. Por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del estudio, nuestra investigación es fundamentalmente *experimental*. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es *inferencial*. Por último, la investigación es de carácter fundamentalmente *longitudinal*, ya que consideramos los cambios que se pueden dar en el tiempo como consecuencia del entrenamiento.

7.4.2. Muestra

En esta investigación participaron treinta y tres jóvenes sanos estudiantes del grado en ciencias la actividad física y el deporte. Los participantes tenían una edad, altura y peso de (media \pm dt): 19.7 ± 1.9 años, 1.83 ± 0.1 m, y 93.9 ± 0.1 kg. Todos los participantes tenían al menos 6 meses de experiencia previa en entrenamiento de fuerza y todos estaban familiarizados con la técnica del ejercicio de sentadilla completa. Los requisitos que tenían que cumplir para formar parte del presente estudio han sido descritos en la metodología del estudio I.

Una vez seleccionados los participantes y tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todos ellos dieron su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado que se adjunta en el ANEXO I, antes de tomar parte en el estudio.

7.4.3 Diseño del Estudio

En el presente estudio se utilizó un diseño experimental para analizar los efectos producidos por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en la intensidad relativa usada por cada grupo de entrenamiento de fuerza (G40-55, G55-70 y G70-85) sobre el rendimiento en sprint, el salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. En las dos semanas previas al comienzo del estudio se realizaron cuatro sesiones de familiarización que consistieron en 3 series de entrenamiento con una pérdida de velocidad dentro de la serie de $\sim 20\%$ y con las 4 cargas relativas usadas en cada grupo (G40-55, 40, 45, 50 y 55% de 1RM; G55-70, 55, 60, 65 y 70% de 1RM; G70-85, 70, 75, 80 y 85% de 1RM). Este estudio tuvo una duración de 10 semanas en las que se realizaron 17 sesiones (2 sesiones de tests y 15 sesiones de

entrenamiento). Las sesiones de evaluación se realizaron los días lunes, martes o miércoles en 6 turnos en los que los participantes venían en grupos de tres en los siguientes horarios: 10:00 a 11:30, 11:30 a 13:00, 13:00 a 14:30 – 16:00 a 17:30, 17:30 a 19:00, 19:00 a 20:30. En estas sesiones se realizaron los siguientes tests: 1) test de aceleración en 20 metros; 2) test de salto vertical sin cargas; 3) test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de salto vertical; y 4) test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de sentadilla completa. Las sesiones de entrenamiento se realizaron los días lunes y miércoles o martes y jueves en turnos de 3 participantes por hora. Tanto las sesiones de tests como las de entrenamiento se realizaron en la misma hora del día (± 1 hora) para evitar la influencia de variables extrañas.

7.4.4. Variables Objeto de Estudio

7.4.4.1. Variable Independiente

- *Intensidad relativa, en porcentaje de IRM.* Intensidad relativa usada por cada grupo de entrenamiento y ajustada a través de la relación entre la curva carga-velocidad que ha sido recientemente observada (Sánchez-Medina, García-Pallarés, Pérez, Fernandes, & González-Badillo, 2011).

7.4.4.2. Variables Dependientes

- *Tiempo en 10 m (T_{10}), en segundos.* Tiempo en recorrer una distancia de 10 m en el test de carrera en 20 m.
- *Tiempo en 20 m (T_{20}), en segundos.* Tiempo en recorrer una distancia de 20 m en el test de carrera en 20 m.
- *Tiempo de 10 a 20 m (T_{10-20}), en segundos.* Tiempo en recorrer una distancia de 10 a 20 m en el test de carrera.
- *Altura en el salto vertical (CMJ), en cm.* Promedio de los 3 saltos considerados para el análisis antes y después del programa de entrenamiento.
- *Velocidad máxima alcanzada en el CMJ con 20 kg (CMJ20), en $m \cdot s^{-1}$.* Velocidad máxima alcanzada en el salto vertical con una carga absoluta de 20 kg.
- *Velocidad máxima alcanzada en el CMJ con 30 kg (CMJ30), en $m \cdot s^{-1}$.* Velocidad máxima alcanzada en el salto vertical con una carga absoluta de 30 kg.
- *Cambios en la velocidad con las cargas de 30 (SQ30), 40 (SQ40), 50 (SQ50), 60 (SQ60) y 70 kg (SQ70), en $m \cdot s^{-1}$.* cambios en la velocidad media propulsiva ante

las cargas indicadas en el test isoinercial de incremento de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa.

- *VMP con las cargas comunes (VMPCC), en $m \cdot s^{-1}$.* Calculada como el promedio de la VMP obtenidas con aquellas cargas absolutas del test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa que fueron comunes en el test inicial y el test final.
- *VMP ante cargas iguales o inferiores al ~60% 1RM (VMPCB), en $m \cdot s^{-1}$.* Calculada como el promedio de la VMP obtenidas con aquellas cargas absolutas que se podían desplazar a una VMP igual o superior a $1.00 m \cdot s^{-1}$ en el test inicial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa.
- *VMP ante cargas superiores al ~60% 1RM (VMPCA), en $m \cdot s^{-1}$.* Calculada como el promedio de la VMP obtenida con aquellas cargas absolutas que se podían desplazar a una VMP inferior a $1.00 m \cdot s^{-1}$ en el test inicial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa.
- *1RM estimada (1RMest), en kg.* Estimación de la fuerza dinámica máxima en el ejercicio de sentadilla completa.
- *1RM estimada dividida por el peso corporal (1RM/PC).* Estimación de la fuerza dinámica máxima en el ejercicio de sentadilla completa dividida por el peso corporal de los participantes.

7.4.5. Control de Variables Extrañas

Este apartado ya ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

7.4.6. Análisis Antropométrico

Masa Corporal (kg). Este test ya ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

Talla (cm). Este test ya ha sido descrito previamente en la metodología del Estudio I.

7.4.7. Pruebas Físicas

- *Capacidad de aceleración.* Este test ha sido descrito previamente en el apartado metodología del Estudio I.
- *Test de salto vertical sin cargas.* Este test ha sido descrito previamente en el apartado metodología del Estudio I.

Test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de salto vertical con cargas. Este test ha sido descrito previamente en el apartado metodología del Estudio I.

Test isoinercial de incremento de cargas en el ejercicio de sentadilla completa. Este test ha sido descrito previamente en el apartado metodología del Estudio I

7.4.8. Instrumental de Evaluación

7.4.8.1. Maquina tipo Smith

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

7.4.8.2. Transductor Lineal de Velocidad

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

7.4.8.3. Plataforma de Salto

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

7.4.8.4. Células Fotoeléctricas

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del estudio I.

7.4.9. Programa de Entrenamiento

El programa de entrenamiento tuvo una duración de 10 semanas. En las semanas 1 y 10 se realizaron los tests inicial y final, en los días lunes martes o miércoles. Desde la semana 2 a las 9 se realizaron las 15 sesiones de entrenamiento de fuerza, (dos sesiones por semana y 1 en la última semana) en los días lunes y miércoles o martes y jueves realizando el ejercicio de sentadilla completa. Tanto los tests como las sesiones de entrenamiento fueron realizados en una maquina tipo Smith, y todas las repeticiones realizadas por los participantes durante el entrenamiento fueron medidas usando el medidor lineal de velocidad T-Force System. La pérdida de velocidad en la serie, el tiempo de recuperación entre las series y las repeticiones de la serie y el número de series fueron equivalentes para los tres grupos experimentales (G40-55, G55-70, G70-85). La velocidad de ejecución siempre fue la máxima posible ante cada carga y en todas las repeticiones realizadas. El calentamiento consistió en 5 minutos de carrera continua a un ritmo suave seleccionado por los participantes, seguido de 2 aceleraciones de 30 metros y el

calentamiento en el ejercicio de sentadilla completa programado para cada grupo. En la **Tabla G** se muestran las características descriptivas del entrenamiento programado y realizado para los grupos G40-55, G55-70 y G70-85.

Tabla 11. Características descriptivas de los protocolos de entrenamiento de fuerza realizados en cada sesión para el G40-55, G55-70 y G70-85.

<i>Programado</i>	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
VMP objetivo (m·s⁻¹)									
G40-55	1.28 (~40% 1RM)	1.28 (~40% 1RM)	1.28 (~40% 1RM)	1.21 (~45% 1RM)	1.21 (~45% 1RM)	1.21 (~45% 1RM)	1.21 (~45% 1RM)	1.13 (~50% 1RM)	1.13 (~50% 1RM)
G55-70	1.06 (~55% 1RM)	1.06 (~55% 1RM)	1.06 (~55% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.98 (~60% 1RM)	0.90 (~65% 1RM)	0.90 (~65% 1RM)
G70-85	0.83 (~70% 1RM)	0.83 (~70% 1RM)	0.83 (~70% 1RM)	0.75 (~75% 1RM)	0.75 (~75% 1RM)	0.75 (~75% 1RM)	0.75 (~75% 1RM)	0.68 (~80% 1RM)	0.68 (~80% 1RM)
Series x PV (%)	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%
Realizado									
PV (%)									
G40-55	19.4 ± 2.5	20.9 ± 2.7	20.4 ± 4.3	19.6 ± 4.6	22.5 ± 3.1	20.9 ± 2.3	21.5 ± 2.2	21.3 ± 3.1	20.2 ± 2.5
G55-70	20.4 ± 3.2	21.4 ± 3.2	22.9 ± 4.2	20.2 ± 4.2	22.1 ± 4.1	20.2 ± 2.9	20.8 ± 4.1	21.4 ± 3.4	23.9 ± 4.9
G70-85	20.8 ± 3.7	20.5 ± 3.9	23.4 ± 4.9	21.6 ± 4.1	19.4 ± 4.1	22.2 ± 4.5	20.2 ± 5.6	20.5 ± 3.0	26.4 ± 6.4
VMP promedio (m·s⁻¹)									
G40-55	1.27 ± 0.02 (~40.8% 1RM)	1.27 ± 0.01 (~40.8% 1RM)	1.26 ± 0.04 (~41.5% 1RM)	1.21 ± 0.01 (~44.8% 1RM)	1.20 ± 0.02 (~45.5% 1RM)	1.20 ± 0.02 (~45.5% 1RM)	1.20 ± 0.02 (~45.5% 1RM)	1.13 ± 0.02 (~50.2% 1RM)	1.12 ± 0.02 (~50.8% 1RM)
G55-70	1.05 ± 0.01 (~55.5% 1RM)	1.05 ± 0.02 (~55.5% 1RM)	1.04 ± 0.02 (~56.1% 1RM)	0.98 ± 0.01 (~60.1% 1RM)	0.98 ± 0.02 (~60.1% 1RM)	0.98 ± 0.02 (~60.1% 1RM)	0.98 ± 0.02 (~60.1% 1RM)	0.89 ± 0.02 (~66.0% 1RM)	0.90 ± 0.01 (~65.4% 1RM)
G70-85	0.82 ± 0.02 (~70.6% 1RM)	0.83 ± 0.02 (~69.9% 1RM)	0.82 ± 0.02 (~70.6% 1RM)	0.75 ± 0.02 (~75.1% 1RM)	0.75 ± 0.02 (~75.1% 1RM)	0.74 ± 0.01 (~75.8% 1RM)	0.74 ± 0.02 (~75.8% 1RM)	0.67 ± 0.03 (~80.3% 1RM)	0.68 ± 0.02 (~79.6% 1RM)

<i>Programado</i>	S10	S11	S12	S13	S14	S15	
VMP objetivo (m·s⁻¹)							
	1.13	1.13	1.06	1.06	1.06	1.06	
G40-55	(~50% 1RM)	(~50% 1RM)	(~55% 1RM)	(~55% 1RM)	(~55% 1RM)	(~55% 1RM)	
	0.90	0.90	0.83	0.83	0.83	0.83	
G55-70	(~65% 1RM)	(~65% 1RM)	(~70% 1RM)	(~70% 1RM)	(~70% 1RM)	(~70% 1RM)	
	0.68	0.68	0.61	0.61	0.61	0.61	
G70-85	(~80% 1RM)	(~80% 1RM)	(~85% 1RM)	(~85% 1RM)	(~85% 1RM)	(~85% 1RM)	
Series x PV (%)	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	
Realizado							Total
PV (%)							
G40-55	19.5 ± 2.0	19.6 ± 1.7	19.9 ± 2.2	21.4 ± 2.7	21.7 ± 2.1	19.6 ± 2.9	20.6 ± 1.0
G55-70	23.5 ± 6.0	19.1 ± 2.4	17.8 ± 3.6	23.5 ± 5.8	19.4 ± 5.1	17.3 ± 4.2	20.9 ± 2.0
G70-85	21.8 ± 6.4	20.4 ± 5.4	17.5 ± 5.3	20.1 ± 4.2	18.9 ± 4.0	16.3 ± 6.4	20.7 ± 2.4
VMP promedio (m·s⁻¹)							
	1.13 ± 0.02	1.10 ± 0.03	1.05 ± 0.01	1.05 ± 0.02	1.05 ± 0.02	1.05 ± 0.02	1.15 ± 0.08
G40-55	(~52.2% 1RM)	(~50.2% 1RM)	(~55.5% 1RM)	(~55.5% 1RM)	(~55.5% 1RM)	(~55.5% 1RM)	(~48.9% 1RM)
	0.88 ± 0.01	0.89 ± 0.02	0.82 ± 0.02	0.83 ± 0.02	0.81 ± 0.02	0.81 ± 0.03	0.93 ± 0.09
G55-70	(~66.7% 1RM)	(~66.0% 1RM)	(~70.6% 1RM)	(~69.9% 1RM)	(~71.2% 1RM)	(~71.2% 1RM)	(~63.4% 1RM)
	0.68 ± 0.02	0.66 ± 0.03	0.63 ± 0.03	0.62 ± 0.03	0.60 ± 0.01	0.57 ± 0.06	0.70 ± 0.8
G70-85	(~79.6% 1RM)	(~80.9% 1RM)	(~82.9% 1RM)	(~83.5% 1RM)	(~84.8% 1RM)	(~86.7% 1RM)	(~78.4% 1RM)

G40-55 = grupo que entrenó con cargas bajas (40 a 55% de 1RM); G55-70 = grupo que entrenó con cargas medias (55 a 70% de 1RM); G70-85 = grupo que entrenó con cargas altas 70 a 85% de 1RM; VMP = velocidad media propulsiva; Rep = repeticiones; PV = pérdida de velocidad dentro de la serie.

7.4.10. Análisis Estadístico

Los datos se muestran como media y desviación típica (dt). La fiabilidad se evaluó a través del coeficiente de correlación intra-clase y el coeficiente de variación. Se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov para examinar si los datos se distribuían según la curva normal y el test de Levene para comprobar la homogeneidad de la varianza a través de los grupos (G40-55 vs. G55-70 vs. G70-85). Se realizó la prueba ANOVA de un factor a los datos del test inicial para analizar si existían diferencias significativas entre los grupos experimentales en todas las variables analizadas. Se aplicó la prueba ANOVA de medidas repetidas 3 (grupos: G40-55, G55-70, G70-85) \times 2 (Test: Test Inicial, Test Final) con el ajuste de Bonferroni. Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson para comprobar la relación entre los cambios de las diferentes variables. La significatividad estadística se estableció en $P > 0.05$. Todos los análisis se llevaron a cabo con el programa estadístico SPSS versión 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, Estados Unidos). Además de esta prueba de hipótesis nula, se le aplicó a los datos un análisis de las diferencias prácticas basado la magnitud de cambio o tamaño del efecto (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). Las diferencias estandarizadas o tamaño del efecto (TE) se calculó a través de la g de Hedges (Hedges LV, 1985). Las probabilidades de que los efectos fuesen beneficiosos / mejores o perjudiciales / peores fueron evaluadas cualitativamente de la siguiente manera: $< 1 \%$, casi con toda seguridad no; $1-5 \%$, muy poco probable; $5-25 \%$, improbable; $25-75 \%$, posible; $75-95 \%$, probablemente; $95-99 \%$, muy probablemente; y $> 99 \%$, casi seguro. Si las probabilidades de que los cambios sean mejores o peores eran $> 5\%$ la diferencia verdadera se estableció como no clara (Hopkins, et al., 2009). La transferencia de los cambios en la fuerza máxima sobre los cambios en la velocidad y el salto vertical se calculó usando la siguiente fórmula: Transferencia = TE en el ejercicio no entrenado / TE en el ejercicio entrenado (Zatsiorsky, 1995).

7.5. RESULTADOS

No se encontraron diferencias significativas entre grupos en ninguna variable analizada en el test inicial. Los participantes del G40-55, G55-70 y G70-85 completaron el $98.1\% \pm 2.1\%$, $98.0\% \pm 2.4\%$ y el $97.7\% \pm 1.2\%$ de las sesiones programadas, respectivamente. En la **Tabla 11** se muestra el entrenamiento real realizado por los sujetos de cada grupo en relación con el entrenamiento programado.

7.5.1. Salto vertical y sprint. Se observó una interacción significativa ($P < 0.05$) en el CMJ en favor del G55-70 comparado con el G40-55 (**Tabla 12**). El G55-70 y el G70-85 obtuvieron mejoras significativas en el CMJ mientras que el G40-55 no obtuvo cambios significativos en ninguna variable analizada. Aunque no se observaron cambios significativos en ningún grupo en las variables del sprint, el G70-85 y el G55-70 presentaron un TE intra grupo en la variable T_{10-20} de -0.20 (-0.56 to 0.16) y -0.17 (-0.48 to 0.15), respectivamente, mientras el G40-55 presentó un TE intra grupo de 0 (-0.18 to 0.18) (**Tabla 12**). No se encontraron diferencias significativas entre grupos en ninguna variable analizada, sin embargo, el análisis de las diferencias estandarizadas resultó en un efecto *posiblemente* más favorable en T_{20} y *probablemente* mejor en CMJ para el G55-70 comparado con el G40-55 y un efecto *posiblemente* mejor en T_{10-20} comparado con el G70-85. En la misma línea, el G70-85 presentó cambios *posiblemente* mejores en T_{10} , T_{20} y CMJ comparado con el G40-55, mientras que el G40-55 obtuvo un efecto *posiblemente* mejor que el G70-85 en T_{10-20} (**Tabla 11**).

7.5.2.. Transferencia desde los cambios en la 1RMest. Cuando se analizaron los cambios en las ganancias desde la 1RMest a las ganancias en sprint y salto vertical, se observó que el G55-70 obtuvo una transferencia positiva mayor que los otros grupos en T_{20} , CMJ y CMJ30. Por el contrario el G40-55 que obtuvo una transferencia negativa en T_{10} y T_{20} , presentó la mayor magnitud de transferencia en T_{10-20} y CMJ20. El G70-85 presentó magnitudes de transferencia relativamente bajas en todas las variables excepto en T_{10} (**Tabla 12**).

7.5.3. Evaluaciones Isoinerciales de Fuerza. No se observaron interacciones significativas ‘grupo x tiempo’ para ninguna variable analizada. El G55-70 y el G70-85 presentaron cambios significativos en todas las variables medidas, mientras que el G40.55 solo mostró cambios significativos en 1RMest (**Tabla 10**). El grupo G55-70 mostro mejoras significativas en todas las cargas absolutas seleccionadas para el análisis de la

curva carga velocidad, mientras que el G70-85 presento cambios significativos en todas las cargas excepto en la carga de 40 kg y el G40-55 solo mejoró significativamente ante la carga de 30 kg (**Figura T**). Aunque no se observaron diferencias significativas entre grupos en ninguna variable medida, cuando se realizó el análisis de las diferencias estandarizadas el G55-70 presento efectos *posiblemente* o *probablemente* mejores que el G40-55 en todas las variables analizada, mientras que el G70-85 solo obtuvo cambios *posiblemente* mejores que el G40-55 en 1RMest y 1RM/PC (**Tabla 13**).

7.5.4.. *Relación entre las variables de fuerza, salto vertical y sprint.* Para la realización de este análisis los datos de todos los grupos se tomaron en conjunto. Se observó una relación significativa positiva entre los cambios individuales en 1RMest y el CMJ ($r = 0.794, P < 0.001$) y T20 ($-0.501; P < 0.01$). También se observó una relación similar entre 1RM/PC y el CMJ ($r = 0.743, P < 0.001$) y T20 ($-0.508, P < 0.01$).

Tabla 12. Cambios dentro de cada grupo en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular desde el test inicial al final Mean \pm SD).

	G40-55 (n = 10)				G55-70 (n = 10)				G70-85 (n = 10)			
	Pre	Post	Δ (%)	TE (95% IC)	Pre	Post	Δ (%)	TE (95% IC)	Pre	Post	Δ (%)	TE (95% IC)
T₁₀ (s)	1.74 \pm 0.06	1.75 \pm 0.05	0.8	0.18 (-0.31 a 0.67)	1.74 \pm 0.05	1.74 \pm 0.07	0.1	0.00 (-0.22 a 0.22)	1.75 \pm 0.07	1.74 \pm 0.11	-0.9	-0.11 (-0.44 a 0.23)
T₂₀ (s)	3.03 \pm 0.11	3.05 \pm 0.11	0.6	0.18 (-0.21 a 0.58)	3.03 \pm 0.09	3.02 \pm 0.11	-0.4	-0.10 (-0.30 a 0.10)	3.05 \pm 0.15	3.03 \pm 0.19	-0.5	-0.12 (-0.34 a 0.11)
T₁₀₋₂₀ (s)	1.28 \pm 0.05	1.27 \pm 0.05	-1.2	-0.20 (-0.56 a 0.16)	1.28 \pm 0.06	1.27 \pm 0.06	-1.2	-0.17 (-0.48 a 0.15)	1.29 \pm 0.08	1.29 \pm 0.09	0.2	0.00 (-0.18 a 0.18)
CMJ (cm)	38.6 \pm 5.9	39.6 \pm 7.2	2.5	0.15 (-0.02 a 0.32)	38.3 \pm 4.4	41.6 \pm 4.9 ***	8.5	0.71 (0.39 a 1.03)	39.7 \pm 6.3	42.5 \pm 5.8 ***	7.6	0.46 (0.12 a 0.80)
CMJ20 (m/s)	2.66 \pm 0.22	2.74 \pm 0.23 *	3.3	0.36 (0.01 a 0.70)	2.69 \pm 0.18	2.84 \pm 0.15 ***	5.7	0.91 (0.40 a 1.41)	2.76 \pm 0.20	2.87 \pm 0.21 **	4.0	0.54 (0.07 a 1.00)
CMJ30 (m/s)	2.48 \pm 0.19	2.50 \pm 0.21	1.6	0.10 (-0.20 a 0.40)	2.49 \pm 0.17	2.61 \pm 0.15 **	5.1	0.75 (0.24 a 1.26)	2.56 \pm 0.18	2.65 \pm 0.20 *	3.7	0.47 (0.04 a 0.90)
VMPC (m/s)	1.04 \pm 0.08	1.05 \pm 0.10	1.9	0.11 (-0.26 a 0.48)	1.03 \pm 0.08	1.08 \pm 0.09 ***	5.9	0.59 (0.16 a 1.02)	1.03 \pm 0.05	1.07 \pm 0.07 *	4.4	0.66 (0.02 a 1.29)
VMPCB (m/s)	1.30 \pm 0.06	1.34 \pm 0.09	2.9	0.52 (0.13 a 0.91)	1.30 \pm 0.06	1.37 \pm 0.07 ***	5.8	1.07 (0.29 a 1.86)	1.29 \pm 0.03	1.33 \pm 0.10 *	3.6	0.54 (0.06 a 1.02)
VMPCA (m/s)	0.74 \pm 0.06	0.79 \pm 0.12	7.6	0.53 (-0.20 a 1.26)	0.73 \pm 0.05	0.86 \pm 0.08 ***	17.1	1.95 (0.98 a 2.91)	0.72 \pm 0.04	0.83 \pm 0.11 ***	14.6	1.33 (0.45 a 2.21)
1RM_{est} (kg)	99.7 \pm 19.5	104.3 \pm 22.3 *	4.7	0.22 (-0.04 a 0.48)	92.0 \pm 15.7	101.3 \pm 16.1 ***	10.4	0.58 (0.30 a 0.87)	94.3 \pm 11.4	103.6 \pm 11.2 ***	10.4	0.82 (0.27 a 1.38)
1RM/PC	1.46 \pm 0.21	1.52 \pm 0.25	7.2	0.26 (-0.05 a 0.57)	1.35 \pm 0.19	1.48 \pm 0.21 ***	9.8	0.65 (0.33 a 0.97)	1.34 \pm 0.24	1.49 \pm 0.33 ***	10.2	0.52 (0.23 a 0.81)

G40-55 = grupo de cargas bajas; G55-70 = grupo de cargas medias; G70-85 = grupo de cargas altas; Pre = test inicial; Post = test final; Δ = porcentajes de cambio desde el test inicial al test final; TE = tamaño del efecto; IC = intervalo de confianza; T₁₀ = tiempo en recorrer 10 metros a sprint; T₂₀ = tiempo en recorrer 20 metros a sprint; T₁₀₋₂₀ = tiempo en recorrer la distancia de 10 a 20 metros a sprint; CMJ = salto con contra movimiento; CMJ20 = salto con contra movimiento con una carga de 20 kg; CMJ30 = salto con contra movimiento con una carga de 30 kg; VMPC = velocidad media con todas las cargas comunes al test inicial y al test final VMPCA = velocidad media de todas las cargas comunes al test inicial y final por encima o igual a la velocidad de 1 m·s⁻¹; VMPCB = velocidad media de todas las cargas comunes al test inicial y al final inferiores a la velocidad de 1 m·s⁻¹; 1RM_{est} = 1RM estimada a través de la velocidad; 1RM/BM = 1RM dividida por el peso corporal de cada sujeto ; diferencias significativas dentro de cada grupo: *P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001.

Tabla 13. Cambios entre grupos en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular.

Cambios entre grupos observados del test inicial al final					
	<i>Interacción 'grupo x tiempo'</i>	<i>Valor P entre grupos</i>	<i>Diferencias estandarizadas(90% IC)</i>	<i>Porcentaje de cambio del efecto mejor/trivial/peor</i>	
T₁₀ (s)	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	0.20 (-0.30 a 0.71)	51/40/9	No claro
G70-85 vs. G40-55		ns	0.42 (-0.18 a 1.01)	73/22/4	Posible
G55-70 vs. G70-85		ns	-0.26 (-0.82 a 0.31)	9/35/57	No claro
T₂₀ (s)	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	0.29 (-0.14 a 0.71)	64/33/3	Posible
G70-85 vs. G40-55		ns	0.24 (-0.14 a 0.62)	57/40/3	Posible
G55-70 vs. G70-85		ns	-0.03 (-0.35 a 0.30)	12/78/18	No claro
T₁₀₋₂₀ (s)	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	0.01 (-0.41 a 0.43)	20/58/22	No claro
G70-85 vs. G40-55		ns	-0.25 (-0.55 a 0.05)	1/37/62	Posiblemente perjudicial
G55-70 vs. G70-85		ns	0.26 (-0.02 a 0.53)	64/36/1	Posible
CMJ (cm)	0.048				
G55-70 vs. G40-55		ns	-0.41 (-0.18 a -0.66)	94/6/0	Probable
G70-85 vs. G40-55		ns	0.28 (-0.03 a 0.58)	67/33/1	Posible
G55-70 vs. G70-85		ns	0.07 (-0.22 a 0.37)	23/71/6	No claro
VMPCC (m/s)	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	0.42 (0.18 a 0.66)	94/6/0	Muy probable
G70-85 vs. G40-55		ns	0.34 (-0.26 a 0.94)	65/28/7	No claro
G55-70 vs. G70-85		ns	0.19 (-0.33 a 0.72)	49/41/10	No claro
VMPCB (m/s)	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	0.54 (-0.17 a 1.25)	79/16/4	Probable
G70-85 vs. G40-55		ns	0.15 (-.74 a 1.04)	46/29/25	No claro
G55-70 vs. G70-85		ns	0.50 (-0.48 a 1.49)	70/18/12	No claro
VMPCA (m/s)	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	1.17 (-0.07 a 2.40)	91/6/4	Probable
G70-85 vs. G40-55		ns	0.87 (-0.56 a 2.30)	79/11/10	No claro
G55-70 vs. G70-85		ns	0.37 (-0.73 a 1.46)	60/21/19	No claro
1RM (kg)	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	0.27 (0.02 a 0.53)	70/30/0	Posible
G70-85 vs. G40-55		ns	0.30 (-0.06 a 0.66)	68/31/1	Posible
G55-70 vs. G70-85		ns	0.02 (-0.29 a 0.33)	16/72/12	No claro
1RM/BM	ns				
G55-70 vs. G40-55		ns	0.35 (0.05 a 0.65)	80/19/0	Probable
G70-85 vs. G40-55		ns	0.30 (0.00 a 0.60)	78/28/1	Posible
G55-70 vs. G70-85		ns	-0.01 (-0.27 a 0.25)	9/81/11	No claro

G40-55 = grupo de cargas bajas; G55-70 = grupo de cargas medias; G70-85 = grupo de cargas altas; T₁₀ = tiempo en recorrer 10 metros a sprint; T₂₀ = tiempo en recorrer 20 metros a sprint; T₁₀₋₂₀ = tiempo en recorrer la distancia de 10 a 20 metros a sprint; CMJ = salto con contra movimiento; VMPCC = velocidad media con todas las cargas comunes al test inicial y al test final; VMPCB = velocidad media de todas las cargas comunes al test inicial y final por encima o igual a la velocidad de 1 m·s⁻¹; VMPCA= velocidad media de todas las cargas comunes al test inicial y al final inferiores a la velocidad de 1 m·s⁻¹; 1RMest = 1RM estimada a través de la velocidad; 1RM/BM = 1RM dividida por el peso corporal de cada sujeto: ns = no significativo.

Tabla 14. Transferencia de las ganancias de fuerza y a las ganancias en sprint y salto vertical.

	G44-55	G55-70	G70-85
T₁₀	0,95	0,06	-0,24
T₂₀	0,67	-0,23	-0,12
T₁₀₋₂₀	-1,39	-0,47	0,04
CMJ	0,77	1,26	0,53
CMJ20	1,62	1,35	0,63
CMJ30	0,32	1,21	0,61

G44-55 = grupo que entrenó con cargas comprendidas entre el 40 y 55% de 1RM; G55-70 = grupo que entrenó con cargas comprendidas entre el 55 y el 70% de 1RM; G70-85 = grupo que entrenó con cargas comprendidas entre el 70 y el 85% de 1RM; T₁₀ = tiempo en recorrer 10 m a sprint; T₂₀ = tiempo en recorrer 20 m a sprint; T₁₀₋₂₀ = tiempo en recorrer una distancia de 10 a 20 m a sprint; CMJ = salto vertical con contramovimiento; CMJ20 = velocidad máxima alcanzada ante la carga de 20 kg; CMJ30 = velocidad máxima alcanzada ante la carga de 30 kg;

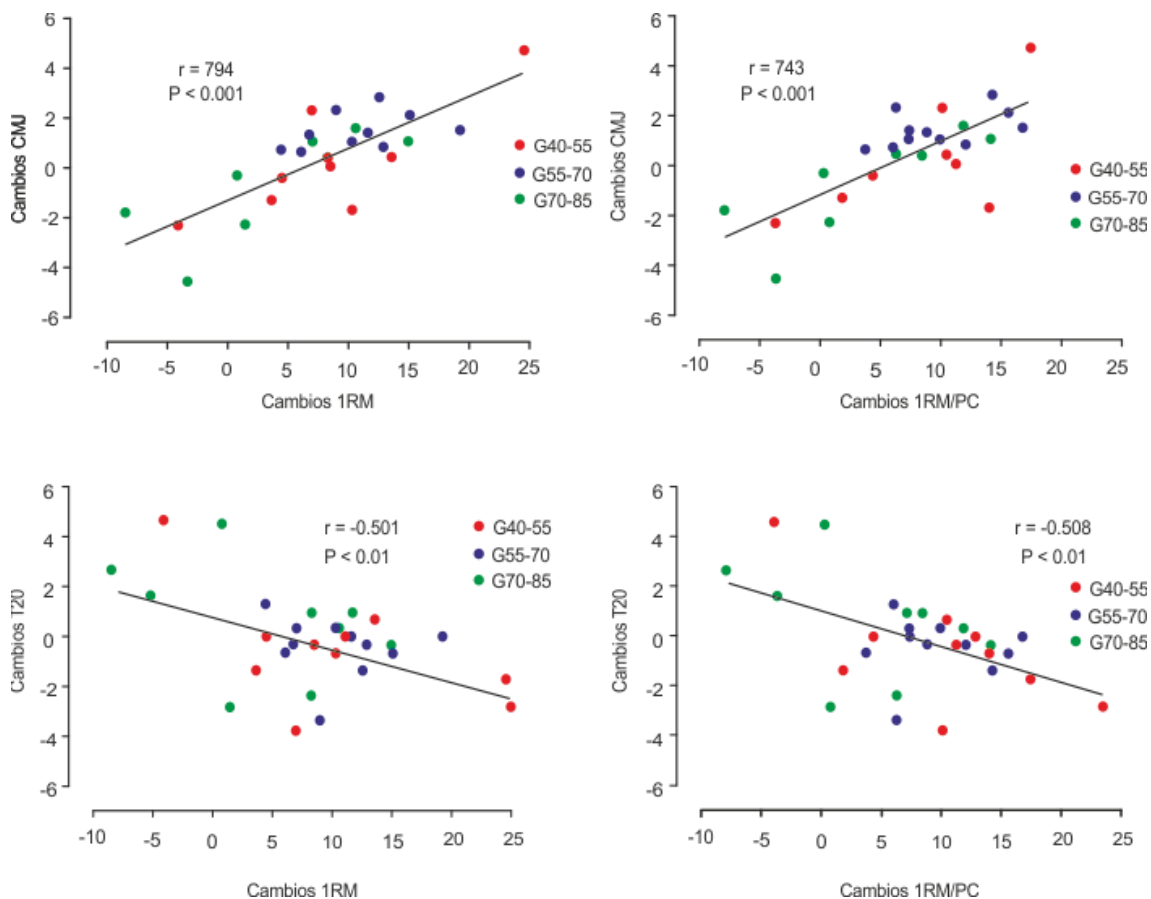


Figura 17. Relación entre los cambios individuales en las variables de T20 y CMJ y los cambios en 1RM y 1RM/BM. G40-55 = grupo que realizó el entrenamiento con cargas bajas (40% a 55% de la 1RM); G55-70 = grupo que realizó el entrenamiento con cargas

medias (55% a 70% de la 1RM); G70-85 = grupo que realizó el entrenamiento con cargas altas (70% a 85% de la 1RM).

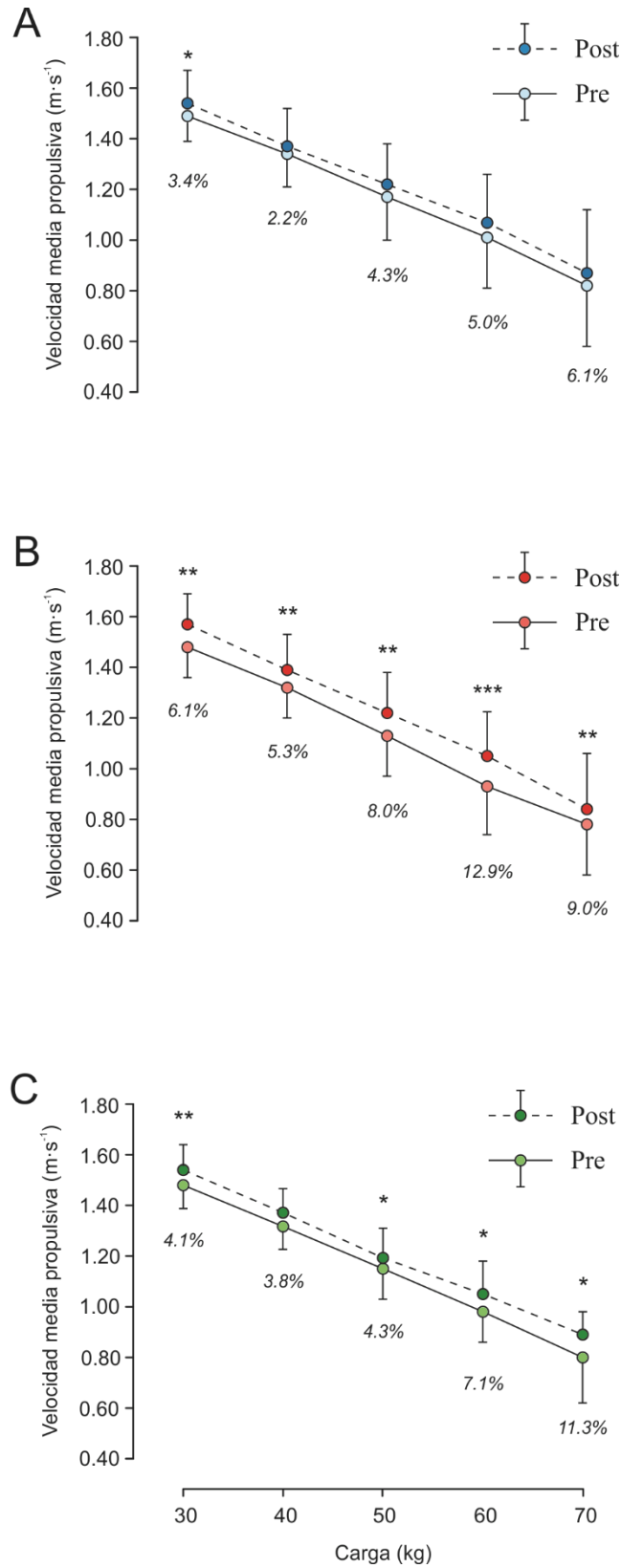


Figura 18. Curva carga-velocidad obtenida para los grupos RC (A), G10 (B) y G20 (C) antes y después del periodo de entrenamiento. Las barras de error representan las dt. Diferencias estadísticamente significativas intra grupo: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

7.6. DISCUSIÓN

El objetivo del presente estudio fue analizar los efectos producidos por tres programas de entrenamiento de fuerza con tres rangos distintos de intensidades relativas (G40-55, 40 a 55% de 1RM; G55-70, 55 a 70% de 1RM; G70-85, 70 a 85% de 1RM) y un mismo porcentaje de pérdida de velocidad en la serie (20%) sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. En términos generales, aunque no se observaron diferencias significativas entre los tres grupos experimentales del presente estudio, los grupos G55-70 y G70-85 presentaron una tendencia a obtener mayores mejoras que el G40-55 en la mayoría de variables analizadas en el presente estudio.

Con respecto a los cambios en la fuerza máxima (1RMest y 1RM/PC), los grupos G55-70 y G70-85 presentaron mejoras significativas ($P < 0.001$) en las variables 1RMest y 1RM/PC, mientras que el grupo G40-55 solo obtuvo mejoras significativas ($P < 0.05$) en la 1RMest. Además de esto, los grupos G55-70 y G70-85 presentaron mayores TEs intra-grupo que los presentados por el grupo G40-55 (Tabla X). Aunque no se observaron diferencias significativas entre grupos en estas variables, cuando se analizó la probabilidad de que los cambios entre grupos fueran mejor/igual/peor, los grupos G55-70 y el G70-85 presentaron efectos *posiblemente* y *probablemente* mejores que los del G40-55. En este sentido, en un estudio publicado recientemente (Mora-Custodio, et al., 2016) (Que corresponde al Estudio I de la presente Tesis) en el que se comparaba el entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40%-60% de 1RM) frente al entrenamiento de fuerza con cargas moderadas (65%-80% de 1RM), en mujeres jóvenes físicamente activas, se observó que ambos grupos mejoraron significativamente en todas las variables medidas y no había diferencias significativas entre grupos. Sin embargo, se observó un efecto *posiblemente* más favorable para el grupo de cargas bajas comparado con el grupo de cargas medias. Estos resultados son contrarios a los observados en el presente estudio, ya que el grupo G40-55 fue el que alcanzó menores mejoras. Esto podría venir explicado por el hecho de que en el estudio anteriormente mencionado, el volumen del entrenamiento se controló a través de la realización del mismo número de repeticiones por serie y repeticiones totales para los dos grupos, mientras que en nuestro estudio actual no se programó un mismo volumen para todos los grupos, sino una misma pérdida de velocidad en la serie. Esto significa que en el estudio citado de Mora-Custodio et al.

(2016) el grado de fatiga generado por el entrenamiento con cargas bajas fue inferior al alcanzado con las cargas medias, ya que al hacer las mismas repeticiones por serie, la pérdida de velocidad en la serie es mucho menor ante cargas ligeras que ante cargas medias. Concretamente, teniendo en cuenta que se hicieron entre 5 y 6 repeticiones por serie ante todas las intensidades relativas, el grado de fatiga, grado de esfuerzo o Índice de Esfuerzo (producto de la velocidad de la primera repetición de la serie por la pérdida de velocidad en la serie. Tesis Doctoral de David Rodríguez Rosell) para el 50% fue de $\sim 11,4$ y ~ 15 para el 60%, mientras que con el 70% y el 80% fue ≥ 30 . Sin embargo, en el estudio actual el grado de esfuerzo medio fue mayor en el rango de intensidades relativas más bajas: 23,3 para G40-55, 18,7 para G55-70 y 14,3 para G70-85. Esto significa que para igualar el grado de fatiga, en las cargas bajas se debería haber perdido entre el 10 y el 15% de la velocidad en la serie. Por tanto, este mayor grado de esfuerzo con las cargas bajas está determinado por la necesidad de realizar un número de repeticiones mucho más elevado para alcanzar la misma pérdida de velocidad (20%). Por ello, los efectos de las intensidades relativas utilizadas en el estudio actual probablemente no dependen de manera exclusiva del valor de dichas intensidades, sino que habría que considerar también el grado de fatiga generado por cada rango de intensidades. Por tanto, los resultados de nuestro estudio sugieren que para poder comparar los efectos de distintas intensidades relativas sería necesario eliminar la influencia de un distinto grado de fatiga ante dichas intensidades. Para ello no se igualarían ni el volumen (mismo número de repeticiones) ni la pérdida de velocidad en la serie, sino el Índice de Esfuerzo. Por ello, en nuestro caso, es probable que para obtener un mejor efecto sobre el rendimiento físico cuando se entrena con cargas comprendidas entre el 40 y el 55% de 1RM, el grado de fatiga que produzca mayores mejoras podría ser inferior al 20% de pérdida de velocidad en la serie.

En relación con los cambios observados en la fuerza máxima en las variables VMPC, VMPCA y VMPCB, el G55-70 presentó mejoras significativas en la velocidad alcanzada ante todas las cargas absolutas incluidas en el análisis, mientras el G70-85 mejoró significativamente en todas las cargas excepto en 40 kg, y el G40-55 solo obtuvo mejoras significativas ante la carga de 30 kg (**Figura 12**). No se observaron diferencias significativas entre los tres grupos en ninguna de las cargas absolutas seleccionadas para el análisis. Los grupos G55-70 y G70-85 presentaron mejoras significativas en la velocidad alcanzada ante las cargas comunes (VMPC, VMPCB y VMPCA), sin diferencias significativas entre grupos. El análisis de las diferencias prácticas resultó en

un efecto *posiblemente* mejor en favor del grupo G55-70 con respecto al grupo G40-55 en las variables VMPCB, VMPCB y VMPCA, mientras que no se observaron diferencias de ningún tipo entre los grupos G40-55 y G70-85 (**Tabla 12**). Solo hemos encontrado dos estudios (Mora-Custodio, et al., 2016; Moss, et al., 1997) en los que se han analizado los cambios en la potencia o velocidad ante varias cargas absolutas comunes a los tests inicial y final. En el estudio realizado por Moss et al. (1997) se analizó el efecto producido por tres programas de entrenamientos de fuerza en el ejercicio de flexión del codo ante varias cargas absolutas (2.5 kg y 15, 25, 35, 50, 70 y 90% de la 1RM del test inicial). Los tres grupos llevaron a cabo un entrenamiento de fuerza que consistió en la realización de 2 repeticiones con el 90% de 1RM (G90), 7 repeticiones con el 35% de 1RM (G35) y 10 repeticiones con el 15% de 1RM (G15), con entre 3 y 5 series por sesión. En línea con nuestros resultados, en este estudio se observó que los grupos de cargas altas y medias obtuvieron mejoras significativas en los cambios observados en la potencia desarrollada ante las cargas anteriormente mencionadas, mientras que el grupo de cargas bajas solo obtuvo mejoras significativas en las cargas 2.5 kg, 15 y 25% de la 1RM del test inicial. El hecho de que el grupo de cargas inferiores (15% de 1RM) solo haya obtenido mejoras significativas ante las tres cargas absolutas más bajas, podría venir explicado por el hecho de que la intensidad relativa usada fue semejante a aquellas con las que se consiguió la mejora significativa. Esta misma explicación podría aplicarse a los efectos obtenidos por el G40-55 del presente estudio, que solo obtuvo mejoras significativas con la carga de 30 kg. Sin embargo, los resultados del presente estudio no se corresponden con la mayor mejora obtenida por unas cargas semejantes (40-60% 1RM) utilizadas en el estudio de Mora-Custodio et al. (2016), en el que este grupo mejoró en todas las cargas. Por tanto, los resultados de nuestro estudio parecen indicar que una pérdida de velocidad dentro de la serie de ~20% produce un grado de fatiga demasiado alto ante las cargas bajas que da lugar a menores cambios positivos en el rendimiento. Estos resultados sugieren que para comprobar el efecto de distintos rangos de intensidad sería necesario igualar el grado de esfuerzo / fatiga (índice de esfuerzo) ante todas las intensidades relativas.

Los grupos G55-70 y G70-85 presentaron mejoras significativas intra-grupo en el CMJ, pero no el G40-55. Ninguno de los tres grupos obtuvo mejoras significativas en la velocidad en 20 metros. No se observaron diferencias significativas entre grupos en ninguna de las variables analizadas. Se observó un efecto *probablemente y posiblemente* mejor para los grupos G55-70 y G70-85, respectivamente, comparados con el G40-55.

Contrario a nuestros resultados, dos estudios previos (McBride, et al., 2002; Mora-Custodio, et al., 2016), en los que se ha analizado el efecto del entrenamiento de fuerza en el sprint y el salto vertical con distintas intensidades, se observó que ambos grupos obtuvieron mejoras significativas intra-grupo, y el grupo de cargas más bajas de cada estudio mejoró significativamente más que el de cargas altas (McBride, et al., 2002; Mora-Custodio, et al., 2016). Las discrepancias observadas entre los resultados de McBride et al. (2002) y el presente estudio podrían venir explicadas por el ejercicio empleado en el programa de entrenamiento, ya que en el estudio de McBride et al. (2002) los sujetos entrenaron realizando el ejercicio de salto vertical con cargas, mientras que en nuestro caso se realizó exclusivamente el ejercicio de sentadilla completa, y, como se ha descrito previamente, los cambios en el rendimiento físico dependen en gran medida de la similitud entre el ejercicio de entrenamiento y el ejercicio con el que se mide el efecto. Por el contrario, en el estudio realizado por Mora-Custodio et al. (2016), en el que ambos grupos realizaron el ejercicio de sentadilla completa, se produjo una mejora en el sprint y en el salto vertical, mientras que en nuestro estudio actual solo observamos mejoras significativas en los grupos de cargas medias y altas. Esto podría estar relacionado, como se ha descrito previamente, con el mayor volumen de entrenamiento realizado y mayor grado de fatiga alcanzado por el grupo de cargas bajas del presente estudio (G40-55).

Con respecto a la correlación entre cambios, cuando se unieron los datos de todos los grupos, se observaron relaciones positivas significativas entre los cambios en las variables 1RMest y el CMJ ($r = 0.794$; $P < 0.001$) y 1RM/PC y el CMJ ($r = 0.743$; $P < 0.001$), y relaciones significativas negativas entre la 1RMest y el T20 ($r = -0.501$; $P < 0.01$) y 1RM/PC y T20 ($r = -0.508$; $P < 0.01$) (**Figura 12**). Aunque se trata de un objetivo secundario dentro de nuestro estudio, es relevante y de una importante aplicación práctica el hecho de que una tendencia a la mejora en la RM en sentadilla (único ejercicio entrenado) explique más del 50% de la varianza de los cambios del CMJ, especialmente teniendo en cuenta que el ejercicio de CMJ no se entrenó. Esto significa que un entrenamiento sin llegar al fallo muscular ante ninguna intensidad relativa puede tener un efecto muy positivo sobre la mejora del salto, incluso sin entrenarlo. Aun se puede considerar más relevante la correlación observada entre los cambios en la RM y los cambios en los tiempos en 20 m, dado que, biomecánicamente, existen menores similitudes entre la sentadilla y la carrera que entre la sentadilla y el salto. Por tanto, los resultados del presente estudio sugieren que la utilización exclusiva de la sentadilla con

las cargas aplicadas en este estudio puede ser un ejercicio muy apropiado si se pretende mejorar el rendimiento en acciones de alta velocidad como el salto y la aceleración en 20 m.

7.7. CONCLUSIONES

Los resultados de nuestro estudio sugieren que ante tres programas de entrenamiento de fuerza con distintos rangos de intensidades relativas y ~20% de pérdida de velocidad dentro de la serie, no se observaron diferencias significativas, pero los grupos que entrenaron las intensidades comprendidas entre el 55% y el 70% de 1RM (G55-70) y entre el 70% y 85% de 1RM (G70-85) presentaron una tendencia a obtener mayores mejoras en el salto vertical y la fuerza de las extremidades inferiores que el grupo que entrenó con cargas comprendidas entre el 40% y el 55% de 1RM, en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, ninguno de los tres programas de entrenamiento presentó mejoras significativas en el rendimiento en carreras de aceleración de 20 metros.

7.8. APLICACIONES PRÁCTICAS

Si los entrenadores pretenden mejorar la fuerza y el rendimiento físico en acciones realizadas a alta velocidad de sus deportistas entrenando el ejercicio de sentadilla, , aplicar un entrenamiento de un ~20% de pérdida de velocidad dentro de la serie podría representar un grado de fatiga aceptable cuando entrenen con intensidades relativas comprendidas entre el 55/60 y el 85% de la RM, pero la pérdida de velocidad en la serie debería ser menor (10-15%) si las intensidades son menores al 50/55%. Si los entrenadores pretenden mejorar la fuerza y el rendimiento físico en acciones realizadas a alta velocidad de sus deportistas entrenando el ejercicio de sentadilla, aplicar un entrenamiento de un ~20% de pérdida de velocidad dentro de la serie podría representar un grado de fatiga aceptable cuando entrenen con intensidades relativas comprendidas entre el 55/60 y el 85% de la RM, pero la pérdida de velocidad en la serie debería ser menor (10-15%) si las intensidades son menores al 50/55%.

8.

**CONCLUSIONES
DERIVADAS DE
TODOS LOS
ESTUDIOS**

8. CONCLUSIONES DERIVADAS DE TODOS LOS ESTUDIOS / CONCLUSIONS FROM ALL STUDIES

8.1. ESTUDIO I / STUDY I

Cuando el resto de variables que componen el entrenamiento de fuerza (tiempo de recuperación entre series y repeticiones, velocidad de ejecución, número de repeticiones por serie o número de series) se mantienen constantes a través de los diferentes programas de entrenamiento, el entrenamiento de fuerza con cargas bajas (40% a 60% de 1RM) produce mejoras similares o más favorables sobre el rendimiento en sprint, salto vertical y la fuerza de las extremidades inferiores que el entrenamiento con cargas medias (65% a 80% de 1RM), al menos en mujeres jóvenes físicamente activas sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

When all resistance training variables (time recovery between sets and repetitions, movement velocity or number of sets and repetitions) are equivalent across of different resistance training programs, the low-load resistance training (40% to 60% of 1RM) produces similar or more favorable improvements on sprint performance, vertical jump height and lower limbs strength than moderate load resistance training (65% to 80% of 1RM), at least in young physically active women without previous resistance training background.

8.2. ESTUDIO II / STUDY II

El protocolo de entrenamiento de fuerza realizado con 10 o 20 segundos de recuperación entre repeticiones resultó en un significativamente menor (i) grado de pérdida de velocidad dentro de las tres series, (ii) pérdida de altura de salto con contramovimiento, y (iii) concentración de lactato en sangre comparado con el entrenamiento de fuerza tradicional en cuatro protocolos de ejercicio de fuerza realizados con el 60, 70, 75 y 80% de 1RM. Por el contrario, no se observaron diferencias significativas en ninguna variable analizada entre el G10 y el G20. Además, tanto la fatiga mecánica (medida a través de la pérdida de velocidad con la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la pérdida de altura del salto con

contramovimiento) y el estrés metabólico (medido a través de la concentración de lactato en sangre) están relacionados con la pérdida de velocidad dentro de la serie, independientemente de cómo se configure el entrenamiento de fuerza.

Resistance exercise protocol performed with 10 (G10) or 20 seconds (G20) interrepetition rest interval resulted in a significantly less (i) velocity loss into the set, (ii) loss of CMJ height, and (iii) blood lactate concentration compared to traditional configuration (CR) in four resistance exercise protocols performed with 60, 70, 75 and 80% of 1RM. In contrast, not significant differences were observed between G10 and G20 in any measured variable. In addition, mechanical fatigue (measured through velocity loss with $VI\ m\cdot s^{-1}$ load and loss of CMJ height) and metabolic stress (blood lactate concentration) are related to the velocity loss over the set, regardless the resistance training configurations used.

8.3. ESTUDIO III / STUDY III

Cuando se igualan las intensidades relativas, el volumen y el tiempo de recuperación entre series, los entrenamientos de fuerza sin descanso entre repeticiones o con descansos de 10 o 20 segundos no producen efectos claramente diferenciados sobre la RM estimada, las velocidades ante distintas cargas absolutas, el rendimiento en carreras cortas y en salto vertical en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza.

When relative intensities, volume and recovery time between sets are equated, resistance trainings without interrepetition rest intervals or 10-20 s interrepetition rest intervals produce very similar effects on 1RMest, the MPV against different absolute loads, sprint performance and vertical jump ability in young men with previous experience in resistance training.

8.4. ESTUDIO IV / STUDY IV

Los resultados de nuestro estudio indican que, con un volumen de entrenamiento de ~20% de pérdida de velocidad dentro de la serie, los grupos que entrenaron con intensidades comprendidas entre el 55% y el 70% de 1RM (G55-70) y entre el 70% y 85% de 1RM (G70-85) obtuvieron mayores mejoras en el salto vertical y la fuerza de las extremidades inferiores que el grupo que entrenó con cargas comprendidas entre el 40% y el 55% de 1RM, al menos en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, ninguno de los tres programas de entrenamiento presentó mejoras significativas en el rendimiento en carreras de aceleración de 20 m.

The results of our study indicated that, against resistance training programs performing repetitions to achieve ~20% of velocity loss into the set, training groups using load magnitudes ranging between 55% and 70% of 1RM and between 70% and 85% of 1RM resulted in greater gains in vertical jump height and the lower limbs strength than the group that trained with load magnitudes ranging between 40% and 55% of 1RM, at least in young men with previous experience in resistance training. However, any resistance training programs presented significant improvements in 20 m sprint time.

9.

**APLICACIONES
PRACTICAS
DERIVADAS DE
TODOS LOS
ESTUDIOS.**

9. APLICACIONES PRACTICAS DERIVADAS DE TODOS LOS ESTUDIOS / PRACTICAL APPLICATIONS FROM ALL STUDIES

9.1. ESTUDIO I / STUDY I

Estos resultados pueden tener implicaciones para los entrenadores, quienes pueden considerar el uso de protocolos de entrenamiento con cargas ligeras y un volumen bajo, haciendo hincapié en el levantamiento de la carga a la máxima velocidad posible para la mejora de la condición física, al menos en entrenamientos de corta duración y para poblaciones jóvenes sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, en lugar de usar cargas más pesadas, Además de esto, dado que un entrenamiento de fuerza con cargas más bajas, con un número moderado de repeticiones por serie, lejos del fallo muscular, produce un menor estrés que con cargas más altas, el entrenamiento con cargas ligeras puede permitir una recuperación más rápida después de cada sesión de entrenamiento y producir menor interferencia sobre el rendimiento específico.

These results could have implications for coaches who can consider use protocols of light loads resistance training and a low volume, performing each repetition as fast as possible for improving physical condition, at least in short term trainings and with young populations without previous experience in resistance training instead using high loads resistance training. In addition, considering a resistance training program with lower loads, with a determined moderate number of repetitions, far from muscle failure, produce less stress than heavy load, the low loads resistance training could allow a faster recuperation after each training session and produce lees interference about the specific performance.

9.2. ESTUDIO II / STUDY II

Aunque no conocemos si un menor grado de fatiga dentro de la serie, ante la misma intensidad relativa y un mismo trabajo mecánico individual realizado (mismo número de repeticiones en la serie y totales) produce mejor o peor efecto sobre el rendimiento que el mismo entrenamiento pero sin pausas entre repeticiones, podemos sugerir que este tipo de entrenamiento se puede aplicar si queremos que nuestro deportista entrene ante unas intensidades y volúmenes determinados con grados de fatiga más bajos que los alcanzados con el mismo entrenamiento sin descanso entre repeticiones, ya sea por la cercanía de la competición, por encontrarse en una fase inicial de la recuperación de la condición física o por cualquier otra causa. Pero también debería tenerse en cuenta que más de 10 s de pausa entre repeticiones probablemente no proporcione menor grado de fatiga. En esta situación, nos deberíamos plantear si una pausa de 20 s podría ocasionar una excesiva reducción del estímulo por exceso de descanso entre repeticiones, lo que podría traducirse en una disminución del efecto positivo del entrenamiento.

Although we don't know if a less degree of fatigue into the set, against the same relative intensity and the same mechanic work (same number of repetitions per set and total) produce better or worst effect on performance than the same resistance training without interrepetition rest, we can suggest that this type of training can be applied when we want that our participant trained with determined intensities and volumes with a smaller degree of fatigue than the reached with the same resistance training but without interrepetition rest, either because of proximity to the competition, the participant are recovery from injury of another reason. But another important question is that performing more than 10 seconds of interrepetition rest likely no produce a smaller degree of fatigue. In this situation, we should analyses if 20 seconds of interrepetition rest is too long and produce an excessive reduction of the stimulus.

9.3. ESTUDIO III / STUDY III

No se observó ninguna diferencia entre los dos grupos que utilizaron un entrenamiento de fuerza tipo clúster, así que no parece necesario usar un entrenamiento con 20 segundos de descanso entre repeticiones cuando el entrenamiento con 10 segundos de descanso entre repeticiones produce efectos muy similares o incluso mejores. Estos resultados son de interés para investigadores, entrenadores o profesionales de la actividad física ya que

este tipo de entrenamiento con descanso entre repeticiones produce efectos muy similares a los producidos por el entrenamiento tradicional y puede ser aplicado a personas mayores, deportistas que se recuperan de una lesión o atletas que se encuentren cerca de la competición y quieran bajar el grado de fatiga producido por el entrenamiento.

9.4. ESTUDIO IV / STUDY IV

De entre todas las variables que componen el entrenamiento de fuerza (volumen, intensidad, tipo y orden de ejercicio, velocidad de movimiento...), la intensidad relativa

usada en el entrenamiento de fuerza ha sido considerada la variable más importante a considerar cuando se programa un entrenamiento de fuerza con el objetivo de mejorar el rendimiento (Fry, 2004; Kraemer & Ratamess, 2004). Por esta razón, el conocimiento del efecto producido por esta variable cuando el resto de variables permanecen constantes a través de los distintos programas de entrenamiento de fuerza ha sido de vital importancia para los atletas, entrenadores e investigadores. Por tanto, si los entrenadores pretenden mejorar la fuerza máxima y el rendimiento físico de sus atletas en fases cercanas a la competición, aplicar un entrenamiento de fuerza con un volumen de ~20% de pérdida de velocidad dentro de la serie con cargas comprendidas entre el 55% y el 70% de 1RM y entre el 70% y el 85% de 1RM podrán conseguir su objetivo. Mientras que, con cargas comprendidas entre el 40% y el 55% de 1RM no se conseguirán mejoras suficientes. En este sentido, parece razonable indicar que, ya que el grupo que entrenó con cargas medias y el que entreno con cargas altas obtuvieron mejoras muy similares es mejor entrenar con cargas medias ya que obtenemos los mismos beneficios con cargas más bajas.

Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 34(10), 663-679.

Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674-688.

10.

**LIMITACIONES
DE LOS ESTUDIOS
PRESENTADOS**

10. LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS PRESENTADOS

La principal limitación de los estudios que componen esta Tesis Doctoral es la posible realización, por parte de los participantes, de actividad física ajena a la programada en los distintos estudios que componen dicha Tesis Doctoral (sesiones de entrenamiento y evaluación). En este sentido, se le pidió a los participantes de todos los estudios que componen esta investigación que no hicieran ningún tipo de actividad física más allá de la realizada en los estudios que componen la presente Tesis Doctoral. Sin embargo, esta instrucción no pudo ser cumplida por todos los participantes en mayor o menor medida, ya que todos ellos eran estudiantes del Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, de la Universidad Pablo de Olavide, de Sevilla, lo que les obligaba a realizar una actividad física mínima exigida en las distintas asignaturas que componen dicho grado. A pesar de esto, esperamos que esta limitación quede controlada en mayor o menor medida por la probabilidad de que la actividad física realizada por los distintos participantes se distribuyera a través de los grupos que componen cada estudio de manera semejante.

Naturalmente, los resultados observados en los estudios que componen la presente Tesis Doctoral solo pueden ser aplicables a participantes con un nivel de rendimiento y un grado de experiencia en el entrenamiento de fuerza similar al de los participantes que realizaron los estudios llevados a cabo en esta investigación. En esta línea, sería interesante aplicar estos estudios en otras poblaciones con diferentes características en relación con la edad, la experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, el nivel de rendimiento y otros rasgos relacionados con las mismas.

Una limitación muy importante relacionada con el **Estudio I** de la presente Tesis Doctoral es que no se pudo medir la velocidad a la que las participantes desplazaban la carga en el ejercicio de sentadilla completa durante todo el programa de entrenamiento. Esta información nos hubiera permitido realizar un análisis mucho más completo sobre el estímulo aplicado a las participantes, el cual fue el principal responsable de las adaptaciones que se produjeron como respuesta al entrenamiento de fuerza y provocaron los distintos cambios en el rendimiento. En un intento de paliar esta falta de información, se midió, cada tres semanas, la sesión del entrenamiento de fuerza que tocaba realizar a cada participante con el transductor lineal de velocidad T-Force System y se ajustó la

carga que estaba siendo levantada por cada participante con el objetivo de que la carga con la que se estaba entrenando fuese lo más próxima posible a la carga programada.

En relación con el **Estudio II** de la presente Tesis Doctoral, una posible limitación de este estudio es que solo se analizó el grado de fatiga mecánica y metabólica justo después de acabar cada esfuerzo (efecto agudo) y no se pudo analizar lo que ocurría con el estado del participante (grado de fatiga mecánica y metabólica), en relación al grado de fatiga mecánica y metabólica, en diferentes momentos después de la realización del mismo (8, 24, 48 o 72 h). El hecho de añadir esta información nos hubiera permitido conocer la situación de los participantes a medio plazo y tener una cierta idea del tiempo que se tarde en recuperar el participante después de la realización de un esfuerzo con un grado de fatiga determinado, y también podríamos haber comprobado si hay diferencias en la recuperación entre un esfuerzo tradicional y un esfuerzo con descanso entre repeticiones.

Debido al pequeño tamaño de la muestra (10 - 12 participantes por grupo), no podemos descartar un error tipo II cuando comparamos entre grupos en los **Estudios I, III y IV**. En algunas variables se alcanzaron diferencias porcentuales importantes entre-grupos aunque sin llegar a alcanzar diferencias estadísticamente significativas. Esto quiere decir, que con un mayor tamaño de la muestra es probable que se hubieran encontrado mayores diferencias que las mostradas en ambos estudios.

11.

**FUTURAS LÍNEAS
DE
INVESTIGACIÓN**

11. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tras las conclusiones obtenidas en los diferentes estudios que componen la presente Tesis Doctoral, y una vez examinados los efectos producidos por diferentes programas de entrenamiento de fuerza con distintas intensidades relativas y el mismo volumen, ya sea medido a través de la pérdida de velocidad dentro de la serie o por la realización del mismo número de repeticiones por serie y mismo número de repeticiones totales, en diferentes poblaciones. Así como, el grado de fatiga mecánica y metabólica aguda producido por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones (0, 10 y 20 s) y el efecto de estos mismos protocolos (después de 8 semanas de entrenamiento) sobre el rendimiento en sprint, salto vertical con cargas y sin cargas y en la fuerza de las extremidades inferiores en hombres jóvenes con experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Los avances en las ciencias del deporte y en particular en nuestra línea de investigación pasar por profundizar en los efectos producidos por programas de entrenamiento de fuerza con distintas intensidades o distintos tiempo de recuperación entre repeticiones. Por lo que algunos de los problemas a resolver en el futuro serían:

- Analizar los efectos producidos por diferentes programas de entrenamiento de fuerza con distintas intensidades y el mismo volumen a través de los cambios en la actividad eléctrica en los grupos implicados en el entrenamiento, así como analizar los cambios que se puedan producir en la composición muscular.
- Analizar los efectos producidos por distintos programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables excepto en el tiempo de recuperación entre repeticiones donde todos los grupos tengan el mismo grado de pérdida de velocidad. Así los grupos que descansen entre repeticiones tendrán que realizar un mayor número de repeticiones por serie para obtener el mismo grado de fatiga que los grupos que no descansen entre series, y así podremos observar si el hecho de realizar más repeticiones para tener la misma pérdida de velocidad tiene alguna influencia en el rendimiento físico.
- Realizar un estudio, como el Estudio II de la presente Tesis Doctoral, en el que todos los grupos tengan el mismo grado de fatiga y analizar el estado de los participantes durante las horas siguientes al esfuerzo.
- Analizar el efecto producido por diferentes programas de entrenamiento de fuerza con distintas intensidades y diferentes pérdidas de velocidad en la serie con el

objetivo de observar si el hecho de modificar la pérdida de velocidad y la intensidad resulta en cambios similares o diferentes entre grupos.

12.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS**

12. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aarskog, R., Wisnes, A., Wilhelmsen, K., Skogen, A., & Bjordal, J. M. (2012). Comparison of two resistance training protocols, 6RM versus 12RM, to increase the 1RM in healthy young adults. A single-blind, randomized controlled trial. *Physiother Res Int*, 17(3), 179-186.
- Ahtiainen, J. P., & Hakkinen, K. (2009). Strength athletes are capable to produce greater muscle activation and neural fatigue during high-intensity resistance exercise than nonathletes. *J Strength Cond Res*, 23(4), 1129-1134.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol*, 89(6), 555-563.
- Almasbakk, B., & Hoff, J. (1996). Coordination, the determinant of velocity specificity? *J Appl Physiol (1985)*, 81(5), 2046-2052.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev*, 88(1), 287-332.
- Allen, D. G., & Trajanovska, S. (2012). The multiple roles of phosphate in muscle fatigue. *Front Physiol*, 3, 463.
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Magnusson, S. P., Suetta, C., Madsen, J. L., Christensen, L. R., & Aagaard, P. (2005). Changes in the human muscle force-velocity relationship in response to resistance training and subsequent detraining. *J Appl Physiol (1985)*, 99(1), 87-94.
- Andersen, L. L., Andersen, J. L., Zebis, M. K., & Aagaard, P. (2010). Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scand J Med Sci Sports*, 20(1), e162-169.
- Asmussen, E. (1979). Muscle fatigue. *Med Sci Sports*, 11 ((4)), 313-321.
- Babault, N., Desbrosses, K., Fabre, M. S., Michaut, A., & Pousson, M. (2006). Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *J Appl Physiol (1985)*, 100(3), 780-785.
- Baker, D., Wilson, G., & Carlyon, R. (1994). Periodization: the effect on strength of manipulating volume and intensity. *J Strength Cond Res*, 8, 235-242.
- Barry, B. K., & Enoka, R. M. (2007). The neurobiology of muscle fatigue: 15 years later. *Integr Comp Biol*, 47(4), 465-473.

- Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform*, 1(1), 50-57.
- Berger, R. A. (1962). Effect of varied weight training programs on strength. . *Res Q*, 33 ((2)), 168-181.
- Berger, R. A. (1965). Comparison of the effect of various weight training loads on strength. . *Res Q*, 36, 141-146.
- Berger, R. A. (1972). Effect of varied sets of static training on dynamic strength. *Correct Ther J*, 26((2)), 52-54.
- Bigland-Ritchie, B., Furbush, F., & Woods, J. J. (1986). Fatigue of intermittent submaximal voluntary contractions: central and peripheral factors. *J Appl Physiol* (1985), 61(2), 421-429.
- Bigland-Ritchie, B., Rice, C. L., Garland, S. J., & Walsh, M. L. (1995). Task-dependent factors in fatigue of human voluntary contractions. *Adv Exp Med Biol*, 384, 361-380.
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med*, 35(10), 841-851.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H., Lakomy, H. K., & Nevill, A. M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol*, 482 (Pt 2), 467-480.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Leggett, S. H., & Pollock, M. L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Med Sci Sports Exerc*, 25(1), 132-138.
- Buitrago, S., Wirtz, N., Yue, Z., Kleinoder, H., & Mester, J. (2012). Effects of load and training modes on physiological and metabolic responses in resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*, 112(7), 2739-2748.
- Busso, T. (2003). Variable dose-response relationship between exercise training and performance. *Med Sci Sports Exerc*, 35(7), 1188-1195.
- Byrd, R., Centry, R., & Boatwright, D. (1988). Effect of inter-repetition rest intervals in circuit weight training on PWC170 during arm-cranking exercise. *J Sports Med Phys Fitness*, 28(4), 336-340.
- Byrne, C., & Eston, R. (2002a). The effect of exercise-induced muscle damage on isometric and dynamic knee extensor strength and vertical jump performance. *J Sports Sci*, 20(5), 417-425.

- Byrne, C., & Eston, R. (2002b). Maximal-intensity isometric and dynamic exercise performance after eccentric muscle actions. *J Sports Sci*, 20(12), 951-959.
- Cairns, S. P., Knicker, A. J., Thompson, M. W., & Sjogaard, G. (2005). Evaluation of models used to study neuromuscular fatigue. *Exerc Sport Sci Rev*, 33(1), 9-16.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., . . . Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*, 88(1-2), 50-60.
- Carpinelli, R. N. (2002). Berger in retrospect: effect of varied weight training programmes on strength. *Br J Sports Med*, 36(5), 319-324.
- Carpinelli, R. N. (2004). Science versus opinion. *Br J Sports Med*, 38(2), 240-242.
- Carpinelli, R. N., & Otto, R. M. (1998). Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Med*, 26(2), 73-84.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute mechanical responses. *Sports Med*, 35(11), 967-989.
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2002). Is velocity-specific strength training important in improving functional performance? *J Sports Med Phys Fitness*, 42(3), 267-273.
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2003). Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res*, 17(1), 148-155.
- Chapman, D., Newton, M., Sacco, P., & Nosaka, K. (2006). Greater muscle damage induced by fast versus slow velocity eccentric exercise. *Int J Sports Med*, 27(8), 591-598.
- Chesnut, J. L., & Docherty, D. (1999). The Effects of 4 and 10 Repetition Maximum Weight-Training Protocols on Neuromuscular Adaptations in Untrained Men. *Journal of Strength and conditioning research*, 13, 353 - 359.
- D. Baker and Newton, R. (2005). Methods to increase the effectiveness of maximal power training for the upper body. *Strength Conditioning Journal*, 27, 24-32.
- De Ruiter, C. J., Jones, D. A., Sargeant, A. J., & De Haan, A. (1999). The measurement of force/velocity relationships of fresh and fatigued human adductor pollicis muscle. *Eur J Appl Physiol* 80(4), 386-393.

- Denton, J., & Cronin, J. B. (2006). Kinematic, kinetic, and blood lactate profiles of continuous and intraset rest loading schemes. *J Strength Cond Res*, 20(3), 528-534.
- Desmedt, J. E., & Godaux, E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol*, 264 ((3)), 673-693.
- Desmedt, J. E., & Godaux, E. (1978). Ballistic contractions in fast or slow human muscles: discharge patterns of single motor units. *J Physiol*, 285 185-196.
- Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., Lindsell, R. P., Pyne, D. B., Hunt, P. H., & McKenna, M. J. (2005). Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. *J Strength Cond Res*, 19(2), 382-388.
- Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., McKenna, M. J., Lindsell, R. P., Hunt, P. H., & Pyne, D. B. (2007). Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. *J Strength Cond Res*, 21(3), 841-847.
- Edman, K. A., & Mattiazzi, A. R. (1981). Effects of fatigue and altered pH on isometric force and velocity of shortening at zero load in frog muscle fibres. *J Muscle Res Cell Motil*, 2((3)), 321-334.
- Edwards, R. H. T. Biochemical basis of fatigue in exercise performance. *Biochemistry of Exercise, edited by Knuttgen HG. Champaign, IL: Human Kinetics (1983)*, 3-28.
- Enoka, R. M., Baudry, S., Rudroff, T., Farina, D., Klass, M., & Duchateau, J. (2011). Unraveling the neurophysiology of muscle fatigue. *J Electromyogr Kinesiol*, 21(2), 208-219.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*, 586(1), 11-23.
- Ferri, A., Narici, M., Grassi, B., & Pousson, M. (2006). Neuromuscular recovery after a strength training session in elderly people. *Eur J Appl Physiol*, 97(3), 272-279.
- Fielding, R. A., LeBrasseur, N. K., Cuoco, A., Bean, J., Mizer, K., & Fiatarone Singh, M. A. (2002). High-velocity resistance training increases skeletal muscle peak power in older women. *J Am Geriatr Soc*, 50(4), 655-662.
- Fitts, R. H. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *J Appl Physiol (1985)*, 104(2), 551-558.

- Ford, P., De Ste Croix, M., Lloyd, R., Meyers, R., Moosavi, M., Oliver, J., . . . Williams, C. (2011). The long-term athlete development model: physiological evidence and application. *J Sports Sci*, 29(4), 389-402.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 34(10), 663-679.
- Garcia-Ramos, A., Padial, P., Haff, G. G., Arguelles-Cienfuegos, J., Garcia-Ramos, M., Conde-Pipo, J., & Feriche, B. (2015). Effect of Different Interrepetition Rest Periods on Barbell Velocity Loss During the Ballistic Bench Press Exercise. *J Strength Cond Res*, 29(9), 2388-2396.
- Girman, J. C., Jones, M. T., Matthews, T. D., & Wood, R. J. (2014). Acute effects of a cluster-set protocol on hormonal, metabolic and performance measures in resistance-trained males. *Eur J Sport Sci*, 14(2), 151-159.
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2011). Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res*, 25(2), 556-560.
- González-Badillo, J. J., & Ribas, J. (2002). Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. *INDE publicaciones. Barcelona (España)*.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Gorostiaga, E. M., Arellano, R., & Izquierdo, M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res*, 19(3), 689-697.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Izquierdo, M., & Gorostiaga, E. M. (2006). Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res*, 20(1), 73-81.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Pareja-Blanco, F. (2014). Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *Eur J Sport Sci*, 14(8), 772-781.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Ribas, J., Lopez-Lopez, C., Mora-Custodio, R., . . . Pareja-Blanco, F. (2016). Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. *Int J Sports Med*, 37(4), 295-304.

- Gonzalez-Badillo, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*, 31(5), 347-352.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Yanez-Garcia, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodriguez-Rosell, D. (2017). Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *Int J Sports Med*, 38(3), 217-225.
- Gorostiaga, E. M., Navarro-Amezqueta, I., Calbet, J. A., Hellsten, Y., Cusso, R., Guerrero, M., . . . Izquierdo, M. (2012). Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. *PLoS One*, 7(7), e40621.
- Griffin, L., & Cafarelli, E. (2005). Resistance training: cortical, spinal, and motor unit adaptations. *Can J Appl Physiol*, 30(3), 328-340.
- Haff, G. G., Whitley, A., McCoy, L. B., O'Bryant, H. S., Kilgore, J. L., Haff, E. E., . . . Stone, M. H. (2003). Effects of different set configurations on barbell velocity and displacement during a clean pull. *J Strength Cond Res*, 17(1), 95-103.
- Hakkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1987). Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Sports Med*, 8 (Suppl 1), 61-65.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med*, 44 Suppl 2, S139-147.
- Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D., & Tarnopolsky, M. A. (2003). Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta Physiol Scand*, 178(2), 165-173.
- Hansen, K. T., Cronin, J. B., & Newton, M. J. (2011). The effect of cluster loading on force, velocity, and power during ballistic jump squat training. *Int J Sports Physiol Perform*, 6(4), 455-468.
- Hansen, K. T., Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. (2011). Does cluster loading enhance lower body power development in preseason preparation of elite rugby union players? *J Strength Cond Res*, 25(8), 2118-2126.
- Hansen, K. T., Cronin, J. B., Pickering, S. L., & Newton, M. J. (2011). Does cluster loading enhance lower body power development in preseason preparation of elite rugby union players? *J Strength Cond Res*, 25((8)), 2118-2126.
- Hardee, J. P., Lawrence, M. M., Zwetsloot, K. A., Triplett, N. T., Utter, A. C., & McBride, J. M. (2013). Effect of cluster set configurations on power clean technique. *J Sports Sci*, 31(5), 488-496.

- Hardee, J. P., Triplett, N. T., Utter, A. C., Zwetsloot, K. A., & McBride, J. M. (2012). Effect of interrepetition rest on power output in the power clean. *J Strength Cond Res*, 26(4), 883-889.
- Harris, N. K., Cronin, J. B., Hopkins, W. G., & Hansen, K. T. (2008). Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: effect on sprint ability. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1742-1749.
- Hedges LV, O. I. (1985). *Statistical Methods for Meta-Analysis*. Orlando FL: Academic Press.
- Holm, L., Reitelseder, S., Pedersen, T. G., Doessing, S., Petersen, S. G., Flyvbjerg, A., . . . Kjaer, M. (2008). Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *Journal of Applied Physiology*, 105, 1454 - 1461.
- Holtermann, A., Roeleveld, K., Engstrom, M., & Sand, T. (2007). Enhanced H-reflex with resistance training is related to increased rate of force development. *Eur J Appl Physiol*, 101(3), 301-312.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13.
- Hoppeler, H. (2016). Molecular networks in skeletal muscle plasticity. *J Exp Biol*, 219(Pt 2), 205-213.
- Hunter, S. K., Critchlow, A., Shin, I. S., & Enoka, R. M. (2004). Men are more fatigable than strength-matched women when performing intermittent submaximal contractions. *J Appl Physiol (1985)*, 96(6), 2125-2132.
- Iglesias-Soler, E., Carballeira, E., Sanchez-Otero, T., Mayo, X., Jimenez, A., & Chapman, M. L. (2012). Acute effects of distribution of rest between repetitions. *Int J Sports Med*, 33(5), 351-358.
- Ingebrigtsen, J., Holtermann, A., & Roeleveld, K. (2009). Effects of load and contraction velocity during three-week biceps curls training on isometric and isokinetic performance. *J Strength Cond Res*, 23(6), 1670-1676.
- Izquierdo, M., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W. J., Altadill, A., . . . Gorostiaga, E. M. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med*, 27(9), 718-724.

- Izquierdo, M., Ibanez, J., Calbet, J. A., Gonzalez-Izal, M., Navarro-Amezqueta, I., Granados, C., . . . Gorostiaga, E. M. (2009). Neuromuscular fatigue after resistance training. *Int J Sports Med*, 30(8), 614-623.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., . . . Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol (1985)*, 100(5), 1647-1656.
- Jímenez-Reyes, P., Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Marques, M., & González-Badillo, J. J. (2016). Maximal Velocity as a Discriminating Factor in the Performance of Loaded Squat Jumps. *Int J Sports Physiol Perform*, 11((2)), 227-234.
- Jones, K., Bishop, P., Hunter, G., & Fleisig, G. (2001). The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *J Strength Cond Res*, 15(3), 349-356.
- Kanehisa, H., & Miyashita, M. . (1983). Specificity of velocity in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physio*, 52 ((1)), 104-106.
- Kesar, T., & Binder-Macleod, S. (2006). Effect of frequency and pulse duration on human muscle fatigue during repetitive electrical stimulation. *Exp Physiol*, 91(6), 967-976.
- Klass, M., Guissard, N., & Duchateau, J. (2004). Limiting mechanisms of force production after repetitive dynamic contractions in human triceps surae. *J Appl Physiol (1985)*, 96(4), 1516-1521; discussion.
- Kraemer, W. J., , F., S. J., & Deschenes, M. (1988). A review: factors in exercise prescription of resistance training. *Strength Cond J*, 10, 36-41.
- .
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674-688.
- Krieger, J. W. (2010). Single vs. multiple sets of resistance exercise for muscle hypertrophy: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*, 24(4), 1150-1159.
- Lamas, L., Ugrinowitsch, C., Rodacki, A., Pereira, G., Mattos, E. C., Kohn, A. F., & Tricoli, V. (2012). Effects of strength and power training on neuromuscular adaptations and jumping movement pattern and performance. *J Strength Cond Res*, 26(12), 3335-3344.

- Lander, J. E., Hundley, J. R., & Simonton, R. L. (1992). The effectiveness of weight-belts during multiple repetitions of the squat exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5), 603-609.
- Lawton, T., Cronin, J., Drinkwater, E., Lindsell, R., & Pyne, D. (2004). The effect of continuous repetition training and intra-set rest training on bench press strength and power. *J Sports Med Phys Fitness*, 44(4), 361-367.
- Lawton, T. W., Cronin, J. B., & Lindsell, R. P. (2006). Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *J Strength Cond Res*, 20(1), 172-176.
- Levenez, M., Garland, S. J., Klass, M., & Duchateau, J. (2008). Cortical and spinal modulation of antagonist coactivation during a submaximal fatiguing contraction in humans. *J Neurophysiol*, 99(2), 554-563.
- MacIntosh, B. R., & Rassier, D. E. (2002). What is fatigue? *Can J Appl Physiol*, 27(1), 42-55.
- Maluf, K. S., & Enoka, R. M. (2005). Task failure during fatiguing contractions performed by humans. *J Appl Physiol (1985)*, 99(2), 389-396.
- Maluf, K. S., Shinohara, M., Stephenson, J. L., & Enoka, R. M. (2005). Muscle activation and time to task failure differ with load type and contraction intensity for a human hand muscle. *Exp Brain Res*, 167(2), 165-177.
- Mangine, G. E., Ratamess, N. A., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., Kang, J., & Chilakos, A. (2008). The effects of combined ballistic and heavy resistance training on maximal lower- and upper-body strength in recreationally trained men. *Journal of Strength and conditioning research*, 22, 132 - 139.
- Marshall, P. W., Robbins, D. A., Wrightson, A. W., & Siegler, J. C. (2012). Acute neuromuscular and fatigue responses to the rest-pause method. *J Sci Med Sport*, 15(2), 153-158.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., & Newton, R. U. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res*, 16(1), 75-82.
- McCully, K. K., Authier, B., Olive, J., & Clark, B. J., 3rd. (2002). Muscle fatigue: the role of metabolism. *Can J Appl Physiol*, 27(1), 70-82.
- McDonagh, M. J., & Davies, C. T. (1984). Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 52(2), 139-155.

- McNeil, C. J., Murray, B. J., & Rice, C. L. (2006). Differential changes in muscle oxygenation between voluntary and stimulated isometric fatigue of human dorsiflexors. *J Appl Physiol* (1985), 100(3), 890-895.
- Moir, G. L., Graham, B. W., Davis, S. E., Guers, J. J., & Witmer, C. A. (2013). Effect of cluster set configurations on mechanical variables during the deadlift exercise. *J Hum Kinet*, 39, 15-23.
- Molina, R., & Denadai, B. S. (2012). Dissociated time course recovery between rate of force development and peak torque after eccentric exercise. *Clin Physiol Funct Imaging*, 32(3), 179-184.
- Mora-Custodio, R., Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Yanez-Garcia, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effect of Low- vs. Moderate-Load Squat Training on Strength, Jump and Sprint Performance in Physically Active Women. *Int J Sports Med*, 37(6), 476-482.
- Morrissey, M. C., Harman, E. A., Frykman, P. N., & Han, K. H. (1998). Early phase differential effects of slow and fast barbell squat training. *Am J Sports Med*, 26(2), 221-230.
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 75(3), 193-199.
- Mulligan, S. E., Fleck, S. J., Gordon, S. E., Koziris, L. P., Triplett-McBride, N. T., & Kraemer, W. J. (1996). Influence of resistance exercise volume on serum growth hormone and cortisol concentrations in women. *J Strength Cond Res*, 10((4)), 256 - 262.
- Munkvik, M., Lunde, P. K., & Sejersted, O. M. (2009). Causes of fatigue in slow-twitch rat skeletal muscle during dynamic activity. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 297(3), R900-910.
- Munn, J., Herbert, R. D., Hancock, M. J., & Gandevia, S. C. (2005). Resistance training for strength: effect of number of sets and contraction speed. *Med Sci Sports Exerc*, 37(9), 1622-1626.
- Murphy, A. J., & Wilson, G. J. (1996a). The assessment of human dynamic muscular function: a comparison of isoinertial and isokinetic tests. *J Sports Med Phys Fitness*, 36(3), 169-177.

- Murphy, A. J., & Wilson, G. J. (1996b). Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 73(3-4), 353-357.
- Oliver, J. M., Jagim, A. R., Sanchez, A. C., Mardock, M. A., Kelly, K. A., Meredith, H. J., . . . Kreider, R. B. (2013). Greater gains in strength and power with intraset rest intervals in hypertrophic training. *J Strength Cond Res*, 27(11), 3116-3131.
- Oliver, J. M., Kreutzer, A., Jenke, S., Phillips, M. D., Mitchell, J. B., & Jones, M. T. (2015). Acute response to cluster sets in trained and untrained men. *Eur J Appl Physiol*, 115(11), 2383-2393.
- Pallares, J. G., Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., De La Cruz-Sanchez, E., & Mora-Rodriguez, R. (2014). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci*, 32(12), 1165-1175.
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med*, 35(11), 916-924.
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., Lopez-Lopez, C., Mora-Custodio, R., . . . Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin Physiol Funct Imaging*.
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., . . . Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports*.
- Pareja-Blanco, F., Suarez-Arrones, L., Rodriguez-Rosell, D., Lopez-Segovia, M., Jimenez-Reyes, P., Bachero-Mena, B., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Evolution of Determinant Factors of Repeated Sprint Ability. *J Hum Kinet*, 54, 115-126.
- Pereira, G., Almeida, A. G., Rodacki, A. L., Ugrinowitsch, C., Fowler, N. E., & Kokubun, E. (2008). The influence of resting period length on jumping performance. *J Strength Cond Res*, 22(4), 1259-1264.
- Pereira, M. I., & Gomes, P. S. (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports Med*, 33(6), 427-438.

- Pyne, D. B., Boston, T., Martin, D. T., & Logan, A. (2000). Evaluation of the Lactate Pro blood lactate analyser. *Eur J Appl Physiol*, 82(1-2), 112-116.
- Rahimi, R., Qaderi, M., Faraji, H., & Boroujerdi, S. S. (2010). Effects of very short rest periods on hormonal responses to resistance exercise in men. *J Strength Cond Res*, 24(7), 1851-1859.
- Ratamess, N. A., Falvo, M. J., Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., & Kang, J. (2007). The effect of rest interval length on metabolic responses to the bench press exercise. *Eur J Appl Physiol*, 100(1), 1-17.
- Rehn, T. A., Borge, B. A., Lunde, P. K., Munkvik, M., Sneve, M. L., Grondahl, F., . . . Iversen, P. O. (2009). Temporary fatigue and altered extracellular matrix in skeletal muscle during progression of heart failure in rats. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 297(1), R26-33.
- Rodriguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Mora-Custodio, R., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). The effect of high-speed strength training on physical performance in young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res*.
- Rodriguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 240-246.
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A., & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 22(3), 773-780.
- Rontu, J. P., Hannula, M. I., Leskinen, S., Linnamo, V., & Salmi, J. A. (2010). One-repetition maximum bench press performance estimated with a new accelerometer method. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2018-2025.
- Rooney, K. J., Herbert, R. D., & Balnave, R. J. (1994). Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Med Sci Sports Exerc*, 26(9), 1160-1164.
- Rudroff, T., Staudenmann, D., & Enoka, R. M. (2008). Electromyographic measures of muscle activation and changes in muscle architecture of human elbow flexors during fatiguing contractions. *J Appl Physiol (1985)*, 104(6), 1720-1726.
- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Med*, 13(2), 99-107.

- Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *J Strength Cond Res*, 20(3), 523-527.
- Sánchez-Medina, L., García-Pallarés, J., Pérez, C. E., Fernandes, J., & González-Badillo, J. J. (2011). Estimation of relative load from mean velocity in the full squat exercise. In: *Cable NT, George K ed. Book of Abstracts of the 16th Annual Congress of the European College of Sports Science, UK: Liverpool John Moores University* 669.
- Sanchez-Medina, L., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9), 1725-1734.
- Sanchez-Medina, L., Gonzalez-Badillo, J. J., Perez, C. E., & Pallares, J. G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int J Sports Med*, 35(3), 209-216.
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J. G., Pérez, C. E., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Med Int Open*, 1 ((2)), E80-E88.
- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med*, 31(2), 123-129.
- Sayers, S. P., & Gibson, K. (2010). A comparison of high-speed power training and traditional slow-speed resistance training in older men and women. *J Strength Cond Res*, 24(12), 3369-3380.
- Schilling, B. K., Falvo, M. J., & Chiu, L. Z. (2008). Force-velocity, impulse-momentum relationships: implications for efficacy of purposefully slow resistance training. *J Sports Sci Med*, 7(2), 299-304.
- Schmidtbleicher D, H. G. (1981). Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. *Eur J Appl Physiol* 46(221 - 228).
- Schoenfeld, B. J., Pope, Z. K., Benik, F. M., Hester, G. M., Sellers, J., Nooner, J. L., . . . Krieger, J. W. (2016). Longer Interset Rest Periods Enhance Muscle Strength and Hypertrophy in Resistance-Trained Men. *J Strength Cond Res*, 30(7), 1805-1812.
- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., Saez de Villarreal, E., & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med*, 44(12), 1693-1702.

- Seynnes, O., Fiatarone Singh, M. A., Hue, O., Pras, P., Legros, P., & Bernard, P. L. (2004). Physiological and functional responses to low-moderate versus high-intensity progressive resistance training in frail elders. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 59(5), 503-509.
- Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., . . . Hakkinen, K. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *J Strength Cond Res*, 20(4), 819-823.
- Smilios, I., Hakkinen, K., & Tokmakidis, S. P. (2010). Power output and electromyographic activity during and after a moderate load muscular endurance session. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2122-2131.
- Sogaard, K., Gandevia, S. C., Todd, G., Petersen, N. T., & Taylor, J. L. (2006). The effect of sustained low-intensity contractions on supraspinal fatigue in human elbow flexor muscles. *J Physiol*, 573(Pt 2), 511-523.
- Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Nindl, B. C., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2008). Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med*, 38(7), 527-540.
- Stone, W. J., & Coulter, S. P. . (1994). Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *J Strength Cond Res*, , 8, 231-234.
- Taaffe, D. R., Pruitt, L., Pyka, G., Guido, D., & Marcus, R. (1996). Comparative effects of high- and low-intensity resistance training on thigh muscle strength, fiber area, and tissue composition in elderly women. *Clin Physiol*, 16(4), 381-392.
- Tan, B. (1999). Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res*, 13 289-304.
- Terzis, G., Spengos, K., Manta, P., Sarris, N., & Georgiadis, G. (2008). Fiber type composition and capillary density in relation to submaximal number of repetitions in resistance exercise. *J Strength Cond Res*, 22(3), 845-850.
- Tesch, P. A., Komi, P. V., & Hakkinen, K. (1987). Enzymatic adaptations consequent to long-term strength training. *Int J Sports Med*, 8 Suppl 1, 66-69.
- Tidow, G. (1995). Muscular adaptations induced by training and detraining. A review of biopsy studies. *New Studies in Athletics*, 10, 47 - 56.

- Westcott, W. L., Winett, R. A., Anderson, E. S., Wojcik, J. R., Loud, R. L., Cleggett, E., & Glover, S. (2001). Effects of regular and slow speed resistance training on muscle strength. *J Sports Med Phys Fitness*, 41(2), 154-158.
- Westerblad, H., Allen, D. G., & Lannergren, J. (2002). Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci*, 17, 17-21.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, 25(11), 1279-1286.
- Willardson, J. M., & Burkett, L. N. (2008). The effect of different rest intervals between sets on volume components and strength gains. *J Strength Cond Res*, 22(1), 146-152.
- Withers, R. T. (1970). Effect of varied weight-training loads on the strength of university freshmen. *Res Q*, 41(1), 110-114.
- Young, W. B., & Bilby, G. E. . (1993). The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *J Strength Cond Res*, 7 ((3)), 172-178.
- Zatsiorsky, V. M. (1995). *Science and Practice of Strength Training*.

13.

**RELACIÓN DE
TABLAS**

13. RELACIÓN DE TABLAS

Número	Título de la Tabla	Página
1	Programa de entrenamiento de Fuerza para ambos grupos experimentales	72
2	Valores obtenidos (Media \pm dt) durante el pre- y el post-test en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular.	76
3	Transferencia de las ganancias de fuerza en ambos grupos experimentales sobre los ejercicios no entrenados	77
4	Características descriptivas de los protocolos de entrenamiento en cada sesión.	96
5	Medidas de la fatiga mecánica y el estrés metabólico después de cada esfuerzo para cada grupo.	100
6	Relación entre las diferentes variables mecánicas y metabólicas.	101
7	Características descriptivas de los programas de entrenamiento de fuerza realizados en cada sesión para el RC, G10 y G20.	120
8	Cambios en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular del pre al post para cada grupo (media \pm dt).	124
9	Probabilidades de cambio intra-grupos en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular.	125
10	Fiabilidad observada en los test realizados en el presente estudio.	128
11	Características descriptivas de los protocolos de entrenamiento de fuerza realizados en cada sesión para el G40-55, G55-70 y G70-85.	148
12	Cambios dentro de cada grupo en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular desde el test inicial al final (Mean \pm SD).	153
13	Cambios intra-grupos en las variables seleccionadas del rendimiento neuromuscular.	154
14	Transferencia de las ganancias de fuerza y a las ganancias en sprint y salto vertical.	155

14.

**RELACIÓN DE
FIGURAS.**

14. RELACIÓN DE FIGURAS

Número	Título de la Tabla	Página
1	Test de carrera de 20 m	63
2	Test de salto vertical con contramovimiento	64
3	Realización del test isoinercial de incremento de carga en el ejercicio de sentadilla completa (de izquierda a derecha: posición inicial, posición intermedia y posición final).	66
4	Maquina tipo Smith en la que se realizaron todas las sesiones de evaluación y entrenamiento.	67
5	Dispositivo T-Force System para medir la velocidad a la que se desplaza la carga en todas las sesiones de evaluación y entrenamiento.	68
6	Sistema de estimación de la altura del salto vertical Optojump Next	69
7	Células fotoeléctricas Microgate para medir el tiempo en el test de aceleración.	70
8	Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el GCB y GCM en las variables en 10m (T10), 10-20m (T10-20) y 20m (T20), la altura de salto vertical (CMJ) y la fuerza máxima de las piernas (1RMest); PCVMP = velocidad alcanzada contra la primera carga absoluta del test incremental; UCVMP = velocidad media propulsiva alcanzada contra la última carga absoluta del test incremental.	75
9	Ejemplo de la realización del protocolo de Fuerza para un participante representativo del RC. Se calculó la pérdida de VMP sobre las tres series (21.5%), la pérdida de VMP con la carga V1 m•s ⁻¹ antes y después del esfuerzo (21.6%) y la pérdida de altura del CMJ antes y después del ejercicio (20.5%).	93
10	Medición de la concentración de lactato en sangre con el medidor Lactate pro 2.	95
11	Promedio de la velocidad media propulsiva durante cada repetición para cada magnitud de carga usada y a través de las diferentes configuraciones del entrenamiento (RC, G10 y G20). Diferencias estadísticas respecto al G10: P < .05, †† P < .01, ††† P < 0.001. Diferencias estadísticas respecto al G20: ‡ P < .05, ‡‡ P < .01, ‡‡‡ P < .001.	101

12	Ejecución del salto con cargas (de izquierdas a derecha posición inicial, intermedia y final).	117
13	Curva carga-velocidad obtenida para los grupos RC (A), G10 (B) y G20 (C) antes y después del periodo de entrenamiento. Las barras de error representan las dt. Diferencias estadísticamente significativas intra grupo: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.	126
14	Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el RC y G10 en las variables tiempo en 10 metros (T10), tiempo en 20 metros (T20), tiempo de 10 a 20 metros (T10-20), salto con contra movimiento (CMJ), velocidad lograda en el salto con 20 kg (CMJ20), velocidad lograda en el salto en 30 g CMJ30), repetición máxima (1RM) y repetición máxima partida por el peso corporal (1RM/BM).	127
15	Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el RC y G20 en las variables tiempo en 10 metros (T10), tiempo en 20 metros (T20), tiempo de 10 a 20 metros (T10-20), salto con contra movimiento (CMJ), velocidad lograda en el salto con 20 kg (CMJ20), velocidad lograda en el salto con 30 g CMJ30), repetición máxima (1RM) y repetición máxima partida por el peso corporal (1RM/BM)..	127
16	Diferencias estandarizadas en el cambio (intervalo de confianza al 90%) del pre al post entre el G10 y G20 en las variables tiempo en 10 metros (T ₁₀), tiempo en 20 metros (T ₂₀), tiempo de 10 a 20 metros (T ₁₀₋₂₀), salto con contra movimiento (CMJ), velocidad lograda en el salto con 20 kg (CMJ20), velocidad lograda en el salto con 30 g CMJ30), repetición máxima (1RM) y repetición máxima partida por el peso corporal (1RM/BM).	128
17	Relación entre los cambios individuales en las variables de T20 y CMJ y los cambios en 1RM y 1RM/BM. G40-55 = grupo que realizó el entrenamiento con cargas bajas (40% a 55% de la 1RM); G55-70 = grupo que realizó el entrenamiento con cargas medias (55% a 70% de la 1RM); G70-85 = grupo que realizó el entrenamiento con cargas altas (70% a 85% de la 1RM).	155
18	Curva carga-velocidad obtenida para los grupos RC (A), G10 (B) y G20 (C) antes y después del periodo de entrenamiento. Las barras de error representan las dt. Diferencias estadísticamente significativas intra grupo: * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.	157

15.

**GLOSARIO DE
ACRÓNIMOS**

15. GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

Acrónimo	Significado
1RM	Una repetición máxima
(t)	Tiempo de vuelo
$\Delta\%$	Porcentajes de cambio
1RM/PC	Una repetición máxima dividida por el peso corporal
1RMest	Una repetición máxima estimada
C1 m·s⁻¹	Carga que se desplazó a un metro por segundo
CCI	Coefficiente de correlación intra clase
Clúster	Añadir un tiempo de recuperación entre repeticiones
CMJ	Salto con contra movimiento
CMJcc	Velocidad máxima en el salto con 20 y 30 kg
CV	Coefficiente de variación
dt	Desviación típica

FCr	Fosfocreatina
G10	Grupo que descansa 10 segundos entre repeticiones
G20	Grupo que descansa 10 segundos entre repeticiones
G40-55	Grupo que entrenó con cargas del 40% al 55% de 1RM
G55-70	Grupo que entrenó con cargas del 55% al 70% de 1RM
G70-85	Grupo que entrenó con cargas del 70% al 85% de 1RM
GC	Grupo control
GCB	Grupo de cargas bajas (40% a 60% de 1RM)
GCM	Grupo de cargas medias (65% a 80% de 1RM)
h	hora
Hz	Hercios
IC	Intervalo de confianza
Kg	Kilogramos
Lactatemia	Concentración de lactato en sangre
m	Metros
m·s-1	metros por segundos

°C	Grados centígrados
PEF	Protocolo de entrenamiento de fuerza
Post	Test final
Pre	Test inicial
PV	Perdida de velocidad dentro de la serie
Pvmp	Velocidad contra la primera carga del test incremental de carga
RC	Grupo que realiza las repeticiones de manera continua
Rep	repeticiones
RX	Barra transmisora del optojump
S	Semana
s	segundos
SC	Ejercicio de sentadilla completa
T10	Tiempo que se tarda en recorrer una distancia de 10 metros a sprint
T10-20	Tiempo en recorrer una distancia de 10 a 20 metros a sprint
T20	Tiempo que se tarda en recorrer una distancia de 20 metros a sprint
TE	Tamaño del efecto

TX Barra receptora del optojump

Uvmp Velocidad contra la última carga del test incremental de carga

VMP Velocidad media propulsiva

VMPCA Velocidad con cargas superiores al 60% de 1RM

VMPCB Velocidad con cargas inferiores o iguales al 60% de 1RM

VMPcc Velocidad alcanzada con las cargas comunes al pre y post

ANEXO I

Consentimientos Informados

ESTUDIO I

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, D. _____, mayor de edad, con D.N.I. _____, domicilio en _____ y N° de Teléfono _____

DECLARO:

Que he sido informado por el Dr. Juan José González Badillo sobre las posibles consecuencias de la realización de los tests físicos de press de banca y sentadilla completa, así como de los riesgos potenciales y molestias que podrían derivarse de los mismos, a la vez que he podido realizar todas las preguntas que he considerado necesarias, respondiéndome a todas ellas de manera comprensible para mí.

También me ha informado de mi derecho a rechazar el tratamiento o revocar este consentimiento.

Por lo tanto, CONSIENTO en someterme a los protocolos indicados.

Si mi participación puede ser de utilidad científica y para tal fin se publican artículos científicos, autorizo la utilización de los datos reportados durante mis pruebas siempre y cuando se me garantice el más absoluto respeto a mi intimidad y anonimato.

Firma del sujeto

Firma del responsable del estudio

En Sevilla, a ____ de _____ de 20__

ESTUDIO II

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, D. _____, mayor de edad, con D.N.I. _____, domicilio en _____ y N° de Teléfono _____, declaro que (marcar con una X en la casilla):

- Me ofrezco a participar como voluntario en este *Proyecto de Investigación*, habiéndome sido explicado el propósito, naturaleza, beneficios y posibles riesgos de tomar parte en el mismo.
- Sé que el Dr. D. **Juan José González Badillo**, Catedrático de Universidad, en la Universidad Pablo de Olavide (UPO) de Sevilla es el Investigador Principal de este *Proyecto* y supervisa su realización, y que en el mismo también participa el doctor en Medicina y Catedrático de Universidad, Dr. D. **Juan Ribas Serna**
- He decidido colaborar voluntariamente en este *Proyecto*.
- Sé que, si así lo deseo, puedo dejar de colaborar en cualquier momento sin ningún problema.
- Estoy de acuerdo en que mis datos se guarden por el Investigador Principal, de forma confidencial, para su posterior análisis.
- Sé que los resultados de esta investigación, en caso de publicarse, no estarán referidos a mi persona, respetándose la confidencialidad de los mismos y mi intimidad.
- Soy consciente de las molestias y riesgos potenciales que podrían derivarse de la realización de las pruebas.
- Informaré al experimentador de cualquier malestar que sienta.
- He tenido la oportunidad de hacer las preguntas que he creído conveniente.
- He leído esta información, la considero suficientemente clara, y estoy de acuerdo en participar en el *Proyecto*.
- Se me ha dado una copia de esta *Declaración de Consentimiento*.

Por tanto, y estando conforme con todo lo anterior, **otorgo mi consentimiento** firmando la presente *Declaración de Consentimiento Informado*:

Firma del sujeto

Firma del responsable del estudio

En Sevilla, a ____ de _____ de 20__

ESTUDIO III

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, D. _____, mayor de edad, con D.N.I. _____, domicilio en _____ y N° de Teléfono _____, declaro que (marcar con una X en la casilla):

- Me ofrezco a participar como voluntario en este *Proyecto de Investigación*, habiéndome sido explicado el propósito, naturaleza, beneficios y posibles riesgos de tomar parte en el mismo.
- Sé que el Dr. D. **Juan José González Badillo**, Catedrático de Universidad, en la Universidad Pablo de Olavide (UPO) de Sevilla es el Investigador Principal de este *Proyecto* y supervisa su realización, y que en el mismo también participa el doctor en Medicina y Catedrático de Universidad, Dr. D. **Juan Ribas Serna**
- He decidido colaborar voluntariamente en este *Proyecto*.
- Sé que, si así lo deseo, puedo dejar de colaborar en cualquier momento sin ningún problema.
- Sé que se mantendrá en secreto mi identidad, que se identificará mi sangre con un número único y que dichas muestras de sangre serán destruidas antes de 2019.
- Estoy de acuerdo en que mis datos se guarden por el Investigador Principal, de forma confidencial, para su posterior análisis.
- Sé que los resultados de esta investigación, en caso de publicarse, no estarán referidos a mi persona, respetándose la confidencialidad de los mismos y mi intimidad.
- Soy consciente de las molestias y riesgos potenciales que podrían derivarse de la realización de las pruebas.
- He tenido la oportunidad de hacer las preguntas que he creído conveniente.
- He leído esta información, la considero suficientemente clara, y estoy de acuerdo en participar en el *Proyecto*.
- Se me ha dado una copia de esta *Declaración de Consentimiento*.

Por tanto, y estando conforme con todo lo anterior, **otorgo mi consentimiento** firmando la presente *Declaración de Consentimiento Informado*:

Firma del sujeto

Firma del responsable del estudio

En Sevilla, a ____ de _____ de 20__

ANEXO II

**PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y
DIVULGACIÓN DE RESULTADOS**

Effect of Low- vs. Moderate-Load Squat Training on Strength, Jump and Sprint Performance in Physically Active Women

Authors

R. Mora-Custodio, D. Rodríguez-Rosell, F. Pareja-Blanco, J. M. Yañez-García, J. J. González-Badillo

Affiliation

Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportivo, Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, Sevilla, Spain

Key words

- full squat
- transfer
- resistance training
- force-velocity relationship

Abstract

This study aimed to analyze the effects of resistance training (RT) load on neuromuscular performance. Twenty-seven physically active women were randomly distributed into 3 groups: a low-load group (LLG); a moderate-load group (MLG); and a control group (CG). The RT consisted of full squat exercise with a low load (40–60% 1RM, LLG) or a moderate load (65–80% 1RM, MLG). Sprint times (T_{10} , T_{20} , and T_{10-20}), countermovement jump (CMJ), estimated one-repetition maximum ($1RM_{est}$) and velocity attained against the first (F_{MPV}) and the last load (L_{MPV}) common to both tests were assessed pre- and post-test. Both

experimental groups showed significant ($P < 0.05$ – 0.001) improvements in all variables, except MLG for T_{10-20} and F_{MPV} . The LLG achieved significantly ($P < 0.05$ – 0.001) greater percent changes than CG in all variables except in T_{10} and T_{10-20} , while MLG presented significantly ($P < 0.05$ – 0.001) higher improvements than CG in T_{10} , $1RM_{est}$ and L_{MPV} . The LLG presented a possibly better effect than MLG in T_{10-20} , T_{20} and $1RM_{est}$. In addition, LLG obtained a higher degree of transfer than MLG in all variables except in T_{10} . These results suggest that a low-load training program produces similar or more beneficial effects on neuromuscular performance than moderate-load training.

Introduction

The configuration of resistance training (RT) has been associated with the combination of different training variables, including volume, load or relative intensity, frequency, type and order of exercise, rest periods between sets and exercise, contraction type and movement velocity [22, 29]. Although all these training variables contribute to the performance, structural and neural adaptations to resistance exercise, training load seems to be the most important factor to consider when designing an RT program aimed at improving neuromuscular performance [12, 22]. However, there is a lack of consensus about the load or load range that produces the greatest improvements in strength and muscle power.

The question of the load magnitudes in RT has been widely analyzed in the scientific literature. Studies in this matter have shown some discrepancies regarding the effect of training load on strength improvements. Results in the literature generally range from no differences in strength gains between low (30–70% 1RM) and high loads (>80% 1RM) [3, 9, 14, 23, 37] to a significant supe-

riority for high loads [4, 6, 7, 18]. However, other studies have also shown that lower loads appear to result in significantly greater strength gains compared to higher loads [25, 44]. Therefore, the impact of load magnitude on strength gains remains unclear.

When the aim is to examine the effects of different training loads on strength increases, all other training variables should be held constant across the different training programs to attribute any differences in strength increase to the training load. However, most of the previous studies analyzing the effects of different RT loads have manipulated several variables simultaneously. In several low- vs. high-load studies there were differences in i) number of repetitions per set [21, 28], ii) number of sets and repetitions per set [9, 15, 25, 28], and iii) number of sets, repetitions per set and inter-set rests [7] between training groups. Consequently, the training volume was different for each training protocol. In this context, few studies have used training programs involving the same numbers of sets and repetitions per set [4, 39, 44]. Overall, these studies appear to indicate that heavy-load training pro-

accepted after revision
December 30, 2015

Bibliography

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0042-100471>
Published online: 2016
Int J Sports Med
© Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0172-4622

Correspondence

Ricardo Mora-Custodio
Centro de Investigación en
Rendimiento Físico y Deportivo
Universidad Pablo de Olavide
de Sevilla
Ctra. de Utrera km 1
41089 Sevilla
Spain
Tel.: +34/622/466 707
Fax: +34/622/466 707
ricardomora.ccafd@gmail.com

duces greater improvements in muscle strength than low-load training. However, several methodological issues such as the substantial differences in the intensities used for each training group [4], the use of frail elderly participants [39] and different training exercise (squat vs. loaded squat jump) [44] limit the opportunity to generalize these findings.

Although 1RM is considered an important test to assess maximal strength, the relationship between force and velocity may be a more important parameter in many cases. Since the change in movement velocity against the same absolute load is directly dependent on the force applied, an increment in movement velocity could be considered as an indicator of the improvement in muscle force capacity against such absolute load. In this regard, studies analyzing the effect of training load on the force-velocity curve have reported that the increase in velocity is largest at or near the training load [4,28]. These studies were carried out with exercises involving upper limbs. Considering that several differences exist with regard to muscle mass, proportion of fiber types, function and biomechanics between upper- and lower-limb muscles [41], it is possible that different adaptive responses may occur in these muscle groups. This is supported by several studies [31,40] that reported that strength gains with the same strength training regimen can vary dramatically from one muscle group to another. Therefore, there is a need for analysis of whether similar effects to those seen in upper limbs would be observed in the force-velocity relationship for the lower limbs when comparing RT with different load magnitudes. On the other hand, the effects of RT on physical performance rather than solely on strength gains should be of interest to coaches and to strength and conditioning professionals. A number of studies report a large to very large relationship between lower-body strength measured through the back squat exercise, and sprint and jump performance, suggesting that increasing lower-body strength is fundamental when attempting to improve performance in these motor skills [8,11,45]. Despite the influence of training load on changes induced by RT, few studies have analyzed the effect of different loading magnitudes on changes in sprint ability and jump height [15,25,44]. Furthermore, despite the increasing relevance of women in sport in recent decades and the improvement of practicing RT by women, few studies have analyzed the effects of different training intensities on strength and physical performance gains in physically active women. Therefore, in light of the aforementioned considerations, the aim of our study was to compare the effects of two RT programs with different load magnitudes (40–60% 1RM vs. 65–80% 1RM) and equal number of sets and repetitions per set on performance in sprint, vertical jump, and lower limb strength in physically active young women.

Methods



Participants

Thirty female physical education students volunteered to participate in this study. All participants were involved in physical activities including jogging, tennis, judo or dance for at least 3 h per week, but they did not perform RT as part of their normal physical activity routine. Participants were matched according to their one-repetition maximum (1RM) in full squat (FS) and then randomly assigned to either a low-load (LLG), a moderate-load (MLG) or a control group (CG). Due to injury or illness, three participants (two from the CG and one from the MLG) were

absent from the post-testing session. Thus, of the 30 initially enrolled participants, only 27 successfully completed the entire study (mean \pm SD: age 22.4 ± 1.9 years, height 1.65 ± 0.06 m, and body mass 61.1 ± 7.7 kg). After being informed about the experimental procedure and the risks involved in the investigation, the participants gave their written informed consent to participate. The present investigation met the ethical standards of this journal [16] and was approved by the Ethics Committee of Pablo de Olavide University, Seville, Spain.

Experimental design

An experimental research design was used to compare the effects of 2 RT regimes with different load magnitudes (40–60% 1RM vs. 65–80% 1RM) on physical performance. To address this, 27 physically active women were randomly assigned to one of the 3 groups: LLG ($n=10$), MLG ($n=9$) and CG ($n=8$). Both training groups trained twice a week over a period of 12 weeks using only the FS exercise. The only difference in the RT program between the 2 training groups was the relative load used. Neuromuscular performance was assessed pre- and post-training using a battery of tests performed in a single session in the following order: 1) sprint ability; 2) countermovement jump (CMJ); and 3) isoinertial progressive loading test in the FS exercise. Testing sessions were performed at the same time of the day (± 1 h) for each participant under the same environmental conditions (20°C and 60% humidity). The participants were asked to perform no strenuous activities for 48 h prior to the testing sessions. To ensure the use of the proper technique in the FS exercise, 4 preliminary familiarization sessions were undertaken before the testing session.

Testing procedures

Sprint ability

The participants ran two 20 m races on an indoor track, separated by 3 min rests. The starting position was standardized, with the lead-off foot behind the starting line. This line was placed 1 m behind the first time gate. Photocell gates (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italy) were placed at the start, and at 10 m and 20 m. The participants ran with the intention of covering the 20 m in the least possible time. The best time of the 2 attempts in the following splits was recorded: 0–10 m (T_{10}), 10–20 m (T_{10-20}) and 0–20 m (T_{20}). The same warm-up protocol, which incorporated several sets of progressively faster 30 m running accelerations, was followed in the pre- and post-tests. Test-retest reliability for T_{10} , T_{10-20} and T_{20} as measured by the coefficient of variation (CV) was 1.3, 2.2 and 1.2%, respectively. The intraclass correlation coefficients (ICC) were 0.969 (95% confidence interval, CI: 0.934–0.986), 0.962 (95% CI: 0.919–0.982) and 0.984 (95% CI: 0.966–0.993) T_{10} , T_{10-20} and T_{20} , respectively.

Countermovement jump

Jump height was calculated to the nearest 0.1 cm from flight time measured with an infrared timing system (Optojump; Microgate, Bolzano, Italy). Since take-off and landing positions can affect the jump flight, strict instructions were given to all participants to keep their legs straight during the flight time of the jump. All participants completed 5 maximal CMJs with their hands on their hips, separated by 1 min rests. The highest and lowest values were discarded, and the resulting average value was kept for analysis. The CV and the ICC for the CMJ test were 1.9% and 0.995 (95% CI: 0.991–0.998).

Isoinertial progressive loading test

The assessment consisted of an isoinertial test with increasing loads using the FS exercise performed on a Smith machine (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, Spain). A detailed description of the FS testing protocol has been provided elsewhere [34]. The participants started from an upright position, with the knees and hips fully extended, and the barbell resting across the back. From this position, the participants descended in a continuous motion until the top of the thighs were below the horizontal (ground) plane, with the posterior thighs and shanks making contact with each other. Participants then immediately reversed motion and ascended back to the upright position. Auditory feedback based on eccentric distance traveled was provided to help each subject reach her previously determined squat depth. Unlike the eccentric phase, which was performed at a controlled velocity, subjects were required to always execute the concentric phase at maximal intended velocity. The initial load was set at 20kg and was progressively increased in 10 or 5 kg increments based upon bar velocity until the attained mean propulsive velocity (MPV) was $\sim 0.80 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($0.79 \pm 0.08 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). The participants performed 3 repetitions with each load. The inter-set recovery time was 3 min. Warm-up consisted of 5 min of joint mobilization exercises, followed by 2 sets of 6 repetitions (3 min rest) with loads of 10 and 15 kg, respectively. A linear velocity transducer (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spain) was used to register MPV of the bar in each repetition. The following variables derived from this test were used for analysis: a) estimated one-repetition maximum (1RM_{est}) calculated from the MPV with the last load (kg) of the test as follows: $100 \times \text{LOAD} / -2.185 \times \text{MPV}^2 - 61.53 \times \text{MPV} + 122.5$ ($R^2 = 0.96$, $\text{SEE} = 5.5\%$ [33]); b) MPV attained against the first (F_{MPV}) and the last (L_{MPV}) absolute load common to pre- and post-tests [11].

Resistance training program

The participants trained twice a week, on non-consecutive days, for 12 weeks using only FS exercise on a Smith Machine. Descriptive characteristics of the RT are presented in **Table 1**. The numbers of sets, repetitions per set and recovery time (3 min) were kept identical for both groups in each training session, even in the warm-up. The warm-up consisted of 5 min of jogging at a self-selected pace and joint mobilization exercises, followed

by several progressive loading sets of FS exercise until the maximal scheduled load was reached. The LLG trained with loading magnitudes from 40 to 60% 1RM, whereas the MLG trained with loading magnitudes from 65 to 80% 1RM. The participants were instructed to perform the concentric phase of each repetition at maximal intended velocity. To ensure that the exercise prescriptions were properly followed, each training session was supervised by at least a trained researcher. Because strength was expected to increase with training, bar movement velocity during training sessions was measured every 3 weeks in order to perform the necessary load adjustments for both training groups.

Statistical analysis

Values are reported as mean \pm SD. Absolute test-retest reliability was measured by the CV, whereas relative reliability was assessed via ICC calculated using the one-way random effects model. The normality of distribution was examined with the Shapiro-Wilk test and the homogeneity of variance assumption was not violated. Data were first analyzed using a 3 \times 2 factorial ANOVA with repeated measures with Bonferroni's *post-hoc* comparisons using one inter-factor (LLG, MLG, CG) and one intra-factor (pre- vs. post-training). Considering that significant interactions were found in most of the measured variables, and also considering that no significant differences were observed between groups during pre-testing, the percentage of change for each variable was calculated $[(\text{post} - \text{pre}/\text{pre}) \times 100]$ and a one way-ANOVA was conducted to examine between-group differences with Bonferroni *post-hoc* comparisons (MLG vs. LLG vs. CG). The statistical analyses were performed using SPSS software version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Significance was accepted at $P \leq 0.05$. In addition to this null hypothesis testing, data were assessed for clinical significance using an approach based on the magnitude of change [19]. The standardized difference or effect size (ES) was calculated using *Hedge's g* [17]. Quantitative chances of *beneficial/better* or *detrimental/worse* effects were assessed qualitatively as follows: <1%, *almost certainly not*; 1–5%, *very unlikely*; 5–25%, *unlikely*; 25–75%, *possible*; 75–95%, *likely*; 95–99%, *very likely*; and >99%, *almost certain*. If the chances of *beneficial/better* or *detrimental/worse* outcomes were both >5%, the true difference was assessed as *unclear* [19]. To

Table 1 Resistance training program for both low-load group (LLG) and moderate-load group (MLG).

	LLG											
	wk-1	wk-2	wk-3	wk-4	wk-5	wk-6	wk-7	wk-8	wk-9	wk-10	wk-11	wk-12
Session 1												
Load	40%	50%	55%	60%	55%	60%	50%	55%	60%	60%	60%	50%
S \times R	3 \times 6	3 \times 5	3 \times 5	3 \times 4	3 \times 5	3 \times 4	3 \times 4	3 \times 5	3 \times 4	3 \times 6	3 \times 6	3 \times 4
Session 2												
Load	40%	50%	55%	60%	55%	60%	50%	55%	60%	60%	55%	Post-Test
S \times R	3 \times 6	3 \times 6	3 \times 6	3 \times 4	3 \times 6	3 \times 5	3 \times 6	3 \times 5	3 \times 5	3 \times 6	3 \times 6	
	MLG											
	wk-1	wk-2	wk-3	wk-4	wk-5	wk-6	wk-7	wk-8	wk-9	wk-10	wk-11	wk-12
Session 1												
Load	65%	70%	75%	80%	75%	80%	70%	75%	80%	80%	80%	70%
S \times R	3 \times 6	3 \times 5	3 \times 5	3 \times 4	3 \times 5	3 \times 4	3 \times 4	3 \times 5	3 \times 4	3 \times 6	3 \times 6	3 \times 4
Session 2												
Load	65%	70%	75%	80%	75%	80%	70%	75%	80%	80%	75%	Post-Test
S \times R	3 \times 6	3 \times 6	3 \times 6	3 \times 4	3 \times 6	3 \times 5	3 \times 6	3 \times 5	3 \times 5	3 \times 6	3 \times 6	

wk: week; Session 1: first session of the week; Session 2: second session of the week; S \times R: sets \times repetitions; Load: relative intensity expressed as a percentage of one repetition maximum

determine the transfer effect between strength and jumping and sprinting performance, a transfer of training effect was calculated according to the following formula: Transfer=ES change in untrained exercise/ES change in trained exercise [46].

Results

There were no significant differences between groups in any of the variables measured at pre-test. Compliance with the RT program was 97.1 % and 96.8 % in all sessions scheduled for LLG and MLG, respectively. Mean values, percent changes from pre- to post-training and ES for all variables analyzed are reported in **Table 2**.

Vertical jump and sprint time

Significant ‘group×time’ interactions (P<0.05) were observed for T₁₀, T₂₀ and CMJ, while no interaction was observed for T₁₀₋₂₀. The one-way ANOVA indicated that LLG showed significantly greater percent changes for T₂₀ and CMJ compared to CG, while MLG showed greater improvements than CG in T₁₀. Although no significant differences were found between the 2 experimental groups, the LLG obtained a possibly more beneficial effect than MLG in T₁₀₋₂₀ and T₂₀ (**Fig. 1**). The training period resulted in significant pre-post changes in all measured variables for both experimental groups, except in T₁₀₋₂₀ for MLG. The CG showed no significant changes from pre- to post-training. Greater intra-group ESs were found for LLG compared to MLG and CG in all variables (**Table 2**).

Isoinertial strength assessments

Significant ‘group×time’ interactions were found in 1RM_{est} (P<0.001) and L_{MPV} (P<0.05), while no interaction was observed for F_{MPV}. The LLG showed significantly greater improvements in all strength parameters than CG, while MLG achieved greater enhancements in 1RM_{est} and L_{MPV} compared to CG. The practical differences analysis revealed that LLG presented a likely better effect in 1RM_{est} than MLG, while the between-groups differences in F_{MPV} and L_{MPV} were unclear (**Fig. 1**). In addition, LLG showed greater percentage changes and intra-group ES in all variables, except in F_{MPV}, compared to MLG. After the training period both experimental groups exhibited significant improvements in all analyzed variables, except in F_{MPV} for MLG. No significant pre-post changes were found in strength performance for CG (**Table 2**).

Transfers

The magnitude of the transfer of strength to sprint and CMJ is depicted in **Table 3**. The LLG showed a higher degree of transfer than MLG in T₁₀₋₂₀, T₂₀ and CMJ, while transfer to T₁₀ was similar for both experimental groups.

Discussion

To the best of our knowledge, this is the first study comparing the effects and degree of transfer of 2 RT programs with different loading magnitudes (40–60% 1RM vs. 65–80% 1RM) and equal volumes (number of sets, repetitions per set and inter-set rests) on physical performance in physically active women. Overall, our results indicate that 12 weeks of RT (twice a week) with loads ranging from 40 to 60% 1RM produce similar or even

Table 2 Changes in selected neuromuscular performance variables from pre- to post-training for each group (Mean ± SD).

	LLG			MLG			CG					
	Pre	Post	Δ (%)	ES (90% IC)	Pre	Post	Δ (%)	ES (90% IC)	Pre	Post	Δ (%)	ES (90% IC)
T ₁₀ (s)	1.97±0.07	1.92±0.09 *	2.9	0.75 (0.12 to 1.38)	2.07±0.12	2.02±0.12 * * †#	2.8	0.43 (0.16 to 0.71)	2.04±0.10	2.06±0.11	1.0	-0.18 (-0.45 to 0.08)
T ₁₀₋₂₀ (s)	1.52±0.09	1.48±0.07 * *	2.7	0.42 (0.13 to 0.72)	1.57±0.14	1.56±0.13	0.4	0.05 (-0.09 to 0.18)	1.57±0.16	1.57±0.16	0.3	0.02 (-0.05 to 0.09)
T ₂₀ (s)	3.50±0.14	3.40±0.16 * * †#	2.8	0.63 (0.29 to 0.97)	3.65±0.25	3.58±0.25 *	1.7	0.23 (-0.05 to 0.41)	3.61±0.26	3.62±0.26	-0.5	-0.06 (-0.20 to 0.07)
CMJ (cm)	27.0±2.9	30.4±4.2 * * †#	11.8	1.02 (0.63 to 1.41)	24.8±4.4	26.8±5.8 *	7.7	0.36 (0.05 to 0.68)	24.0±4.7	24.2±5.4	0.3	0.04 (-0.16 to 0.25)
1RM _{est} (kg)	41.8±11.0	56.3±12.2 * * †††###	36.2	1.19 (0.90 to 1.48)	43.8±12.1	53.4±9.9 * * †††###	24.7	0.72 (0.39 to 1.05)	38.9±17.2	39.3±15.7	3.5	0.02 (-0.08 to 0.12)
F _{MPV} (m/s)	1.23±0.18	1.28±0.17 #	4.5	0.26 (0.05 to 0.48)	1.17±0.12	1.21±0.14	3.6	0.32 (-0.09 to 0.72)	1.10±0.14	1.10±0.12	0.0	0.00 (-0.16 to 0.16)
L _{MPV} (m/s)	0.78±0.05	0.87±0.08 * * †###	12.4	1.77 (1.07 to 2.47)	0.77±0.05	0.86±0.08 * * †###	10.9	1.38 (0.65 to 2.12)	0.73±0.06	0.74±0.04	1.2	0.12 (-0.32 to 0.57)

LLG: low-load group; MLG: moderate-load group; CG: control group; Pre: initial evaluation; Post: final evaluation; Δ: Pre-Post Change; ES: intra-groups effects size; CI: confidence interval; T₁₀: 10m sprint time; T₁₀₋₂₀: 10-20 m sprint time; T₂₀: 20m sprint time; CMJ: countermovement jump; 1RM_{est}: estimated one-repetition maximum; F_{MPV}: velocity attained against the first load common to pre- and post-tests; L_{MPV}: velocity attained against the last load common to pre- and post-tests; Differences intra-groups: * P<0.05, ** P<0.001, *** P<0.0001; Significant group × time interaction; † P<0.05, †† P<0.001, ††† P<0.0001; Differences with respect to CG: # P<0.05, ## P<0.01, ### P<0.001

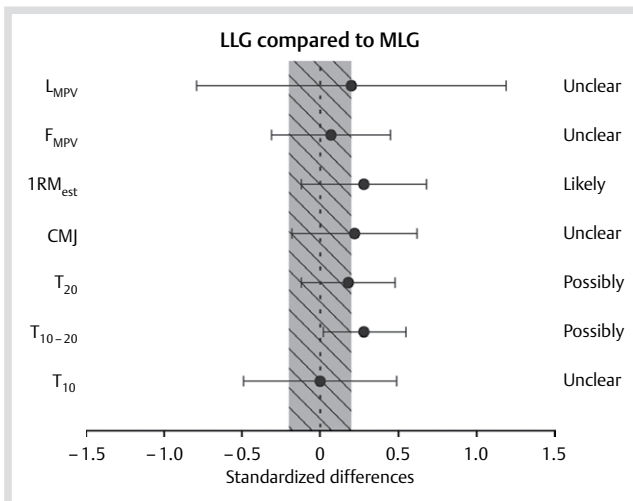


Fig. 1 Differences scores (90% confidence intervals) for changes from pre- to post-test in 10 m (T_{10}), 10–20 m (T_{10-20}) and 20 m (T_{20}) sprint time, countermovement jump performance (CMJ), estimated one-repetition maximum ($1RM_{est}$) and average velocity attained against all first (F_{MPV}) and last (L_{MPV}) absolute loads common to pre- and post-tests when comparing the LLG and MLG. Gray areas represent the smallest worthwhile change (see the Methods section). For clarity, all differences are presented as improvements in the first group compared with second group (i.e., LLG vs. MLG), so that negative and positive differences are in the same direction.

more beneficial effects on neuromuscular performance compared to RT with heavier loads (65–80% 1RM). Based upon these results, coaches and strength and conditioning professionals may consider low-load (40–60% 1RM) and low volume (4–6 repetitions per set) RT programs, lifting the load at maximal intended velocity, instead of heavier RT programs (65–80% 1RM), in order to improve physical condition in young physically active women with no RT background.

Strength performance

In the present study, both training groups showed significant ($P < 0.001$) enhancements in $1RM_{est}$ (36.2% and 24.7% for LLG and MLG, respectively). These results are in contrast to early studies [26,43], which failed to find a significant increase in maximal strength after RT with light loads. However, more recent studies have shown that low-load RT is also effective in producing significant increments in 1RM [24,28]. An increase in muscle strength has been suggested to be stimulated by high tension in the muscle fiber [10,28]. For this reason, heavy loads have usually been employed for improving the force capability of muscle. However, it is possible to obtain high tension and recruitment of high threshold motor units even during training with lighter loads, provided the load acceleration is sufficiently high [28]. In addition, maximal strength can be increased by adaptation of the nervous system to the training stimulus. The ability of the nervous system to activate agonists, synergists, and antagonists in synergy as well as an increment in motor unit recruitment and firing frequency [1] are fundamental to improving muscle strength. In fact, during the first weeks of a training program, an improvement in the ability to activate and coordinate contraction of the muscles involved in the movement trained has been shown to have an important role in muscle strength gains [4,13]. Because in the present study all repetitions were performed at maximal intended velocity, both a high

firing rate of the motor units and a high rate of tension in the muscle fiber were obtained in each repetition. These factors could be the basis of the improvements achieved in the LLG.

On the other hand, although no significant differences were observed between both experimental groups, practically worthwhile differences between the LLG and MLG seemed to be evident as supported by the magnitude of the intra- and inter-group ES and qualitative outcomes, suggesting likely true changes in favor of the LLG (Table 2 and Fig. 1). These results are in contrast with previous studies [7,15,21] which presented greater improvements in higher-load groups. This could be because these studies were conducted with well-trained participants. In this regard, there are numerous reports on strength-trained participants gaining more from a larger training load compared with untrained subjects [30]. Thus, it is essential to know the training experience of the participants when comparing the strength-enhancing effects of low- and high-loads RT [3,9,14,23,35].

In addition to analyzing the effects of loading magnitude on maximal strength ($1RM_{est}$), we assessed the velocity changes produced for each training protocol on the first (F_{MPV}) and the last (L_{MPV}) absolute load common to pre- and post-tests in an attempt to determine the extent to which the distinct training interventions (low loads vs. moderate loads) affected the different parts of the load-velocity relationship. In this context, the LLG presented significant increments in both F_{MPV} and L_{MPV} , while MLG only obtained statistically significant improvements in L_{MPV} . Furthermore, both experimental groups showed significantly higher increments than the CG in L_{MPV} , but no significant differences were found between LLG and MLG. In agreement with our results, most previous studies [4,28] comparing different loading magnitudes also presented equivalent gains on load-velocity curve for all experimental groups. Previous studies support the concept of greater muscle fiber hypertrophy and motor unit activation after high- than low-load training [2,7], whereas decreases in motor unit activation threshold and increases in initial firing rate of the active motor units have been demonstrated after low-load RT [42]. Thus, it is possible that the similar performance improvements reported for low- and high-load groups in the present study and previous investigations may have been achieved through distinct neuromuscular adaptations. Therefore, taken together, our results reinforce the hypothesis that RT with low loads, emphasizing lifting the load at maximal voluntary velocity, appears to be an effective method to obtain substantial improvements in strength performance, at least in young women with no RT background.

Sprint and vertical jump performance

Our results showed that an RT with loads ranging from 40 to 60% of 1RM produced greater improvements on sprint and vertical jump performance than an RT with loads between 65 and 80% of 1RM (Table 2 and Fig. 1). The improvements in CMJ of the LLG relative to the MLG were similar to those observed in previous studies [23,44]. Therefore, although moderate to heavy loads have been shown to improve jump performance [32], it seems that lighter, faster lifts may be equally or even more effective than heavier lifts that are performed at unintentionally lower velocities. With regard to sprint performance, our results are in accordance with previous studies [25,44] which showed significant improvements in lower-load groups and failed to find significant enhancements for higher-load groups in strength-trained men.

Table 3 Transfer of strength training to sprint and jump ability obtained by both training groups.

	LLG	MLG
T_{10}	0.63	0.63
T_{10-20}	0.36	0.07
T_{20}	0.53	0.33
CMJ	0.86	0.61

LLG: low-load group; MLG: moderate-load group; T_{10} : 10 m sprint time; T_{10-20} : 10–20 m sprint time; T_{20} : 20 m sprint time; CMJ: countermovement jump

In line with the above results, the LLG showed a greater degree of transfer of strength to jump and sprint performance compared to MLG (see Table 3). These results agree with a recent meta-analysis [38] which indicates that high-load training resulted in lesser sprint ES (ES = -0.52) than lower loads (ES = -0.97). It is clear from the scientific literature that an individual's overall sprint and jump performance or ability to express higher velocities in different explosive-type tasks is impacted by his or her ability to express high peak ground reaction forces, rate of force development and impulse [20,27]. In this regard, several studies have suggested that for increasing the rate of force development, dynamic movements with light loads (30–60% 1RM), few repetitions (3–7) and explosive movements are more effective than heavy loads [5,36], which seem to result in greater stress and a smaller improvement in sport-related performance [5,34,38]. These improvements are mainly based on neural adaptations such as an increase in the firing rate at the onset of motor unit activation, and the synchronization and coordination of the activation pattern, as RT with these characteristics appears to be less effective in inducing muscle hypertrophy [22]. Therefore, our results indicate that lower loads and faster training velocities may provide greater stimuli to induce greater neuromuscular adaptations directed to improving athletic performance than higher loads.

Conclusions and Practical Applications

The results of the present study suggest that an RT with loads between 40 and 60% of 1RM produces similar or even more beneficial effects than an RT with equal volume but higher loads (65–80% of 1RM), at least in participants with similar characteristics to our study. In addition, our results also indicate that faster training velocities compared to slower training velocities may provide a greater degree of transfer of strength to sport-related performance. Thus, the main practical application of our study is that coaches and strength and conditioning professionals could use RT with low loads and low volume, but lifting the load at maximal voluntary velocity, instead of RT with moderate loads in order to improve neuromuscular performance. Despite these findings, the fact that all the participants in the present study were young women limits the possibility to generalize these results to other populations. Thus, further research is needed to determine whether other participants, including highly trained athletes, men, and adolescents, would demonstrate similar results after following similar training programs.

Conflict of interest: The Authors have no conflict of interest to declare.

References

- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol* 2002; 93: 1318–1326
- Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *J Appl Physiol* 2002; 92: 2309–2318
- Aarskog R, Wisnes A, Wilhelmsen K, Skogen A, Bjordal JM. Comparison of two resistance training protocols, 6RM vs. 12RM, to increase the 1RM in healthy young adults. A single-blind, randomized controlled trial. *Physiother Res Int* 2012; 17: 179–186
- Almasbakk B, Hoff J. Coordination, the determinant of velocity specificity? *J Appl Physiol* 1996; 81: 2046–2052
- Andersen LL, Andersen JL, Zebis MK, Aagaard P. Early and late rate of force development: differential adaptive responses to resistance training? *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20: e162–e169
- Bogdanis GC, Papaspyrou A, Souglis AG, Theos A, Sotiropoulos A, Maridaki M. Effects of two different half-squat training programs on fatigue during repeated cycling sprints in soccer players. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 1849–1856
- Campos GE, Luecke TJ, Wendeln HK, Toma K, Hagerman FC, Murray TF, Ragg KE, Ratamess NA, Kraemer WJ, Staron RS. Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol* 2002; 88: 50–60
- Comfort P, Bullock N, Pearson SJ. A comparison of maximal squat strength and 5-, 10-, and 20-meter sprint times, in athletes and recreationally trained men. *J Strength Cond Res* 2012; 26: 937–940
- Chestnut JL, Docherty D. The effects of 4 and 10 repetition maximum weight-training protocols on neuromuscular adaptations in untrained men. *J Strength Cond Res* 1999; 13: 353–359
- Desmedt JE, Godaux E. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol* 1977; 264: 673–693
- Franco-Marquez F, Rodríguez D, González-Suárez JM, Pareja-Blanco F, Mora-Custodio R, Yáñez-García JM, González-Badillo JJ. Effects of combined resistance training and plyometrics on physical performance in young soccer players. *Int J Sports Med* 2015; 36: 906–914
- Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med* 2004; 34: 663–679
- Gabriel DA, Kamen G, Frost G. Neural adaptations to resistive exercise: mechanisms and recommendations for training practices. *Sports Med* 2006; 36: 133–149
- Harris C, DeBeliso MA, Spitzer-Gibson TA, Adams KJ. The effect of resistance-training intensity on strength-gain response in the older adult. *J Strength Cond Res* 2004; 18: 833–838
- Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG, Hansen KT. Squat jump training at maximal power loads vs. heavy loads: effect on sprint ability. *J Strength Cond Res* 2008; 22: 1742–1749
- Harriss DJ, Atkinson G. Ethical standards in sport and exercise science research: 2016 update. *Int J Sports Med* 2015; 36: 1121–1124
- Hedges LV, Olkin IO. *Statistical Methods For Meta-Analysis*. Orlando, FL: Academic Press; 1985
- Holm L, Reitelsheder S, Pedersen TG, Doessing S, Petersen SG, Flyvbjerg A, Andersen JL, Aagaard P, Kjaer M. Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *J Appl Physiol* 2008; 105: 1454–1461
- Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 3–13
- Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech* 2005; 21: 31–43
- Jones K, Bishop P, Hunter G, Fleisig G. The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *J Strength Cond Res* 2001; 15: 349–356
- Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004; 36: 674–688
- Lamas L, Ugrinowitsch C, Rodacki A, Pereira G, Mattos EC, Kohn AF, Tricoli V. Effects of strength and power training on neuromuscular adaptations and jumping movement pattern and performance. *J Strength Cond Res* 2012; 26: 3335–3344
- Mangine GT, Ratamess NA, Hoffman JR, Faigenbaum AD, Kang J, Chilakos A. The effects of combined ballistic and heavy resistance training on maximal lower- and upper-body strength in recreationally trained men. *J Strength Cond Res* 2008; 22: 132–139

- 25 McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res* 2002; 16: 75–82
- 26 McDonagh MJ, Davies CT. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol* 1984; 52: 139–155
- 27 McLellan CP, Lovell DI, Gass GC. The role of rate of force development on vertical jump performance. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 379–385
- 28 Moss BM, Refsnes PE, Abildgaard A, Nicolaysen K, Jensen J. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol* 1997; 75: 193–199
- 29 Pereira MI, Gomes PS. Movement velocity in resistance training. *Sports Med* 2003; 33: 427–438
- 30 Rhea MR, Alvar BA, Burkett LN, Ball SD. A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35: 456–464
- 31 Ronnestad BR, Egeland W, Kvamme NH, Refsnes PE, Kadi F, Raastad T. Dissimilar effects of one- and three-set strength training on strength and muscle mass gains in upper and lower body in untrained subjects. *J Strength Cond Res* 2007; 21: 157–163
- 32 Ronnestad BR, Nymark BS, Raastad T. Effects of in-season strength maintenance training frequency in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 2011; 25: 2653–2660
- 33 Sánchez-Medina L, García-Pallarés J, Pérez CE, Fernandes J, González-Badillo JJ. Estimation of relative load from mean velocity in the full squat exercise. In: Cable NT, George K ed. *Book of Abstracts of the 16th Annual Congress of the European College of Sports Science*. Liverpool, UK: Liverpool John Moores University; 2011: 669
- 34 Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 1725–1734
- 35 Sayers SP, Gibson K. A comparison of high-speed power training and traditional slow-speed resistance training in older men and women. *J Strength Cond Res* 2010; 24: 3369–3380
- 36 Schmidtbleicher D. Training for power event. In: Komi PV (ed.). *Strength and power in sport*. Blackwell Scientific; London: 1992: 381–395
- 37 Schmidtbleicher D, Haralambie G. Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. *Eur J Appl Physiol* 1981; 46: 221–228
- 38 Seitz LB, Reyes A, Tran TT, Sáez de Villarreal E, Haff GG. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med* 2014; 44: 1693–1702
- 39 Seynnes O, Fiatarone Singh MA, Hue O, Pras P, Legros P, Bernard PL. Physiological and functional responses to low-moderate vs. high-intensity progressive resistance training in frail elders. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2004; 59: 503–509
- 40 Sousa N, Mendes R, Abrantes C, Sampaio J. Differences in maximum upper and lower limb strength in older adults after a 12 week intense resistance training program. *J Hum Kinet* 2011; 30: 183–188
- 41 Thornell LE, Lindstrom M, Renault V, Mouly V, Butler-Browne GS. Satellite cells and training in the elderly. *Scand J Med Sci Sports* 2003; 13: 48–55
- 42 Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol* 1998; 513: 295–305
- 43 Wilmore JH, Parr RB, Girandola RN, Ward P, Vodak PA, Barstow TJ, Pipes TV, Romero GT, Leslie P. Physiological alterations consequent to circuit weight training. *Med Sci Sports* 1978; 10: 79–84
- 44 Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993; 25: 1279–1286
- 45 Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 2004; 38: 285–288
- 46 Zatsiorsky VM, Kraemer WJ. *Science and Practice of Strength Training*. 2nd edition. Champaign, IL: Human Kinetics; 2006

s y m p o s i u m **EXERNET**

Red Española de Investigación en Ejercicio Físico y Salud

El Comité Científico y Organizador certifica que la contribución titulada:

"Efecto agudo del tiempo de recuperación entre repeticiones sobre la fatiga mecánica y metabólica"

cuyo autor/es son:

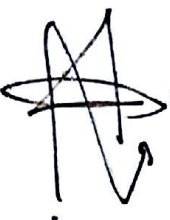
Ricardo Mora Custodio, David Rodríguez Rosell, Juan Manuel Yañez García, Miguel Sanchez Moreno, Ferrnando Pareja Blanco y Juan Jose Gonzalez Badillo

ha sido presentada como póster en el Simposio EXERNET. Investigación en Ejercicio, Salud y Bienestar: "Exercise is Medicine" celebrado en Cádiz los días 14 y 15 de octubre de 2016.

Cádiz, a 15 de octubre de 2016

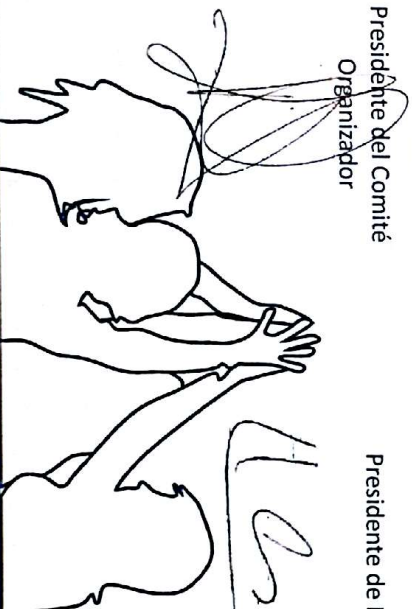
Carmen Padilla Moledo

Presidenta del Comité Organizador



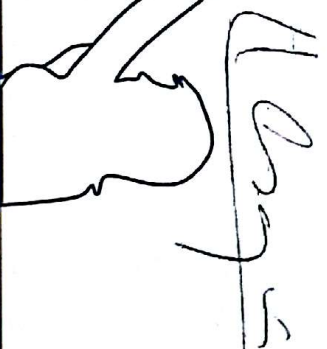
David Jiménez Pavón

Presidente del Comité Organizador



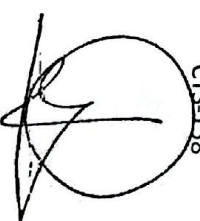
José Antonio Casajús Mallén

Presidente de EXERNET



José Castro Piñero

Responsable Grupo GALENO CTS-158



INTRODUCCIÓN

Cuando se realiza una serie de manera tradicional (sin descanso entre repeticiones) se produce un descenso involuntario de velocidad y potencia en cada repetición debido a la fatiga acumulada por la realización de las repeticiones previas [1]. Algunos autores han sugerido que este descenso involuntario podría resultar en adaptaciones no deseadas [3]. Para solucionar este problema, algunos autores han sugerido añadir un tiempo de recuperación entre repeticiones (TRR) o entre grupos de repeticiones [2]. Sin embargo, estudios previos que analizan el efecto agudo del TRR han utilizado programas de entrenamiento con varias variables independientes [3]. Por tanto, el objetivo de nuestro estudio fue analizar el efecto agudo provocado por tres programas de entrenamiento de fuerza equivalentes en todas sus variables, excepto en el TRR (0 vs. 10 vs 20 s), sobre la fatiga mecánica y el estrés metabólico a través de cuatro protocolos de entrenamiento de fuerza (PEF).

MÉTODO

Treinta hombres con experiencia en el entrenamiento de fuerza participaron en el presente estudio. Los participantes fueron distribuidos aleatoriamente en tres grupos en función de la 1RM obtenida en el ejercicio de sentadilla completa: un grupo que realizó las series sin tiempo de recuperación entre repeticiones (G0; n = 10) y otros dos grupos que realizaron las series con 10 (G10; n = 10) y 20 (G20; n = 10) segundos de recuperación entre repeticiones. A continuación se realizaron 4 protocolos de entrenamiento de fuerza que consistieron en 3 series de 6 (60%1RM), 5 (70%1RM), 4 (75%1RM) y 3 (80%1RM) repeticiones por serie. Se evaluó la fatiga como se indica en la Figura 1.

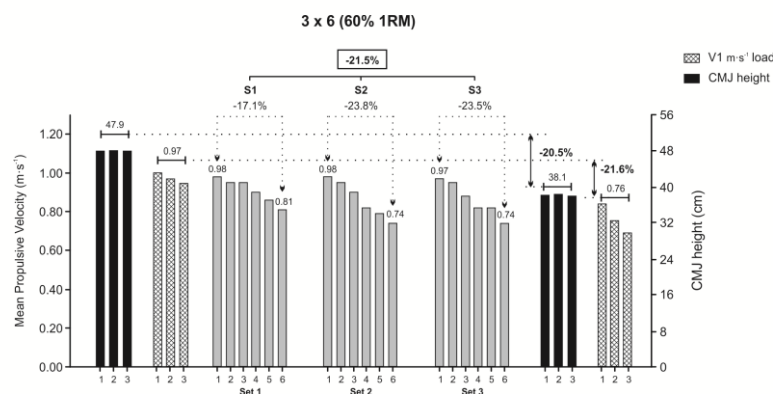


Figura 1. Ejemplo de ejecución del protocolo de entrenamiento de fuerza 1 para un participante representativo del G0. Se calcularon la pérdida de velocidad a través de las 3 series (21,5%), la pérdida de velocidad contra la carga de $V1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (21,6%) y la pérdida de altura del CMJ (20,5%).

RESULTADOS

El porcentaje de pérdida de velocidad a través de las 3 series y la concentración de lactato fueron significativamente ($P < 0.05 - 0.001$) mayores para el G0 en todos los PEF comparado con G10 y G20. El G0 presentó una pérdida de CMJ significativamente ($p < 0.01$) superior a G20 y una pérdida de velocidad con la carga que se desplazó a $\sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ significativamente mayor que G20 ($p < 0.01$) y G10 ($p < 0.05$) en el PEF que se realizó con el 60% de la 1RM. No se observaron diferencias significativas entre grupos en la pérdida con la carga de $\sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y la pérdida de CMJ en el resto de PEF.

CONCLUSIONES

Añadir un tiempo de recuperación entre repeticiones resultó en un menor grado de fatiga mecánica y estrés metabólico con cargas comprendidas entre el 60% y el 80% de la 1RM. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas entre añadir 10 o 20 s de recuperación entre repeticiones sobre la fatiga mecánica y la concentración de lactato producidas por los diferentes PEF utilizados en nuestro estudio.

REFERENCIAS

- [1] Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*, 586(1), 11-23.
- [2] Haff, G. G., Whitley, A., McCoy, L. B., O'Bryant, H. S., Kilgore, J. L., Haff, E. E., Pierce, K. & Stone, M. H. (2003). Effects of different set configurations on barbell velocity and displacement during a clean pull. *J Strength Cond Res*, 17(1), 95-103.
- [3] Lawton, T. W., Cronin, J. B., & Lindsell, R. P. (2006). Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *J Strength Cond Res*, 20(1), 172-176.



**18th annual Congress of the
EUROPEAN COLLEGE OF SPORT SCIENCE
UNIFYING SPORT SCIENCE
26th - 29th June 2013, Barcelona - Spain**



Hosted by the National Institute of Physical Education of Catalonia (INEFC)

European College of Sport Science e.V.

Am Sportpark Müngersdorf 6
50933 Cologne
GERMANY

VAT-ID: DE251715668 - St.Nr.: 223/5905/0216
register of associations: VR12508

Barcelona, 11.07.2013, 10:33:30

Ricardo Mora Custodio
Universidad Pablo de Olavide
C/Estadio 17 3ºB
21400 Ayamonte, Spain

Confirmation of Presentation

**This is to certify that the following title(s) has/have been presented at the
18th Annual Congress of the European College of Sport Science
between 26 - 29 June 2013 in Barcelona - Spain:**

Abstr.-ID: 2178, Presentation format: Mini-Oral , Session name: PP-PM84 - Training and Testing [TT] 19
Title: The effect of heavy vs. moderate-load training on strength, jump height and acceleration
performance.
Authors: Mora Custodio, R., Yáñez-García, J.M., Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., González-Badillo,
J.J.
Institution: Universidad Pablo de Olavide
Date: 29.06.2013, 01.01, Lecture room: Aula esportiva 1, No: 3

>**Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya - INEFC, Spain**
- automatically generated, valid without signature -

Supported by [SporTools](#) GmbH - Data management in sports