



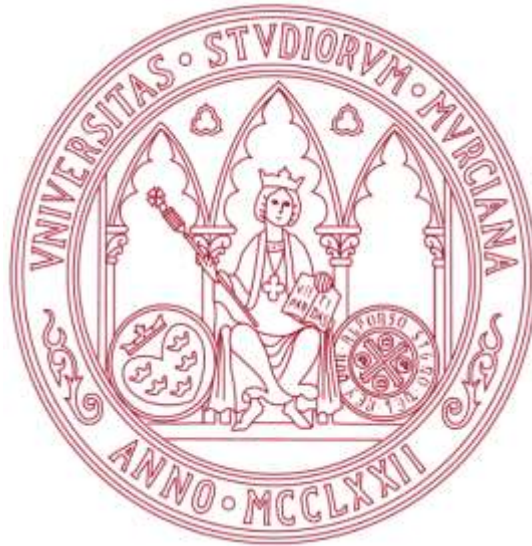
# **UNIVERSIDAD DE MURCIA**

## **ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**

**Efecto de la Realización de Series Tradicionales  
versus Series Alternas Emparejadas entre Ejercicios  
para Extremidades Opuestas sobre el Rendimiento  
Neuromuscular**

**D. Guillermo Peña García-Orea  
2022**





# **UNIVERSIDAD DE MURCIA**

## **ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO**

**Efecto de la Realización de Series Tradicionales  
versus Series Alternas Emparejadas entre Ejercicios  
para Extremidades Opuestas sobre el Rendimiento  
Neuromuscular**

**D. Guillermo Peña García-Orea**

Directores:

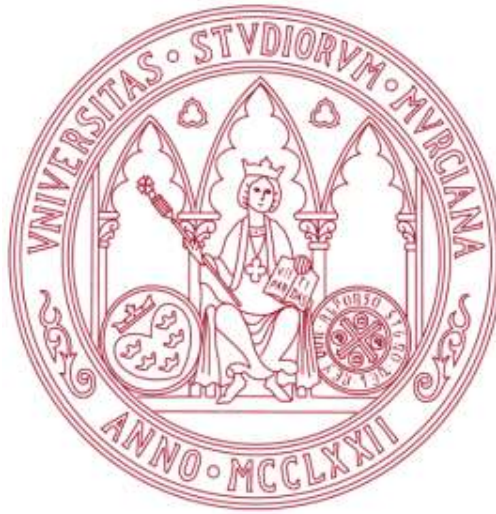
María del Pilar Sainz de Baranda Andújar

Noelia Belando Pedreño

Marzo Edir Da Silva Grigoletto

2022





UNIVERSIDAD DE MURCIA  
DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE  
Facultad de Ciencias del Deporte

D.<sup>a</sup> María del Pilar Sainz de Baranda Andújar

Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y Catedrática del Departamento de Actividad Física y Deporte de la Universidad de Murcia

AUTORIZA:

La presentación de la tesis doctoral titulada: Efecto de la realización de series tradicionales versus series alternas emparejadas entre ejercicios de extremidades opuestas sobre el rendimiento neuromuscular, realizada por D. Guillermo Peña García-Orea, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

Y, para que surta los efectos oportunos al interesado, firmo la presente en Murcia, a trece de junio de dos mil veintidós.

D.<sup>a</sup> María del Pilar Sainz de Baranda Andújar





UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y  
DEPORTE  
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

D.<sup>a</sup> Noelia Belando Pedreño

Doctora en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y Profesora del Departamento de Ciencia de la Actividad Física y Deporte de la Universidad Europea de Madrid

AUTORIZA:

La presentación de la tesis doctoral titulada: Efecto de la realización de series tradicionales versus series alternas emparejadas entre ejercicios de extremidades opuestas sobre el rendimiento neuromuscular, realizada por D. Guillermo Peña García-Orea, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

Y, para que surta los efectos oportunos al interesado, firmo la presente en Murcia, a trece de junio de dos mil veintidós.

D.<sup>a</sup> Noelia Belando Pedreño







UNIVERSIDAD FEDERAL DE SERGIPE  
DEPARTAMENTO DE EDUCACIÓN FÍSICA

D. Marzo Edir Da Silva Grigoletto

Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte y Profesor Titular del  
Departamento de Educación Física de la Universidad Federal de Sergipe (Brasil)

AUTORIZA:

La presentación de la tesis doctoral titulada: Efecto de la realización de series tradicionales versus series alternas emparejadas entre ejercicios de extremidades opuestas sobre el rendimiento neuromuscular, realizada por D. Guillermo Peña García-Orea, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del Grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

Y, para que surta los efectos oportunos al interesado, firmo la presente en Murcia, a trece de junio de dos mil veintidós.

D. Marzo Edir Da Silva Grigoletto



*A mis padres, por darme la oportunidad de poder estudiar y recibir una educación. A mi madre, por estar haciendo frente a su enfermedad con actitud valerosa.*

*A mi mujer, por apoyarme y alentarme siempre, en los buenos y malos momentos. Ella es la mejor compañera para el viaje de mi vida.*

*Y a mis hijos, por darle sentido a todo este viaje y poder ofrecerles las oportunidades que otros no tienen*



## UN POCO DE MI HISTORIA PERSONAL

---

A día de hoy tengo 48 años, soy padre de dos hijos adolescentes, marido de una persona maravillosa y llevo profesionalmente activo más de 20 años. Desde que tengo memoria practico un estilo de vida saludable y físicamente activo porque creo en ello y me aprovecho de sus ventajas. La vida me ha ido descubriendo sus luces, pero también sus sombras. Podría llamar la atención que, a estas alturas, haya querido transitar un itinerario académico como el doctorado, y que no lo hubiera hecho recién graduado como la mayoría (sin apenas ningún camino recorrido...). Pero mi trayectoria profesional es un tanto particular y atípica a la de muchos otros jóvenes doctorandos, y decidí hacerla “al revés” (¿o fueron ellos?).

Con 17 años tuve mis primeras experiencias esporádicas en los *gimnasios de musculación* de finales de los 80, probablemente atraído por lo místico y lo desconocido, y en parte por estar un poco desanimado del *footing* en solitario por las pedanías de Jávea (Alicante). En mi adolescencia tardía, el gimnasio representaba una oportunidad para mejorar mi imagen corporal y una ventana a un mundo fascinante. Como la mayoría fui autodidacta y nunca tuve un tutor que me enseñara nada de lo que se hacía en aquellas trincheras sin ventilación. Poco a poco, mis ansias por entender el entrenamiento empezaron a brotar, mientras que los vestigios del culturismo me retuvieron un buen puñado de años. Por entonces me conformaba con entrenarme a mí mismo, lo que me permitió acumular experiencia, aunque sin ningún conocimiento.

Unos pocos años más tarde, acabada la diplomatura en magisterio de educación física (primera promoción), pude ingresar en la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte en el año 1996. Sin embargo, al poco, fui consciente que aquello que deseaba aprender tampoco me lo enseñaría ninguno de aquellos profesores, y que la conquista del conocimiento dependía más de mi actitud y ganas por seguir aprendiendo por mi cuenta. Durante toda mi estancia universitaria visité las bibliotecas escudriñando y fotocopiando con excitación por encontrar respuestas y saciar curiosidades, en definitiva, inspiración, motivación y sentido. Posiblemente, un punto de inflexión como estudiante fue descubrir que el saber científico se difundía en inglés (¡), en un tiempo donde en España casi solo se leían los libros que las editoriales decidían publicar. Durante ese periodo recogí la información escrita de diferentes autores para que me iluminaran en el conocimiento del entrenamiento en general, y sobre el de fuerza en particular, desde los clásicos (Verkhoshansky, Komi, Zatsiorsky, Platonov, Bompa, etc.), pasando por los más “vanguardistas” de entonces (Bosco, González-Badillo, Cometti, Tous, etc.), hasta los

más científicos de la época (Newton, Stone, Häkkinen, Tesch, Young, Kraemer, Fleck, etc.), pero mi frustración afloraba ante un mar de confusión terminológica y de variantes metodológicas. En resumen, el periplo universitario entre distintos lugares y universidades (Madrid, Granada, Liverpool) me reafirmaron en mi máximo interés: necesitaba saber y seguir entendiendo cómo entrenar para mejorar la condición física y salud de las personas. Además, un fuerte impulso docente empezaba a latir dentro de mí.

Recién licenciado continué con mi formación sobre aquello de lo que seguía teniendo ansias de conocimiento, e inicié el Máster en Alto Rendimiento Deportivo organizado por el COE en el año 2000. Durante esos dos años puse cara a muchos de los profesores españoles que había leído y estudiado y que eran referencia sobre entrenamiento. Entre todos ellos, Juan José González Badillo me impactó especialmente, y si bien no entendía la mayoría de lo que explicaba, intuí que comandaba su propio paradigma de entrenamiento. Luego continuaron muchos años de trabajo como profesor de educación física, instructor, entrenador personal, preparador físico, empresario y docente en cursos y seminarios de centenares de personas que me enamoraron durante más de 20 años, pero nunca dejé de ser *estudiante*. La docencia me obligaba a re-aprender constantemente y me llenaba de gozo, a la vez, la labor como entrenador me forzaba a resolver situaciones y hacer planteamientos empíricos que no encontraba en los libros.

Así que, por acabar esta disertación personal, fui entendiendo que esa “conquista” del conocimiento era y sería siempre una obra inacabada y quimérica, y que a lo más que podía aspirar era vivenciar y transitar los distintos roles que se complementaban entre sí: el de entrenador, el de docente y el de investigador. Quizás, los que tenemos demasiadas limitaciones nos conformemos con pretender ser lo mejor que podamos en alguna de esas facetas, pero siempre intentando saber algo de las otras. Pero también, tal vez, a veces sea saludable abandonar temporalmente una de ellas y centrarse en otra para más tarde volver a la primera, o no. Y fue así como, en este contexto, pensé que esta trilogía entrenador-docente-investigador podría seguir enriqueciéndome profesionalmente, por lo que decidí aventurarme en un programa de doctorado en la Universidad de Murcia en 2017. Creí que, habiendo recorrido ya una parte del camino, sería en ese momento -y no antes- cuando debía hacerlo para aprovechar mejor lo que se me presentara.

## AGRADECIMIENTOS

---

A mis padres, **Juan Carlos** y **Conchita**, que me brindaron la oportunidad de poder estudiar y que me inculcaron valores como el esfuerzo, la disciplina, la responsabilidad, la gratitud y la honradez. En estos años he tratado de devolverles parte de su cariño y apoyo haciendo lo mejor que sé hacer, o al menos intentándolo, y disfrutando de su compañía.

A **Belén**, mi acompañante y esposa, por estar siempre a mi lado, embarcarnos en un proyecto de vida y tener dos maravillosos hijos que tantos retos nos plantean, y por animarme siempre en los momentos menos dulces. Siempre trabajé con la idea de que pudiera sentirse orgullosa de mí. Ambos compartimos la misma pasión por nuestra profesión. Volvería a recorrer todos los pasos dados con ella sin dudarlo.

A mis hijos, **Álvaro** y **María**, por darme la oportunidad de tratar de ser un buen padre. Ellos dan sentido a nuestras vidas.

A mi hermana **Mónica**, por demostrarme su apoyo en los momentos que más la he necesitado. No he tenido todas las atenciones hacia ella que debiera como hermano “mayor”, y ahora más que nunca la siento cerca. El cuidado de nuestros padres son la primera razón que nos une.

A mi directora **Pilar Sainz de Baranda**, por confiar en mi capacidad para desarrollar esta tesis doctoral con libertad y autonomía.

A mi co-directora **Noelia Belando**, sin ella habría sido imposible este viaje. Con entrega y generosidad me indicó la dirección a seguir, me animó a cada paso y me transmitió tranquilidad al saber que no estaba *solo*. Nunca ignoró una llamada o un whatsapp en días y horas inoportunas, y lo mejor de todo, forjamos una amistad que perdurará para siempre. Le estaré eternamente agradecido.

A mi otro co-director, **Marzo Edir Da Silva Grigoletto**, por ser el sabio que acompañó mi viaje del doctorado y me ofreció siempre una perspectiva diferente, un enfoque alternativo a los problemas y me apoyó cuando me hizo más falta.

A **David Rodríguez Rosell**, tocado por la mano del Maestro de maestros y digno sucesor de su legado. Él fue quien más luz me arrojó en los preliminares, y el que de manera

humilde y altruista me ayudó con cada “pequeño” detalle para darle forma a mis investigaciones. Su tesis doctoral fue una inspiración para mí. Hoy le considero un amigo, alguien que me habría gustado conocer mucho antes, y haber compartido muchos otros grandes momentos. Quizás no sea tarde.

A mi compañero y amigo **Juan Ramón Heredia Elvar**, genuino y determinante para mi aprendizaje, una persona entusiasta, creativa y enamorada de su trabajo. Siempre me ha fascinado su pasión desbordante y contagiosa. Su sentido del humor puede convertir cualquier adversidad en una parodia o un chiste, las mejores carcajadas siempre fueron a su lado. Todos estos años junto a él han supuesto un revulsivo para reaprender y una motivación diaria para no decaer. Nadie como él ha influido tanto en mi perspectiva profesional y en la forma de cuestionarme lo aprendido y lo enseñado.

Al Maestro, **Juan José González Badillo**. Alguien que ha gestado su propio conocimiento generando y confirmando sus propias hipótesis, un genio de las ciencias del entrenamiento. En mi carrera he conocido muy buenos docentes, muy buenos entrenadores, y muy buenos investigadores, pero conozco menos entrenadores o investigadores que también sean buenos docentes, o docentes buenos que tengan experiencia acreditada como entrenadores y/o investigadores, y sólo uno que pueda encarnar la excelencia en las tres facetas por ser un ejemplar y brillante investigador, un docente de vocación, y al tiempo, un consagrado y triunfante entrenador. Su experiencia acumulada en todas las áreas me resulta inalcanzable. Gracias a él he podido avanzar en la comprensión del entrenamiento de la fuerza y encajar algunas piezas. Sus cursos, entrevistas, publicaciones y conferencias me ayudaron a desprenderme de términos vacíos y contaminados, y de tantas metodologías irrealizables o desacertadas. Y es que, para mí, ser “Badillista” (como algunos dicen) no es pertenecer a un grupo de investigación o a una escuela de pensamiento, sino ser riguroso, crítico y resolutivo con los problemas que nos presenta el entrenamiento.

A mi admirada compañera y amiga **Lucía Guerrero Romero**, por su compromiso, lealtad, amistad y las continuas aportaciones en nuestra área. Su futuro es prometedor y su capacidad incuestionable.

A **Mauricio Moyano**, por su amistad sincera, su disposición, labor y compromiso por nuestra profesión. Solamente su calidad humana, sus valores y sus principios superan su dilatada experiencia y conocimiento. Él está siendo un gran apoyo en estos momentos de mi vida.



Al “doctore” **Julián Álvarez García**, algo así como un *chamán* y consejero para mí, un sabio en la sombra cuya visión holística del universo transmite paz y positivismo. Por poder contar con él siempre que le necesito.

A todos los compañeros de profesión que me han acompañado y alentado en algún momento en todo este proceso de crecimiento profesional: Felipe Isidro Donate, Laura Sánchez Guillén, Fernando Mata Ordóñez, Carlos Lloret Michán, Manuel Martín Olvera, etc.

A algunos profesores de mi etapa universitaria que, sin nombrarlos, me enseñaron a mirarme en ellos para identificar aquello en lo que no debía imitarles.

A los centenares de alumnos que han podido colaborar en motivarme para seguir esforzándome, y a quienes sólo aspiro a haberles transmitido pasión, cariño y responsabilidad por nuestra profesión, la mejor del mundo.

A todos los deportistas, clientes, pacientes y personas anónimas que en algún momento de mi vida han depositado su confianza en mí para que les entrenase. Puse todo mi corazón e interés, aunque no siempre consiguiera los objetivos propuestos.

Igualmente, en todo este tránsito, me han acompañado muchas otras personas importantes en mi vida profesional y que llevo en mi corazón: Juan León Prados, Carlos Pérez Caballero, Mario Agustín Moyano, Matías Sampietro... y un largo etcétera que deseo siga creciendo.

Sinceramente, muchas gracias a todos por acompañarme en alguna parte del camino.



## PUBLICACIONES Y DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

---

Artículos publicados en revistas científicas internacionales (*JCR*) durante el periodo correspondiente al doctorado:

- **Peña García-Orea G**, Belando-Pedreño N, Merino-Barrero JA, Jiménez-Ruiz A, Heredia-Elvar JR. (2018). Validation of an opto-electronic instrument for the measurement of weighted countermovement jump execution velocity. *Sports Biomechanics*, 14: 1-15.  
<https://www.um.es/documents/4730201/11185086/2.pdf/ecb3bd54-2190-4eb5-bb59-eb7cf5a8fe76>
- **Peña García-Orea G**, Belando-Pedreño N, Merino-Barrero JA, Heredia-Elvar JR. (2019). Validation of an opto-electronic instrument for the measurement of execution velocity in squat exercise. *Sports Biomechanics*, 20(6): 706-719.  
<https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14763141.2019.1597156?journalCode=rsps20>
- **Peña García-Orea G**, Belando-Pedreño N, Merino-Barrero JA, Heredia-Elvar JR. (2022). In respond to the letter to the editor. *Sports Biomechanics*, 21(3): 354-358.  
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14763141.2019.1691251?needAccess=true>
- Heredia-Elvar JR, **Peña García-Orea G**, Mate-Muñoz JL, Hernández Lougedo J, Da Silva-Grigoletto ME. (2021). Determination and control of resistance training intensity and volume in exercise science research and its application. *Revista brasileira de fisiologia do exercício*, 20(5): 592-603. <https://www.researchgate>

Libros:

- Heredia-Elvar, J.R y **Peña García-Orea, G.** (2019). El entrenamiento de la fuerza para la mejora de la condición física y salud. Editorial: Círculo Rojo. (I.S.B.N: 978-84-1331-406-8). <https://editorialcirculo rojo.com/el-entrenamiento-de-la-fuerza-para-la-mejora-de-la-condicion-fisica-y-la-salud/>

Contribuciones a congresos nacionales e internacionales

Participación en la modalidad de pósters:

- **Peña García-Orea G**, Belando-Pedreño N, Merino-Barrero JA, Heredia-Elvar JR. A novel opto-electronic device for the measurement of execution velocity. VI NSCA International Conference. Universidad Europea de Madrid. 26-29 de septiembre 2018.

Participación en la modalidad de comunicaciones orales:

- **Peña García-Orea G**, Belando-Pedreño N, Sainz de Baranda, P. Efecto crónico de realizar series emparejadas de sentadilla y press de banca sobre el rendimiento neuromuscular. III Congreso de Investigación en Ciencias de la Actividad Física y Deporte. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y Deporte-INEF y Fundación de investigación en ciencias de la actividad física y deporte. Madrid. 2 de octubre.

# ÍNDICE

---

<b>RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
ESTUDIO 1.....	1
ESTUDIO 2.....	2
<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Origen de la problemática objeto de estudio .....</b>	<b>11</b>
<b>3. Marco teórico .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. Determinación y control de la intensidad y volumen del entrenamiento de la fuerza en la investigación en ciencias del ejercicio .....</b>	<b>19</b>
3.1.1. <i>Los componentes de la carga del entrenamiento de la fuerza .....</i>	19
3.1.2. <i>La definición, control y determinación de la intensidad en el entrenamiento de la fuerza .....</i>	20
3.1.3. <i>La cuantificación, control y dosificación del volumen en el entrenamiento de la fuerza .....</i>	23
3.1.4. <i>Definición y control de la magnitud del estímulo o carga del entrenamiento de la fuerza .....</i>	26
<b>3.2. El entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad de ejecución .....</b>	<b>30</b>
3.2.1. <i>Génesis del entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad .....</i>	31
3.2.2. <i>¿Qué es un entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad? .....</i>	33
3.2.3. <i>¿Qué condiciones deben darse para poder aplicar un entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad? .....</i>	34
3.2.4. <i>¿Con qué ejercicios puede ser relevante medir y utilizar el control de la velocidad de ejecución en un programa de entrenamiento de la fuerza? .....</i>	35
3.2.5. <i>Aplicaciones y utilidades del entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad .....</i>	36
3.2.6. <i>La relación fuerza-velocidad y carga(%1RM)-velocidad .....</i>	36
<b>3.3. Revisión de los estudios sobre series emparejadas/alternas entre ejercicios en el entrenamiento de la fuerza .....</b>	<b>40</b>
3.3.1. <i>Conclusiones sobre los estudios que utilizan series emparejadas/alternas entre ejercicios .....</i>	51

<b>3.4. Dispositivos para la medición de la velocidad de ejecución en el entrenamiento de la fuerza</b> .....	<b>53</b>
3.4.1. <i>Instrumentos electrónicos de medida de la velocidad de ejecución</i> .....	53
3.4.2. <i>Estudios sobre dispositivos “wearables” para la medición de la velocidad de ejecución</i> .....	59
<b>4. Planteamiento del problema y propósito de la investigación</b> .....	<b>63</b>
<b>5. Objetivos de la investigación</b> .....	<b>69</b>
<b>6. Hipótesis de investigación</b> .....	<b>73</b>
<b>7. Resultados. Estudio 1. Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus series tradicionales sobre la velocidad de la barra y el volumen</b> .....	<b>79</b>
<b>7.1. Metodología</b> .....	<b>80</b>
7.1.1. <i>Tipo de investigación</i> .....	80
7.1.2. <i>Diseño del estudio</i> .....	80
7.1.3. <i>Muestra</i> .....	82
7.1.4. <i>Variables dependientes e independientes</i> .....	83
7.1.5. <i>Control de variables intervinientes</i> .....	84
7.1.6. <i>Instrumental</i> .....	84
7.1.7. <i>Análisis antropométrico</i> .....	86
7.1.8. <i>Procedimiento de evaluación</i> .....	86
7.1.9. <i>Ejecución técnica de los ejercicios</i> .....	90
7.1.10. <i>Análisis de datos</i> .....	91
<b>7.2. Resultados</b> .....	<b>91</b>
7.2.1. <i>Sobre las variables derivadas del análisis del entrenamiento realizado</i> ...	91
7.2.2. <i>Sobre las variables mecánicas de rendimiento neuromuscular</i> .....	92
<b>7.3. Discusión</b> .....	<b>95</b>
<b>7.4. Conclusión</b> .....	<b>98</b>
<b>8. Resultados. Estudio 2. Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus series tradicionales para inducir mejoras crónicas de rendimiento neuromuscular</b> .....	<b>99</b>
<b>8.1. Metodología</b> .....	<b>100</b>
8.1.1. <i>Tipo de investigación</i> .....	100
8.1.2. <i>Diseño del estudio</i> .....	100
8.1.3. <i>Muestra</i> .....	102
8.1.4. <i>Variables dependientes e independientes</i> .....	102
8.1.5. <i>Control de variables intervinientes</i> .....	103
8.1.6. <i>Instrumental</i> .....	103

8.1.7. Análisis antropométrico .....	105
8.1.8. Procedimiento de evaluación (pruebas físicas).....	105
8.1.9. Características del programa de entrenamiento .....	107
8.1.10. Temporización de sesiones: plan de trabajo .....	110
8.1.11. Análisis de datos .....	111
<b>8.2. Resultados.....</b>	<b>111</b>
8.2.1. Sobre variables derivadas del análisis del entrenamiento realizado .....	112
8.2.2. Sobre las variables mecánicas de rendimiento neuromuscular.....	114
<b>8.3. Discusión.....</b>	<b>117</b>
<b>8.4. Conclusión .....</b>	<b>120</b>
<b>9. Conclusiones .....</b>	<b>123</b>
<b>10. Limitaciones de la investigación .....</b>	<b>129</b>
<b>11. Futuras líneas de investigación .....</b>	<b>133</b>
<b>12. Aplicaciones prácticas .....</b>	<b>137</b>
<b>13. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>141</b>
<b>Glosario de acrónimos .....</b>	<b>161</b>
<b>Relación de Tablas .....</b>	<b>165</b>
<b>Relación de Figuras.....</b>	<b>169</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>173</b>
ANEXO I: Consentimiento informado.....	174
ANEXO II: Hoja de registro de las pruebas físicas (Estudio 2) .....	177





## RESUMEN

Esta Tesis está constituida por dos estudios realizados consecutivamente y relacionados con el área del entrenamiento de la fuerza (Estudio 1 y Estudio 2). Previamente al desarrollo de estos dos estudios, y durante el inicio del doctorado, otros dos estudios sobre una línea de investigación diferente fueron también elaborados y publicados. Esos otros estudios previos tuvieron como objetivo analizar la fiabilidad de un dispositivo opto-electrónico diseñado para la medición de la velocidad de la barra en el ejercicio de salto con contra-movimiento lastrado y en el ejercicio de sentadilla completa, realizados ambos en una máquina Smith y utilizando un transductor lineal de velocidad como *gold standard* con el que comparar las mediciones (consultar apartado Publicaciones y Divulgación Científica). Sin embargo, al comprobar que el software de dicho dispositivo presentaba importantes limitaciones para el almacenaje de datos se decidió no utilizarlo para los estudios posteriores de intervención que constituyen la presente Tesis doctoral.

Por tanto, los dos estudios que finalmente componen la presente Tesis doctoral son los siguientes:

### ESTUDIO 1

**Título:** Efecto agudo de series alternas emparejadas de extremidades opuestas versus series tradicionales sobre la velocidad de la barra y el volumen.

**Objetivo:** Este estudio tuvo como objetivo comparar el efecto sobre la velocidad de ejecución de la barra y el número de repeticiones entre dos protocolos de entrenamiento de fuerza basados en el control de la velocidad que solo se diferenciaron en la configuración de las series de los ejercicios de sentadilla completa (SQ) y press de banca (PB).

**Método:** Diecinueve hombres moderadamente entrenados en fuerza fueron asignados a un grupo de configuración de series tradicionales (ST, n= 9) y configuración de series alternas (SA, n= 10) para realizar cuatro sesiones de evaluación utilizando diferentes cargas relativas (55-60-65-70% 1RM). La carga relativa, la magnitud de la pérdida de velocidad intra-serie (%PV: 15% y 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente), el número de series (3), el tiempo de recuperación entre series (3 min) y el orden de los ejercicios (SQ seguida de PB) se equipararon para ambos grupos en cada sesión. Se

midieron la velocidad media propulsiva de la primera repetición ( $VMP_{PRIMERA}$ ), el número medio de repeticiones por serie (NRS), el número total de repeticiones (NTR) y el tiempo total de entrenamiento por sesión (TT).

**Resultados:** No se observaron diferencias significativas entre ambas condiciones de entrenamiento para ninguna carga relativa en  $VMP_{PRIMERA}$ , NRS y NTR en ambos ejercicios. El grupo ST completó un número significativamente mayor de repeticiones ( $p < 0.05$ ) a velocidades más rápidas ( $VMP > 0.9-1.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) en el ejercicio de SQ. El TT fue significativamente más corto ( $p < 0.001$ ) para el grupo SA en comparación con el grupo ST.

**Conclusiones y aplicaciones prácticas:** Las sesiones de entrenamiento donde se realizan SA entre los ejercicios de SQ y PB con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y moderada %PV (15-20%) permiten desarrollar una velocidad de ejecución de la barra y un volumen similares, pero de una manera más eficiente en cuanto al tiempo en comparación con la metodología tradicional de estructuración de las series.

**Palabras clave:** configuración de series, rendimiento neuromuscular, entrenamiento de la fuerza, VBT

## ESTUDIO 2

**Título:** Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus series tradicionales para inducir mejoras crónicas de rendimiento neuromuscular.

**Objetivo:** Este estudio tuvo como objetivo comparar el efecto de dos programas de entrenamiento de la fuerza basados en el control de la velocidad (VBRT) que solo diferían en la configuración de las series sobre la fuerza muscular, la resistencia muscular y el rendimiento en salto.

**Método:** Diecisiete hombres moderadamente entrenados en fuerza fueron asignados a un grupo de configuración de series tradicionales (ST,  $n = 8$ ) y configuración de series alternas (SA,  $n = 9$ ) para realizar un VBRT de 6 semanas utilizando los ejercicios de sentadilla completa (SQ) y press de banca (PB). La frecuencia de entrenamiento (2 sesiones/semana) y los períodos de descanso entre sesiones (72-96 horas), la carga relativa y su distribución a lo largo del ciclo (55-70% 1RM), el orden de los ejercicios (SQ seguida de PB), el número de series (3), la magnitud de la pérdida de velocidad en la serie (%PV: 15% y 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente) y el tiempo de recuperación entre series (3 min) se equipararon para ambos grupos en cada sesión. La altura del salto con contra-movimiento (CMJ), la relación carga (kg)-velocidad, la

1RM estimada y la resistencia muscular se evaluaron antes y después del periodo de entrenamiento en cada ejercicio.

**Resultados:** Los grupos ST y SA obtuvieron mejoras similares, pero no significativas en CMJ ( $3.01 \pm 4.84\%$  y  $3.77 \pm 6.12\%$ , respectivamente). Ambos grupos mostraron aumentos significativos y similares en las variables representativas de la fuerza muscular a partir de la relación carga-velocidad en el ejercicio de SQ ( $6.19-11.55\%$  vs.  $6.90-11.76\%$ ;  $p < 0.05-0.01$ , para ST y SA, respectivamente), PB ( $6.19-13.87\%$  y  $3.99-9.58\%$ ;  $p < 0.05-0.01$ , para el grupo ST y SA, respectivamente) y resistencia muscular en PB ( $7.29 \pm 7.76\%$  y  $7.72 \pm 9.73\%$ ;  $p < 0.05$ , para el grupo ST y SA, respectivamente). Sin embargo, el grupo SA mostró un incremento porcentual mayor en la resistencia muscular en el ejercicio de SQ que el grupo ST ( $10.19 \pm 15.23\%$  vs.  $2.76 \pm 7.39\%$ ;  $p < 0.05$ , respectivamente). El tiempo total de entrenamiento por sesión fue significativamente más corto ( $p = 0.000$ ) para el grupo SA ( $23.3 \text{ min} \pm 2 \text{ min}$ ) que para el grupo ST ( $42.2 \text{ min} \pm 3 \text{ min}$ ).

**Conclusiones y aplicaciones prácticas:** Estos hallazgos indican que realizar SA entre el ejercicio de SQ y PB con cargas relativas moderadas ( $55-70\%$  1RM) y un grado de fatiga (%PV) incurrido en la serie moderado ( $\leq 20\%$ ), induce mejoras de fuerza muscular y salto vertical similares, pero de una manera más eficiente con respecto al tiempo que la metodología tradicional. Por lo tanto, los profesionales deberían considerar la posibilidad de utilizar SA durante períodos con un tiempo limitado para entrenar.

**Palabras clave:** configuración de series, entrenamiento de la fuerza, rendimiento deportivo, VBT



# **1. INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

Claramente uno de los objetivos permanentes de los entrenadores y científicos es averiguar cuál es la dosis necesaria de ejercicio más eficiente para obtener adaptaciones óptimas de la fuerza (Suchomel et al., 2018). La manera de conseguirlo es a través de la composición o configuración de un estímulo de entrenamiento que resulte eficaz y seguro a la vez. La configuración de dicho estímulo de entrenamiento de la fuerza depende de la manipulación de una serie de variables agudas que interactúan entre sí, como son: el tipo y orden de los ejercicios, la magnitud de la carga (volumen e intensidad), el número de series y repeticiones por serie, el tiempo de recuperación entre repeticiones, series y ejercicios, y la velocidad de ejecución (Bird et al., 2005; Kraemer y Ratamess, 2004). La manipulación de cualquiera de estas variables o indicadores modulará e interferirá sobre el tipo y magnitud de la respuesta fisiológica y, por consiguiente, sobre la respuesta adaptativa provocada por el entrenamiento de la fuerza (Bird et al., 2005; Spiering et al., 2008).

Entre esas variables, el orden o secuencia de la realización de los ejercicios y series en la sesión de entrenamiento es un aspecto importante en cuanto que influye significativamente en el rendimiento de los ejercicios, la producción de fuerza, la fatiga acumulada y las adaptaciones al entrenamiento de fuerza (Bird et al., 2005; Kraemer y Ratamess, 2004; Spiering et al., 2008). Sobre las distintas opciones de estructuración de las sesiones de entrenamiento en cuando al orden/secuencia de realización de los ejercicios durante el entrenamiento de fuerza se pueden considerar las siguientes (Heredia y Peña, 2019; Naclerio, 2005; Zartkiosky, 1995):

a) Métodos de entrenamiento en progresión horizontal o tradicional. Los métodos de entrenamiento en progresión horizontal son *aquellos* en los que *la carga o dosis de entrenamiento se realiza mediante el agrupamiento de todas las series para un mismo ejercicio* (Heredia y Peña, 2019). De esta forma, se realizan todas las series establecidas para el mismo (primer) ejercicio antes de realizar todas las series del/los siguiente/s ejercicio/s de la sesión. En los estudios científicos esta configuración o manera de realización de las series suele denominarse tradicional o clásica.

b) Métodos de entrenamiento en progresión vertical. Los métodos de entrenamiento en progresión vertical son *aquellos en los que la carga o dosis de entrenamiento se realiza agrupando un determinado número de ejercicios para una*

*misma serie* (Heredia y Peña, 2019). Es decir, se realiza un determinado número de ejercicios de forma consecutiva hasta completar la primera serie de todos ellos, y una vez se han realizado todos los ejercicios de la secuencia, se vuelve al primero de los ejercicios para iniciar la siguiente serie.

En relación con la estructuración o configuración de la series y ejercicios en la sesión, desde mediados del siglo pasado y en el seno del físico-culturismo, se han popularizado diferentes técnicas de entrenamiento en las que las series se realizan alternativamente entre diferentes ejercicios - generalmente dos - dirigidos al mismo grupo de músculos agonistas o para grupos/acciones musculares antagonistas (i.e., entrenamiento en super serie o en series agonistas-antagonistas emparejadas, en inglés *super-set* o *agonist-antagonist paired set training*). En la práctica, este tipo de técnicas o estrategias tienen como clara ventaja permitir ahorrar mucho tiempo pasivo durante las sesiones de entrenamiento con respecto a una metodología tradicional (de Souza et al., 2017; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Paz et al., 2017; Weakley et al., 2017), ya que su característica principal es que los ejercicios emparejados/agrupados se realizan de manera alterna con un descanso mínimo o sin descanso entre series (Paz et al., 2016).

Sin embargo, aunque este tipo de prácticas o maneras de organizar los ejercicios y series del entrenamiento estén bien arraigadas en las salas de entrenamiento, y siendo evidente que pueden ser una forma eficiente de entrenar en comparación a una metodología tradicional (Ciccione et al., 2014), se desconoce si la respuesta neuromuscular a largo plazo puede resultar igual de eficaz que la manera clásica de configurar las series (i.e., realizando todas las series del mismo ejercicio antes de pasar al siguiente ejercicio de la sesión). Por consiguiente, queda por determinar científicamente el efecto sobre el desarrollo de la fuerza, el rendimiento motor y el desarrollo de la masa muscular de estas prácticas de entrenamiento caracterizadas por el agrupamiento, emparejamiento o combinación de ejercicios en series alternas. Solamente mediante la experimentación científica sobre esta cuestión los técnicos podrán tomar sus propias decisiones y mejorar sus intervenciones en la práctica. Además, con el avance actual en las Ciencias del Ejercicio Físico y del Deporte sobre la dosificación y control de la carga de entrenamiento de la fuerza a través de variables mecánicas (fuerza, velocidad, potencia) se favorece el diseño y desarrollo de estudios con un control de las variables riguroso que ayuden a establecer mejor la relación estímulo/dosis-respuesta. Con este propósito, en esta Tesis Doctoral se han llevado a cabo dos estudios en torno a esta cuestión relacionada con el entrenamiento de la



fuerza, es decir, *el análisis de la respuesta aguda y a largo plazo de la realización de series emparejadas/alternas entre ejercicios que implican grupos musculares diferentes sobre el rendimiento neuromuscular*. Estos estudios se han realizado tomando como muestra un grupo de adultos (varones jóvenes) con experiencia en el entrenamiento de la fuerza muscular.

ESTUDIO 1: Este estudio fue diseñado para analizar la respuesta aguda de la realización de series emparejadas/alternas entre ejercicios que implicaran a extremidades opuestas (sentadilla y press de banca) sobre la velocidad de ejecución de la barra y número de repeticiones por serie como variables dependientes indicadoras del rendimiento neuromuscular. Las variables independientes relacionadas con la carga de entrenamiento (intensidad y volumen) fueron monitorizadas en cada sesión de evaluación mediante una metodología que utilizaba la velocidad de ejecución para su control. Además, se comparó el mismo protocolo, y ante distintas intensidades relativas, con la realización de las series de manera tradicional. Esto permitió considerar las diferencias, con respecto a una configuración tradicional, del entrenamiento alternando series entre ejercicios para extremidades opuestas realizado con un grado de fatiga moderado-bajo.

ESTUDIO 2: Este estudio longitudinal de intervención fue diseñado para analizar el efecto a largo plazo de la realización de series emparejadas/alternas entre los ejercicios de sentadilla y press de banca sobre variables relacionadas con el rendimiento neuromuscular. El efecto del entrenamiento fue evaluado a través de los cambios en la fuerza, la resistencia muscular y el rendimiento en el salto vertical. Las variables independientes relacionadas con la carga de entrenamiento (intensidad y volumen) fueron monitorizadas en cada sesión de entrenamiento mediante una metodología que utilizaba la velocidad de ejecución para su control. Este estudio muestra la ventaja y la aplicación práctica de diseñar entrenamientos de fuerza mediante series alternas entre ejercicios que impliquen regiones musculares distales entre sí, pero sin comprometer significativamente los beneficios aportados por una configuración tradicional de las series.



**2.**  
**ORIGEN DE LA  
PROBLEMÁTICA  
OBJETO DE ESTUDIO**



## 2. ORIGEN DE LA PROBLEMÁTICA OBJETO DE ESTUDIO

Entre las diversas variables determinantes del estímulo de entrenamiento de la fuerza, el orden o secuencia de realización de los ejercicios y series en la sesión de entrenamiento presenta especial relevancia debido a que puede influir sobre la respuesta fisiológica aguda (Sforzo y Touey, 1996), y en última instancia, sobre las adaptaciones neuromusculares que se produzcan con el entrenamiento de fuerza (Simão et al., 2012). La manera tradicional de estructurar las series en la sesión es realizando todas las series del mismo ejercicio antes de realizar las series del siguiente ejercicio, estableciendo intervalos de recuperación entre series para cada ejercicio de 2 a 5 min, y completando múltiples series de diferentes ejercicios para la parte superior e inferior del cuerpo (Bird et al., 2005; Kraemer y Ratamess, 2004). Sin embargo, este planteamiento puede conllevar entrenamientos que consumen mucho tiempo. Por esta razón, averiguar cómo los programas de entrenamiento para el desarrollo de la fuerza se pueden confeccionar de manera que se optimice (reduzca) el tiempo de entrenamiento, pero sin comprometer significativamente su eficacia, podría fomentar a que más deportistas y practicantes se involucraran y cumplieran este tipo de entrenamientos tan importantes para la salud, la funcionalidad y la mejora del rendimiento. Además, al reducir el tiempo necesario en los entrenamientos de fuerza se podría destinar el tiempo ahorrado para trabajar otro tipo de contenidos (i.e., técnico-tácticos, condicionales, preventivo-compensatorios, etc.).

Por el contrario, la principal ventaja de una progresión vertical en la secuencia de realización de los ejercicios (agrupamiento de ejercicios), es decir, alternando series entre ejercicios diferentes, reside en el ahorro de tiempo que supone con respecto a una metodología tradicional ante un volumen de entrenamiento equivalente (Robbins et al., 2010a). Pero cuando se realizan series entre distintos ejercicios de manera alterna o intercalada sería presumible esperar alguno de los siguientes tipos de respuestas agudas: a) un empeoramiento del rendimiento a medida que se van sucediendo las series como consecuencia de la fatiga acumulada; b) una mejora del rendimiento entre series como consecuencia de un efecto neuromuscular positivo (i.e., potenciación post-activación); c) ningún tipo de efecto perjudicial o potenciador sobre el rendimiento neuromuscular. La respuesta que se obtenga va a depender fundamentalmente de la configuración del propio estímulo de entrenamiento en la sesión, es decir, de la

intensidad relativa, número de repeticiones por serie o grado de fatiga generado en la serie, tiempo de recuperación entre series y ejercicios, y tipo y orden de los ejercicios que se vayan a combinar, etc. Por supuesto, este mismo razonamiento podría ser extrapolable cuando se evaluara la respuesta a largo plazo tras un periodo de entrenamiento.

Durante el entrenamiento en "super serie" o series agonistas-antagonistas emparejadas (en inglés, *super-set* o *agonist-antagonist paired set training*), los músculos con una relación agonista-antagonista o agonista-agonista se entrenan de forma alterna con descanso limitado o sin descanso entre series (Paz et al., 2016). En la literatura se han analizado diferentes configuraciones de series emparejadas, siendo los emparejamientos agonista-antagonista (e.g., remo invertido con barra y press de banca) y agonista-agonista (e.g., press de banca con mancuernas y press de banca con barra) los investigados más habitualmente (Robbins et al., 2010a). Las series alternas emparejadas entre ejercicios que involucran el mismo grupo muscular (i.e., agonista-agonista) son principalmente una práctica culturista para dedicar más tiempo a trabajar los músculos de manera individual (Iversen et al., 2021). Pero, aunque este tipo de emparejamientos puedan reducir sustancialmente el tiempo de entrenamiento, también pueden acarrear disminuciones significativas del rendimiento neuromuscular y la capacidad de ejercer fuerza durante el entrenamiento, particularmente con ejercicios multiarticulares realizados con alto grado de fatiga (Ciccione et al., 2014; Iversen et al., 2021). Esto es un hándicap a tener en cuenta cuando el objetivo principal sea promover el máximo reclutamiento y estimulación de unidades motoras de alto umbral de excitación.

Por otro lado, estudios previos han mostrado que el entrenamiento realizando series alternas emparejadas entre ejercicios que implican musculatura antagonista permite realizar un volumen de entrenamiento similar o mayor (i.e., repeticiones totales por serie ante la misma carga absoluta) que el entrenamiento de series tradicionales, a la par que una reducción significativa en la duración de la sesión de entrenamiento (Paz et al., 2013; Paz et al., 2016; Paz et al., 2017; Robbins et al., 2010b). Sin embargo, los emparejamientos de ejercicios que alternan grupos de músculos de la parte superior (miembros superiores) e inferior (miembros inferiores) del cuerpo realizados sucesivamente rara vez se han considerado desde la perspectiva científica (Ciccione et al., 2014; Weakley et al., 2017; Weakley et al., 2020), aunque esta combinación podría parecer adecuada y estar justificada cuando se tratara de minimizar la fatiga periférica

y mantener altos niveles de fuerza, velocidad y producción de potencia entre series y ejercicios.

En cualquier caso, existen muy pocas investigaciones que analicen el efecto sobre la función neuromuscular de realizar series emparejadas entre ejercicios tras un programa o intervención de entrenamiento (Merrigan et al., 2019; Robbins et al., 2009) y, además, lo comparen con una metodología tradicional. Por el contrario, la gran mayoría de esos estudios son de tipo transversal y se han centrado típicamente en analizar las respuestas agudas o a corto plazo producido sobre la actividad muscular (i.e., EMG) (Augustsson et al., 2003; Brennecke et al., 2009; Gentil et al., 2007; Golás et al., 2017; Maia et al., 2015; Paz et al., 2013; Ribeiro et al., 2019; Silva et al., 2018; Soares et al., 2016), el daño muscular (Brentano et al., 2017), la respuesta metabólica (e.g., lactato sanguíneo, creatina quinasa, lactato deshidrogenasa) (Carregaro et al., 2011; Carregaro et al., 2013; de Souza et al., 2017; Kelleher et al., 2010; Silva et al., 2018; Weakley et al., 2017), la respuesta endocrina (e.g., testosterona, cortisol, hormona del crecimiento) (Miranda et al., 2020), el grado de esfuerzo percibido (i.e., OMNI-RES, RPE) (de Souza et al., 2017; Weakley et al., 2017), la eficiencia del entrenamiento (i.e., la relación volumen de carga/tiempo de duración de la sesión) (de Souza et al., 2017; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c;), el volumen de carga (i.e., total repeticiones x kilogramos levantados) (de Souza et al., 2017; Gentil et al., 2007; Maia et al., 2015; Paz et al., 2017; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Robbins et al., 2010d; Soares et al., 2016) y sobre variables relacionadas con el rendimiento mecánico y neuromuscular (i.e., velocidad, potencia, fuerza, altura del salto vertical post-esfuerzo) (Baker y Newton, 2005; Ciccone et al., 2014; Robbins et al., 2010c; Weakley et al., 2017; Weakley et al., 2020). Además, en la mayoría de esos estudios, el criterio para la determinación de la intensidad relativa y prescripción del entrenamiento se ha realizado a través del máximo número de repeticiones posibles de realizar ante un peso submáximo dado (e.g., 8RM, 10RM), por lo que cada serie casi siempre se realizó hasta el fallo muscular (agotando el máximo número de repeticiones posibles) en todos los ejercicios (Robbins et al., 2009; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c). Igualmente, otros de esos estudios han utilizado un porcentaje de la 1RM para la determinación de la intensidad relativa y la dosificación del entrenamiento (Merrigan et al., 2019; Weakley et al., 2017). No obstante, estos procedimientos para la determinación de la carga tienen limitaciones importantes que podrían cuestionar los resultados de las investigaciones que los utilizan y sus aplicaciones prácticas (ver apartado Marco conceptual, 3.1.2. *La definición, control y determinación de la intensidad en el entrenamiento de la fuerza*).

Por tanto, no conocemos estudios los cuales hayan comparado el efecto agudo y/o crónico entre ambos tipos de configuración de las series (tradicional vs. alternas/emparejadas), ante distintos grados de esfuerzo (i.e., intensidades y repeticiones por serie) durante el entrenamiento, y que además hayan utilizado la velocidad de ejecución como criterio objetivo para ajustar y dosificar la carga aplicada y valorar el efecto de entrenamiento producido. Al mismo tiempo, aunque se crea que la configuración tradicional de series puede ser más favorable cuando los objetivos del entrenamiento sean maximizar la velocidad y la potencia del movimiento (Weakley et al., 2017), se desconoce realmente si una configuración de series alternas/emparejadas entre ejercicios que impliquen extremidades opuestas (i.e., grupos musculares de la parte superior e inferior del cuerpo) puede ser más, menos o igual de eficaz para el desarrollo de la fuerza que la metodología tradicional tras una intervención de entrenamiento de varias semanas.

En consecuencia, las inconsistencias y limitaciones metodológicas de las investigaciones existentes en la literatura científica han inspirado para proponer una nueva línea de investigación experimental que pueda esclarecer el efecto del entrenamiento de la fuerza utilizando series alternas entre diferentes emparejamientos de ejercicios y grados de esfuerzo (cargas de entrenamiento) sobre el rendimiento físico, comparándose con un entrenamiento estructurado de manera tradicional. Entendemos que la circunstancia a favor del entrenamiento realizando series de manera alterna entre ejercicios reside fundamentalmente en la reducción significativa de la duración de la sesión, siempre y cuando no se perjudique o comprometa significativamente el resultado pretendido sobre el rendimiento medido.



# **3. MARCO TEÓRICO**



### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Determinación y control de la intensidad y volumen del entrenamiento de la fuerza en la investigación en ciencias del ejercicio

##### 3.1.1. Los componentes o variables de la carga del entrenamiento de la fuerza

El diseño de los programas de entrenamiento de la fuerza es una tarea compleja, entre otras razones porque la configuración del estímulo de entrenamiento que lo caracteriza supone la manipulación de un conjunto de variables que interactúan entre sí y que afectan a los resultados obtenidos por el propio programa o protocolo de entrenamiento. Por esta razón, la configuración del estímulo o carga de entrenamiento requiere manipular (programar) el conjunto de los componentes que lo constituye, y que presumiblemente podrá desatar la respuesta interna y efecto deseado con más o menos acierto (Heredia y Peña, 2019). En otras palabras, la carga propuesta, el estímulo de entrenamiento o la “dosis” de ejercicio se expresa y viene determinada por la combinación de un conjunto de componentes denominados *variables de entrenamiento* (**Tabla 1**). Todas esas variables representan y suponen por tanto decisiones del técnico encargado del diseño de los programas de entrenamiento, y que deberían venir orientadas por la mejor evidencia científica y condicionadas por la experiencia, características y necesidades del sujeto entrenado (Heredia y Peña, 2019). La manipulación de cualquiera de estas variables o indicadores de la dosis de entrenamiento modulará e interferirá sobre el tipo y magnitud de la respuesta fisiológica y, por consiguiente, sobre la respuesta adaptativa provocada por el entrenamiento. En otras palabras, cuando se pretende provocar una serie de *respuestas adaptativas, que se reflejarán en cambios funcionales y morfológicos de los sistemas orgánicos*, el entrenador lo hace mediante la manipulación de las variables que configuran el estímulo externo, y para ello se establece una relación causal entre ambos: estímulo-respuesta (Heredia y Peña, 2019). De la capacidad para poder determinar dicha relación causal depende en gran medida el éxito del entrenamiento, puesto que ello supondrá acertar con la dosis de entrenamiento más apropiada (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002). *Ser capaz de determinar la dosis o estímulos más adecuados según el objetivo es la clave del entrenamiento* (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002).

**Tabla 1**

*Definición de los componentes o variables relacionadas con la carga (estímulo) de entrenamiento necesarias para el diseño de programas de entrenamiento*

<b>Variable</b>	<b>Definición</b>
Frecuencia	Número de sesiones de entrenamiento desarrolladas en la unidad de tiempo (habitualmente la semana)
Volumen	Cantidad de trabajo/ejercicio realizado en la unidad de tiempo o por cada tarea/ejercicio
Intensidad	Grado de esfuerzo desarrollado respecto a la capacidad de rendimiento actual en cada unidad de acción motriz
Densidad	Relación entre la duración del esfuerzo y la duración de la pausa de recuperación
Ejercicio	Tarea/s o acción/es motriz/ces escogida/s para el entrenamiento
Metodología	Orden/secuencia de realización de los ejercicios o tareas motrices

3.1.2. La definición, control y determinación de la intensidad en el entrenamiento de la fuerza

*Intensidad de entrenamiento como porcentaje de la repetición máxima (%1RM).* La referencia más común para determinar y prescribir la intensidad del entrenamiento de la fuerza es el valor de una repetición máxima (1RM), valorado individualmente de forma directa o estimado indirectamente mediante determinados procedimientos. El valor de la 1RM se expresa habitualmente en kilogramos (kg), y la dosificación de la intensidad tomando como referencia la RM se hace a través de los porcentajes de la RM (%1RM) (González-Badillo et al., 2017a).

Históricamente, en el ámbito del entrenamiento, cuando se programa una carga externa en función de un %1RM, y asumiendo que dicho estímulo supone un determinado impacto fisiológico o grado de esfuerzo para el sujeto entrenado, casi nunca se establece una correcta relación estímulo-respuesta. Esto es así porque la forma de determinar y dosificar la intensidad relativa mediante el %1RM presenta determinadas desventajas que limitan su aplicabilidad a la práctica diaria del entrenamiento como, por ejemplo (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2017a): 1) la evaluación directa de la 1RM consume demasiado tiempo y puede estar asociado con lesiones cuando se realiza incorrectamente o por sujetos novatos y es poco práctico

para grupos grandes; 2) el valor de la 1RM es complejo de medir, y habitualmente el valor obtenido es impreciso o falso, es decir, no es real. Esta situación implica que cada carga absoluta que se utilice tomando como referencia una RM falsa, siempre será un porcentaje real menor del programado. Solamente si se mide la velocidad propia de la RM se puede tener la certeza de que el valor obtenido es “verdadero”, ya que cada ejercicio tiene una velocidad propia de RM (González-Badillo, 2000); 3) la alta variabilidad u fluctuación del valor actual de la RM en el tiempo por distintas circunstancias (i.e., rendimiento mejorado después de algunas pocas sesiones de entrenamiento, el estrés, la calidad del sueño, etc.), lo que implicaría la necesidad de realizar constantemente evaluaciones para reajustar el cálculo de la carga absoluta correspondiente a la carga relativa programada según el estado actual del sujeto.

*Intensidad de entrenamiento como número máximo de repeticiones posibles (Nº RM o XRM).* El número máximo de repeticiones posibles de realizar en una serie con una carga absoluta submáxima (por ejemplo, 6RM, 8RM, 10RM) se ha sugerido como un procedimiento para expresar, programar y dosificar la intensidad e, incluso, estimar el valor de la 1RM a través de ecuaciones de regresión validadas para ejercicios concretos (Brzycki, 1993; Hoeger et al., 1990; Kraemer et al., 1988; Sakamoto y Sinclair, 2006). Se presupone que el número de repeticiones máximas (XRM) que se pueden realizar representa la intensidad relativa que el esfuerzo significa para el sujeto. Este procedimiento se ha planteado así porque existe un número medio aproximado de repeticiones máximas por serie que se puede realizar con cada porcentaje de la 1RM según el tipo de ejercicio y el nivel de entrenamiento del sujeto (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011; Hoeger et al., 1990; Sakamoto y Sinclair, 2006), y, por tanto, se considera que un determinado número de repeticiones máximas es representativo de una intensidad relativa aproximada (%1RM). Si bien este planteamiento elimina la necesidad de tener que realizar un test directo de la 1RM, tampoco está exento de inconvenientes:

1. El entrenamiento al fallo muscular (XRM) es una práctica innecesaria para propiciar ganancias de fuerza, además podría ser contraproducente para la mejora del rendimiento en acciones realizadas a alta velocidad (Davies et al., 2016; Grgic et al., 2021; Izquierdo et al., 2006; Izquierdo-Gabarren et al., 2010 Pareja-Blanco et al., 2017).
2. La realización del mismo número de repeticiones máximas con una determinada carga absoluta no representa necesariamente la misma intensidad relativa entre distintos sujetos, ya que no todos pueden realizar el mismo XRM ante una misma

intensidad relativa (Rodríguez-Rosell et al., 2020a). Por ende, si se programa el mismo XRM para un grupo de sujetos, la mayoría entrenaría con una intensidad relativa diferente de los demás, dada la alta variabilidad interindividual que existe en el número máximo de repeticiones que se pueden hacer ante un mismo %1RM (González-Badillo et al., 2017b). Así, varios estudios han informado de coeficientes de variación desde el ~20 al ~50% para el número máximo de repeticiones posibles de realizar ante diferentes cargas relativas (50-90% 1MR) (Hoeger et al., 1990; Richens y Cleather, 2014; Rodríguez-Rosell et al., 2020a; Sakamoto y Sinclair, 2006; Sánchez-Moreno et al., 2021; Shimano et al., 2006; Terzis et al., 2008), con el número de repeticiones completadas por algunos sujetos pudiendo llegar a representar el ~50% del número máximo de repeticiones de otros, tanto en ejercicios de extremidades superiores (por ejemplo, press de banca) como inferiores (por ejemplo, sentadilla).

3. Además de lo anterior, tras realizar la primera serie hasta el fallo muscular con una determinada carga absoluta el número de repeticiones en las siguientes series se ve reducido independientemente del tiempo de recuperación (Richmond y Godard, 2004). Sin embargo, en numerosos estudios y documentos científicos (ACSM, 2009; Bird et al., 2005; Kraemer y Ratamess, 2004) se ha descrito y propuesto realizar varias series consecutivas con unas intensidades relativas, un número de repeticiones por serie y unos tiempos de recuperación entre series imposibles de cumplir en la práctica, por ejemplo, 3x8-12 (70-85% 1RM)/1-2 min.

*Intensidad de entrenamiento como velocidad de ejecución en la acción concéntrica (VMP de la 1ª repetición).* Actualmente, con la incursión de nuevas tecnologías que permiten la medición de la velocidad de ejecución en ejercicios con cargas gravitacionales, existe la posibilidad de determinar/estimar con un alto grado de precisión la intensidad relativa (%1RM) que representa la carga absoluta con la que se entrena a partir de la primera (o más rápida) repetición de la serie ejecutada a la máxima velocidad posible (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2011; Pallarés et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2017), todo ello a través de ecuaciones de regresión específicas para cada ejercicio. Esto es así porque la velocidad media propulsiva de la repetición más rápida de la serie está intrínsecamente asociada a la magnitud relativa de la carga (%1RM), y por tanto cada %1RM tiene su propia velocidad (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). Además, la velocidad de ejecución asociada a cada porcentaje de la RM es diferente y específica de cada ejercicio, debido a que la velocidad propia con la que se alcanza la RM es

distinta para cada ejercicio (González-Badillo, 2000; González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010), de forma que cuanto mayor sea dicha velocidad mayor será la velocidad media con cada porcentaje inferior (González-Badillo et al., 2017a). Estos hallazgos son de gran valor, no solamente por solucionar los problemas existentes para controlar y dosificar la intensidad de entrenamiento en tiempo real y con alta precisión, sino por permitir estudiar por primera vez la verdadera relación dosis-respuesta del entrenamiento realizado.

Por lo tanto, la velocidad en la acción concéntrica es un indicador objetivo y muy fiable de la intensidad del entrenamiento de la fuerza, y debería ser adecuadamente controlada en cualquier entrenamiento de la fuerza (en lugar de utilizar %1RM o un XRM) (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2017a). Para que esto se cumpla, la única condición es que la carga se desplace siempre a la máxima velocidad posible en la fase concéntrica (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010).

Llegado a este punto, es necesario, no solamente haber analizado la forma en que la intensidad debe controlarse, programarse y determinarse, sino también proponer una definición inequívoca de la misma para el entrenamiento de la fuerza. Con este propósito diríamos que la intensidad vendrá representada por el “grado de esfuerzo que implique o exija la realización de la primera repetición de la serie realizada a la máxima velocidad posible”, ya que es evidente que cuanto mayor sea la dificultad experimentada en la ejecución de la primera repetición de una serie mayor será el grado de esfuerzo realizado (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2017a). Es decir, la intensidad tiene relación con la magnitud de la resistencia a vencer. Una vez definido y entendido el concepto de intensidad aplicado al entrenamiento de la fuerza, resulta muy importante esclarecer que no se debería confundir la “intensidad” con el grado de esfuerzo o fatiga que supone realizar todas las repeticiones programadas para la serie. Por ejemplo, es indudable que realizar 3x10 (70% 1RM) representa un grado de esfuerzo mayor que 3x5 (70% 1RM), sin embargo, la intensidad utilizada sería la misma en ambos casos (el 70%).

### 3.1.3. La cuantificación, control y dosificación del volumen en el entrenamiento de la fuerza

*El volumen de entrenamiento como número total de repeticiones realizadas.* En la literatura sobre entrenamiento de la fuerza, el procedimiento tradicional y básico para

cuantificar y expresar el volumen es a través del número total de repeticiones realizadas en un ejercicio determinado, una sesión de entrenamiento o cualquier estructura temporal de la programación (semana, mes, ciclo, etc.), y el sumatorio total de repeticiones de una sesión de entrenamiento es dependiente del número de ejercicios y series y de las repeticiones por serie (Bird et al., 2005; Kraemer y Ratamess, 2004; Haff, 2010). De este modo, lo habitual en los estudios científicos (y programas de entrenamiento) es prescribir el volumen de cada serie a través de un número preestablecido de repeticiones para todos los sujetos de un grupo que entrenan con una intensidad relativa determinada.

Asimismo, a partir de este simple procedimiento de cuantificación del volumen, numerosos estudios han propuesto multiplicar el número total de repeticiones (series x repeticiones) por la carga absoluta (kg) utilizada en cada ejercicio (Robbins et al., 2010d; Scott et al., 2016; Wallace et al., 2019), obteniéndose un valor absoluto de kilogramos o tonelaje (por ejemplo,  $3 \times 10 \times 50 \text{ kg} = 1500 \text{ kg}$ ). No obstante, no tiene sentido comparar medidas de carga volumétrica absoluta (kg, tonelaje) entre individuos y/o ejercicios distintos, dado que esta medida tampoco refleja el grado de esfuerzo que representa dicho volumen. Frente a este tipo de limitaciones, algunos autores han propuesto considerar la cantidad total de repeticiones realizadas con respecto a la intensidad relativa individual (%1RM) para obtener un parámetro más individualizado del esfuerzo que representa el volumen realizado (volumen relativo = series x repeticiones x %1RM) (Scott et al., 2016). Al vincular el volumen (series x repeticiones) con el porcentaje de la 1RM, se obtiene un valor en unidades arbitrarias que expresa con mayor precisión el impacto del entrenamiento, y permite realizar comparaciones entre diferentes individuos (Kraemer y Ratamess, 2004). No obstante, este procedimiento podría también ofrecer resultados de volúmenes relativos idénticos pero que representasen estímulos totalmente distintos (por ejemplo,  $3 \times 10 \times 70\%$  sería el mismo valor de volumen relativo que  $10 \times 3 \times 70\%$ ).

Lo cierto es que todos estos planteamientos tradicionales para la expresión y cuantificación del volumen asumen que cuando un grupo de sujetos realiza el mismo número de repeticiones por serie de un ejercicio y con una misma intensidad relativa, el grado de esfuerzo programado y el esfuerzo real asociado al mismo es equivalente entre ellos. Sin embargo, esto no es así, ya que si durante una sesión todos los sujetos realizaran el mismo número de repeticiones por serie ante una carga relativa determinada (%1RM), es muy probable que cada uno estuviera alcanzando un grado de esfuerzo o fatiga diferente, dado que no todos los sujetos pueden realizar el mismo



número de repeticiones ante la misma carga relativa (debido a la alta variabilidad interindividual en el número de XRM) (González-Badillo et al., 2017b; Rodríguez-Rosell et al., 2020a). Dicho de otro modo, el número de repeticiones que quedarían por hacer (repeticiones “en reserva”) podría diferir considerablemente entre individuos que entrenan con una misma intensidad (Rodríguez-Rosell et al., 2020a). Esto es así porque, si se realiza un número de repeticiones en la serie común a todos los sujetos (sea máximo o no), cada individuo habrá hecho un porcentaje distinto del total de repeticiones posibles. Esto significa que, habiendo entrenado con la misma intensidad relativa y número de repeticiones en la serie, el grado de fatiga (y la pérdida de velocidad en la serie) o el grado de esfuerzo podría haber sido distinto en cada caso (González-Badillo et al., 2017a). Si asumimos esta situación, en todos aquellos estudios donde el volumen haya sido controlado y dosificado por un número predeterminado de repeticiones por serie igual para todos los sujetos, el grado de fatiga generado o el grado de esfuerzo realizado habrá sido diferente entre cada uno de ellos. La pregunta que queda entonces en el aire es: ¿Cómo puede haber influido esta problemática en los resultados de los estudios y las conclusiones derivadas de los mismos?

En cualquiera de los casos, el volumen (número de repeticiones) como indicador del rendimiento entre sujetos individuales no debe ser un dato de referencia importante para analizar la carga de entrenamiento ni sus efectos. De hecho, un valor de volumen sin un indicador de intensidad no tiene sentido porque no permite disponer de información suficiente sobre el grado de esfuerzo (González-Badillo y Ribas-Serna, 2019). Es decir, el volumen no puede ser un componente de la carga que por sí solo caracterice o defina de forma precisa el tipo de estímulo utilizado.

*La pérdida de velocidad en la serie (%PV) como procedimiento de control y dosificación del volumen de entrenamiento.* El volumen del entrenamiento debería venir expresado, controlado y dosificado de forma más concreta y objetiva por la pérdida relativa de velocidad alcanzada en la serie (expresada como la diferencia porcentual entre la velocidad de la repetición más rápida -la primera- y la más lenta -la última- de la serie) (González-Badillo et al., 2017b), y solamente en su defecto por el número total de repeticiones realizadas (pero asumiendo los inconvenientes o limitaciones previamente comentados). Para una misma pérdida de velocidad en la serie, este novedoso procedimiento permite que se alcance un grado de esfuerzo o fatiga semejante entre sujetos que realizan un protocolo de entrenamiento con una misma intensidad relativa, aunque realicen distinto número de repeticiones (González-Badillo et al., 2017b), es decir, lo que iguala el esfuerzo a lo largo de una serie es la pérdida relativa de velocidad,

y no el número de repeticiones realizado con la misma carga relativa (González-Badillo et al., 2017b). Esto es así porque el declive de la velocidad de ejecución durante un conjunto de repeticiones, si el esfuerzo es máximo en su acción concéntrica, es consecuencia proporcional al desarrollo de la fatiga neuromuscular (Wolfe et al., 2004; González-Badillo et al., 2017a).

Por tanto, en lugar de programar y realizar un número fijo o predeterminado de repeticiones, la alternativa más adecuada para configurar el volumen de entrenamiento debería ser detener o terminar cada serie tan pronto como se alcance una determinada magnitud (porcentaje) de pérdida de velocidad en la serie (González-Badillo et al., 2017a; Pareja-Blanco et al., 2017; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Esta forma de control del volumen de entrenamiento supera las limitaciones presentadas por la prescripción a través del número de repeticiones a realizar en cada serie de entrenamiento (ya sea llegando hasta el fallo muscular o no), y se basa en la estrecha relación encontrada entre la magnitud de pérdida de velocidad en la serie y el porcentaje de repeticiones realizado -con respecto a las máximas repeticiones posibles de realizar- ante diferentes intensidades relativas (50 al 80% 1RM) y diferentes ejercicios ( $R^2 = 0.97$  y  $0.93$  para press de banca y sentadilla completa, respectivamente) (González-Badillo et al., 2017b; Rodríguez-Rosell et al., 2020a). Esta relación indica que ante un determinado porcentaje de pérdida de velocidad en la serie se realiza un mismo porcentaje de repeticiones posibles de realizar, independientemente del número máximo de repeticiones que el sujeto pueda hacer en la serie y de la intensidad relativa (González-Badillo et al., 2017b; Rodríguez-Rosell et al., 2020a). Este procedimiento, además, permite predecir con alta precisión el número o porcentaje de repeticiones realizadas en una serie con respecto a las máximas posibles y aquellas repeticiones pendientes de poder realizarse hasta el fallo muscular (“repeticiones de reserva”) (Rodríguez-Rosell et al., 2020a).

#### 3.1.4. Definición y control de la magnitud del estímulo o carga del entrenamiento de la fuerza

En los apartados anteriores se ha profundizado en la necesidad de revisar y actualizar la forma en que se definen y controlan individualmente las variables de intensidad y volumen en el entrenamiento de la fuerza. No obstante, para un mismo ejercicio, la magnitud de la carga de entrenamiento vendría determinada por la síntesis de ambas variables (volumen e intensidad), ya que de la interacción entre ellas se puede definir y

valorar de manera precisa el grado de esfuerzo “global” que representa el estímulo de entrenamiento (González-Badillo et al., 2017a).

*La carga de entrenamiento como carácter del esfuerzo (CE) en función del número de repeticiones.* El denominado “carácter del esfuerzo” (CE) surge como concepto que se relaciona y define la magnitud del estímulo o carga del entrenamiento, pero no debe confundirse con la propia intensidad del entrenamiento. Si bien el CE, en función del número de repeticiones, es un procedimiento con un nivel inferior de precisión que el control de la carga mediante la monitorización de la velocidad de ejecución, resulta mucho más práctico y está al alcance de todos los profesionales.

En el entrenamiento de la fuerza el CE es el factor que expresa la relación entre el esfuerzo realizado y el realizable o posible que puede manifestar el sujeto en cada momento (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002). El CE, en función del número de repeticiones, vendrá determinado por la relación entre el número de repeticiones realizadas por serie con respecto a las máximas realizables o posibles de realizar en ese mismo ejercicio, con el mismo peso y en ese mismo momento (González-Badillo y Ayestarán, 1995; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). La carga de entrenamiento a través de este factor se expresa y programa indicando el número de repeticiones por serie a realizar (que representa el volumen) y, entre paréntesis, el número de repeticiones que el sujeto podría realizar como máximo con el peso indicado (que representa la intensidad relativa). De este modo, si el esfuerzo realizado en la serie con una carga absoluta dada no llega al máximo número posible de repeticiones, el grado de fatiga inducido será menor y viceversa. Por ejemplo, realizar 10(10) supone un carácter/grado de esfuerzo mayor que 5(10), aunque en ambos casos la intensidad relativa sea aproximadamente del 75% 1RM (dado que es el promedio de repeticiones que los sujetos pueden llegar a realizar en un ejercicio como el press de banca). No obstante, para definir el CE hay que considerar no sólo la diferencia entre las repeticiones realizadas y las realizables, sino además los valores concretos de dichas repeticiones. No sería el mismo entrenamiento (grado de esfuerzo), ni representa la misma intensidad relativa, hacer 8 repeticiones de 10 posibles [8(10)] que 2 de 4 [2(4)], aunque la diferencia entre las repeticiones realizadas y realizables sea en los dos casos de dos repeticiones (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002).

La principal ventaja que tiene el empleo del CE frente al tradicional uso de los porcentajes de la 1RM, a parte de la inmediatez de su programación sin necesidad de realizar ningún tipo de test, es que el esfuerzo realizado se ajustará de manera más precisa al esfuerzo programado, y por tanto podrá expresar el grado de esfuerzo que realiza el sujeto (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002). Por tanto, esta alternativa es

de gran utilidad cuando no existen otros medios para poder controlar la carga de entrenamiento de la fuerza mediante la medición de la velocidad.

*El índice de esfuerzo (IE) como síntesis de la magnitud de la carga de entrenamiento de cada ejercicio.* De todo lo anterior se deduce que la definición y cuantificación del carácter del esfuerzo o grado de esfuerzo realizado durante el entrenamiento de fuerza se expresa y determina a través de la síntesis o conjunción entre la propia intensidad y volumen. Mediante el control de la velocidad de ejecución se puede valorar de manera muy precisa el grado de esfuerzo o grado de fatiga que ha experimentado un sujeto durante el entrenamiento a través de la velocidad de la primera repetición (indicador para determinar la intensidad relativa) y el porcentaje de pérdida de velocidad en la serie (indicador para determinar el volumen), dado que ambas variables influyen de manera notable en el grado de estrés inducido por el entrenamiento de fuerza (González-Badillo et al., 2017a; Pareja-Blanco et al., 2017; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Estos mismos avances han permitido que surja un indicador numérico de alta validez, que representa, predice y cuantifica el grado de esfuerzo o fatiga que ha significado una serie o conjunto de series, llamado “índice de esfuerzo” (IE), y el cual es específico para cada ejercicio (Rodríguez-Rosell et al., 2018). Este índice viene definido por el producto del valor de la velocidad de la primera (más rápida) repetición por el valor de la pérdida relativa de velocidad en la serie, y ha mostrado estar estrechamente relacionado con indicadores de estrés metabólico ( $r = 0.95$  y  $0.90$  para press de banca y sentadilla, respectivamente) y variables mecánicas de fatiga, como la pérdida relativa de velocidad pre-post esfuerzo con la carga que se puede desplazar a  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  ( $r = 0.98$  y  $0.91$  para press de banca y sentadilla, respectivamente) y la pérdida de altura en CMJ ( $r = 0.93$ ) (Rodríguez-Rosell et al., 2018). De esta forma, una misma magnitud de carga (índice o grado de esfuerzo) puede obtenerse mediante la combinación de distintos valores de intensidad (velocidad de la primera repetición) y volumen (%pérdida de velocidad intra-serie).

Con este novedoso indicador numérico, también se ha averiguado que un mismo valor o resultado induce y representa un grado de fatiga equivalente, independientemente de la velocidad de la primera repetición y de la pérdida de velocidad intra-serie, al menos para intensidades relativas desde el 50 al 80% 1RM (Rodríguez-Rosell et al., 2018).

$$\text{IE} = \text{VMP } 1^{\text{a}} \text{ rep.} \times \% \text{ PV}$$

VMP: velocidad media propulsiva de la 1ª repetición de la serie

%PV: porcentaje de pérdida de velocidad en la serie

Considerando esta información, resulta fácil comprender que una intensidad baja o moderada (45-70% 1RM, es decir, velocidades medias o altas), en combinación con un elevado número de repeticiones por serie (12 a 15 o más, es decir, una pérdida de velocidad alta), pueda suponer un “índice de esfuerzo” (grado de fatiga) elevado (**Tabla 2**). ¿Qué necesidad habría entonces en recomendar o prescribir cargas del tipo 3x12-15RM en programas dirigidos a personas sedentarias, desentrenadas o con determinadas patologías?

En la **Tabla 2** puede observarse cómo una intensidad de entrenamiento baja (por ejemplo, el 45%) supone siempre un índice de esfuerzo mayor que una intensidad moderada (por ejemplo, el 70%) para misma pérdida de velocidad.

**Tabla 2.**

*Índice de esfuerzo de intensidades entre el 40 y el 95% con distintas pérdidas de velocidad (10 al 55%) en el ejercicio de sentadilla completa. Tomado de Rodríguez-Rosell et al. (2018)*

Intensidad relativa	Pérdida de velocidad media propulsiva en la serie (%)										
	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%	55%	
%1RM (VMP $m \cdot s^{-1}$ )											
40% (~1.28 $m \cdot s^{-1}$ )	12,8	19,2	25,5	31,8	38,1	44,5	50,8	57,1	63,5	69,8	
45% (~1.20 $m \cdot s^{-1}$ )	12,1	18,1	24,1	30,0	36,0	42,0	47,9	53,9	59,9	65,9	
50% (~1.13 $m \cdot s^{-1}$ )	11,4	17,0	22,6	28,3	33,9	39,5	45,1	50,7	56,3	61,9	
55% (~1.06 $m \cdot s^{-1}$ )	10,7	15,9	21,1	26,5	31,7	37,0	42,2	47,5	52,8	58,0	
60% (~0.98 $m \cdot s^{-1}$ )	10,0	14,9	19,8	24,7	29,6	34,5	39,4	44,3	49,2	54,1	
65% (~0.90 $m \cdot s^{-1}$ )	9,3	13,8	18,4	22,9	27,4	32,0	36,5	41,1	45,6	50,2	
70% (~0.83 $m \cdot s^{-1}$ )	8,5	12,7	16,9	21,1	25,3	29,5	33,7	37,9	42,1	46,3	
75% (~0.75 $m \cdot s^{-1}$ )	7,8	11,7	15,5	19,3	23,2	27,0	30,8	34,7	38,5	42,4	
80% (~0.68 $m \cdot s^{-1}$ )	7,1	10,6	14,1	17,5	21,0	24,5	28,0	31,5	35,0	38,4	
85% (~0.60 $m \cdot s^{-1}$ )	6,4	9,5	12,6	15,8	18,9	22,0	25,1	28,3	31,4	34,5	
90% (~0.52 $m \cdot s^{-1}$ )	5,7	8,4	11,2	14,0	16,7	19,5	22,3	25,1	27,8	30,6	
95% (~0.44 $m \cdot s^{-1}$ )	4,9	7,4	9,8	12,2	14,6	17,0	19,4	21,9	24,3	26,7	

### 3.2. El entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad de ejecución

El entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad de ejecución (en inglés, Velocity-Based Resistance Training: VBRT) ha supuesto un cambio de paradigma y ha revolucionado la forma de concebir la dosificación, el control y la evaluación del entrenamiento de la fuerza en los últimos tiempos. Esto ha reclamado la atención de muchos investigadores en el esfuerzo de establecer la fundamentación científica y el cuerpo de conocimiento que lo sustente para poder seguir desarrollando este novedoso enfoque. Conocer la relación entre la velocidad de ejecución y la carga (%1RM)/fuerza aplicada, así como entre los cambios de velocidad durante la serie y la fatiga neuromuscular producida son los dos aspectos fundamentales para poder comprender este nuevo modelo de programación del entrenamiento. Siempre que se controle adecuadamente la velocidad de ejecución se estará en disposición de conocer mejor el grado de esfuerzo o estímulo realizado/proporcionado, el efecto del entrenamiento, y el nivel de recuperación neuromuscular alcanzado tras el entrenamiento.

#### Figura 1

*Primer libro monográfico publicado sobre Fundamentos del entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad traducido al inglés*



Para poder enmarcar este novedoso enfoque metodológico del entrenamiento de la fuerza se debería contestar a las siguientes preguntas:

- ¿Cómo surgió este nuevo enfoque de control y dosificación del entrenamiento?
- ¿Qué características debería tener para poder ser considerado un verdadero “entrenamiento basado en el control de la velocidad”?
- ¿Qué condiciones deben darse para poder utilizar o aplicar esta metodología?
- ¿Con qué ejercicios resulta relevante utilizar la medición y control de la velocidad?
- ¿Qué aplicaciones prácticas y ventajas puede tener con respecto a la metodología tradicional de control y dosificación del entrenamiento de la fuerza?

### 3.2.1. Génesis del entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad

Aunque la relación entre la velocidad y la fuerza se estableció hace casi un siglo (Hill, 1938), no había sido previamente sugerida, y mucho menos utilizada, para controlar la intensidad durante el entrenamiento con cargas externas hasta que hace casi 30 años el profesor González-Badillo postulara que: *“en el momento que pudiéramos medir la velocidad máxima de los movimientos cada día y con información inmediata, éste sería posiblemente el mejor punto de referencia para saber si el peso es adecuado o no. Un descenso determinado de la velocidad es un indicador válido para suspender el entrenamiento o bajar el peso de la barra. También podríamos tener registrada la velocidad máxima alcanzada por cada levantador con cada tanto por ciento, y en función de esto valorar el esfuerzo...”* – pág. 172 (González-Badillo, 1991). Desde entonces otros investigadores y entrenadores “a la cola” han desarrollado diferentes líneas de investigación y dispositivos capaces de medir la velocidad para tratar de comprobarlo experimentalmente. Afortunadamente, lo que inicialmente fue una hipótesis de trabajo, pudo ser confirmada científicamente en el año 2010 por el profesor González-Badillo y Luis Sánchez-Medina al mostrar una alta relación ( $R^2 = 0.98$ ) entre la velocidad de ejecución alcanzada ante una carga y el porcentaje de 1RM que representaba dicha carga en el ejercicio de press de banca (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010).

Figura 2

Extracto de cita del libro "Halterofilia. Ed. Comité Olímpico Español" (1991)



Sin embargo, como queda relatado en el prefacio del primer libro monográfico publicado sobre esta temática en español y traducido al inglés (González-Badillo et al., 2017a), mucho antes de ese primer estudio científico perteneciente a la tesis doctoral del Dr. Sánchez Medida, ya a finales de los años 70 el profesor González-Badillo medía la velocidad en la ejecución de los movimientos a través de una cámara fotográfica (en posición B). Este procedimiento consistía en fotografiar un cuerpo luminoso mientras se desplazaba en el espacio. Estas medidas permitían obtener información sobre la velocidad de desplazamiento en función del espacio recorrido entre dos capturas consecutivas del punto luminoso. A partir de ahí se hacían otros cálculos relacionados con la aceleración, la fuerza y la potencia.

Posteriormente, a principios de los 90 el grupo del profesor González-Badillo empezó a medir la velocidad, la fuerza y la potencia con información prácticamente inmediata con ayuda de un medidor, algo rudimentario, denominado "Ergopower" (Bosco et al., 1995) y cuya metodología aplicaban ya a distintos grupos de deportistas de élite alcanzando excelentes éxitos deportivos. A finales de los años 90 el profesor González-Badillo participó del desarrollo del primer medidor lineal (encoder rotatorio medidor de distancia llamado "Isocontrol") realizado en España con un software que permitía almacenar de forma instantánea variables de espacio, velocidad, fuerza y potencia. A mediados de los



años 2000 volvió a participar, en colaboración con el Dr. Luis Sánchez Medina, del desarrollo de un nuevo instrumento de medida (transductor lineal de velocidad por cable) conocido con el nombre comercial de “T-Force”, el cual es capaz de medir directamente la velocidad con una altísima precisión.

Actualmente, debido al incesante avance tecnológico, es posible monitorizar la velocidad de ejecución y otros parámetros cinemáticos mediante diferentes dispositivos portátiles (transductores lineales de velocidad y posición, video-análisis, acelerómetros, aplicaciones móviles, etc.), todo lo cual ha facilitado la puesta en práctica y expansión de esta metodología del entrenamiento de la fuerza. Sin duda, la irrupción de la tecnología en las ciencias del deporte ha posibilitado seguir investigando y desarrollando este modelo de control de la carga de entrenamiento de la fuerza dejando muy atrás otros procedimientos del pasado.

### 3.2.2. ¿Qué es un entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad?

En realidad, el VBRT no es un nuevo “método” de entrenamiento, sino una nueva manera de abordar la cuestión o procedimiento que permite un control y conocimiento más preciso y objetivo de la carga de entrenamiento de la fuerza (intensidad/volumen) y los efectos que se producen sobre el cambio de rendimiento. Una posible definición del VBRT, según Pareja-blanco y Loturco (2022), es aquel *enfoque del entrenamiento de la fuerza que, utilizando la velocidad del movimiento como referencia, permite optimizar el proceso del entrenamiento a través de una información profunda sobre la señal de entrada (carga propuesta) y la señal de salida (cambio del rendimiento/carga real)*. Por tanto, la característica que debe tener un verdadero entrenamiento de la fuerza bajo este enfoque es que la carga de entrenamiento (intensidad y volumen) quede programada en función de dos variables fundamentales (Pareja-Blanco et al., 2017):

- 1) La velocidad de ejecución de la primera (mejor, más rápida) repetición de la serie (en la acción concéntrica).
- 2) La pérdida de velocidad en la serie (en la acción concéntrica).

Según González-Badillo et al. (in press) el VBRT es un *método que utiliza la velocidad de ejecución como variable para proporcionar información objetiva y válida sobre: 1) el control, ajuste y dosificación de las principales variables que definen la carga de entrenamiento (intensidad y volumen), 2) la evaluación del efecto del entrenamiento, y 3) el conocimiento del estado de rendimiento de los deportistas.*

Sin embargo, y esto es importante aclararlo, programar el entrenamiento a través de la velocidad no garantiza que la programación sea necesariamente correcta (eficaz) (González-Badillo et al., 2017a), es decir, el mero control y uso de la velocidad de ejecución no supone haber programado un estímulo de entrenamiento eficaz para el objetivo propuesto con cada sujeto.

### 3.2.3. ¿Qué condiciones deben darse para poder aplicar un entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad?

Evidentemente la condición elemental para poder aplicar esta metodología es que durante el entrenamiento se pueda medir la velocidad de ejecución en la acción concéntrica de forma suficientemente fiable con instrumentos validados para ello (consultar apartado 3.4). No obstante, aunque no se disponga de dispositivos fiables para la medición de la velocidad, la observación permanente del entrenamiento y la experiencia del entrenador podrían suplir de manera satisfactoria la falta de instrumentos de medida (González-Badillo, 2011b). En estos casos, si no se puede medir la velocidad, el punto de referencia para el entrenador sería la facilidad-fluidez-velocidad percibida con la que realiza el sujeto las repeticiones por serie prescritas para cada peso y serie en relación con lo programado (González-Badillo, 2011b). Esta sería la única alternativa que permite “estimar” el grado de esfuerzo que representa una carga con suficiente precisión si el entrenador es un experimentado observador.

Igualmente, todas las mediciones de la velocidad deben ser realizadas en ejercicios cuya trayectoria de la carga a desplazar sea lineal, ya que los dispositivos de medición de velocidad requieren que la trayectoria del movimiento de la barra sea lineal para que el registro sea lo más fiable y preciso posible (Harris et al., 2010; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011): ejercicios multiarticulares con pesos libres (e.g.: press de banca, remo tumbado, sentadilla, saltos con carga, press militar), ejercicios con el propio pero corporal donde poder fijar el dispositivo de medición (e.g.: dominadas), ejercicios realizados en una máquina Smith u otro tipo de máquina que permitan fijar el sensor del dispositivo que se desplaza (e.g.: sentadilla, jalón polea).

Asimismo, la otra condición indispensable es que la intencionalidad para aplicar fuerza contra la resistencia a vencer sea siempre máxima (González-Badillo et al., 2017a), es decir, alcanzar la máxima velocidad posible en la acción concéntrica, porque de otro modo ninguna medición o estimación de la velocidad podría asociarse ni a la carga relativa (%1RM) ni al grado de fatiga alcanzado al finalizar la serie.

3.2.4. ¿Con qué ejercicios puede ser relevante medir y utilizar el control de la velocidad de ejecución en un programa de entrenamiento de la fuerza?

El control y dosificación de la carga del entrenamiento de la fuerza mediante la medición de la velocidad es especialmente relevante para aquellos ejercicios de entrenamiento que posean una importante trascendencia sobre el rendimiento motor del sujeto (e.g., levantarse de una silla para una persona mayor o realizar un salto para un jugador de baloncesto). Es decir, se recomienda utilizar la velocidad como indicador de carga de aquellos ejercicios considerados especialmente determinantes y útiles para mejorar la capacidad funcional del sujeto o el rendimiento específico de su deporte por poseer una transferencia positiva (generalmente, ejercicios multiarticulares con trayectorias lineales de la carga a desplazar que permitan medir la velocidad con fiabilidad: sentadillas, tracciones, empujes, movimientos olímpicos). Por el contrario, no tendría sentido utilizar la velocidad para controlar la carga en aquellos ejercicios:

- Auxiliares o complementarios del programa de entrenamiento con poca o nula transferencia sobre el rendimiento motor (habitualmente ejercicios monoarticulares de grupos musculares aislados, ejercicios de estabilidad del tronco, etc.).
- Que aun pudiendo resultar útiles y específicos para mejorar el rendimiento específico la medición de la velocidad no sea fiable (por ejemplo, ejercicios con trayectorias curvilíneas de la carga a desplazar y/o que no permitan la instalación de un dispositivo de medición).
- Donde la fase concéntrica no se realice a máxima velocidad porque no tenga relevancia para el objetivo principal pretendido (compensatorio, rehabilitador, preventivo, estético-musculación, control motor, etc.).

En definitiva, sólo unos pocos ejercicios del programa de entrenamiento podrán beneficiarse del control directo de la velocidad cuando dispongamos de los medios necesarios para ello, como, por ejemplo, lo son: sentadillas, hip-thrust, tracciones de miembros superiores (remos, jalones/dominadas) y algunos empujes de miembros superiores (press de banca, press de hombro).

### 3.2.5. Aplicaciones y utilidades del entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad

Las aplicaciones prácticas y ventajas que el entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad pueda ofrecer frente a la metodología tradicional de control y dosificación de la carga basada en la determinación de la 1RM o XRM se resumen en las siguientes (a partir de González-Badillo et al., 2017a):

1. Determinar con alta precisión y en tiempo real -siempre que la velocidad de ejecución sea la máxima posible- la *intensidad relativa* (%1RM) que representa la carga absoluta (kg) con la que se entrena a partir de la velocidad de la primera repetición de la serie. Es decir, conocer el grado de esfuerzo que representa cada unidad de acción o repetición.
2. Estimar con precisión y en tiempo real -siempre que la velocidad de ejecución sea la máxima posible- el *grado de fatiga neuromuscular* generado durante y al final de cada serie ante una misma carga absoluta y ajustar en consecuencia el número de repeticiones en cada serie.
3. Determinar si la carga absoluta (kg) propuesta/utilizada en la sesión representa realmente el grado de esfuerzo (intensidad relativa: %1RM) programado y ajustarla en consecuencia.
4. Evaluar la fuerza y su progreso sin necesidad de realizar test de 1RM o XRM, simplemente observando los cambios que ocurren en la velocidad de ejecución ante las mismas cargas absolutas en los ejercicios de entrenamiento a lo largo del programa de entrenamiento.

En resumen, *el control de la velocidad permite asegurar con alta precisión que estamos entrenando con la verdadera carga relativa o estímulo programado y estimar/valorar la mejora del rendimiento (y grado de recuperación neuromuscular) sin necesidad de hacer tests adicionales* (González-Badillo et al., 2017a).

### 3.2.6. La relación fuerza-velocidad y carga(%1RM)-velocidad

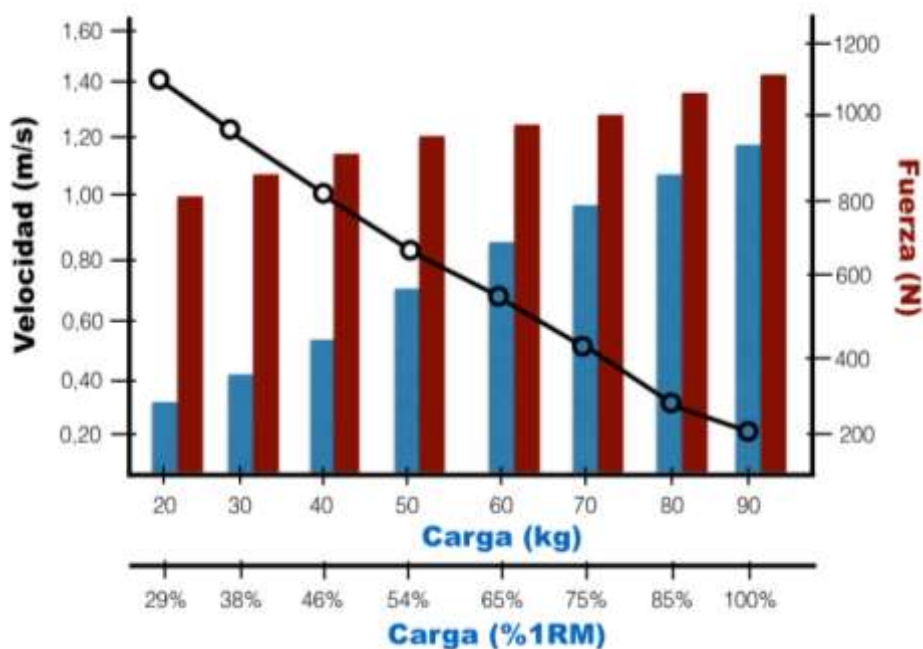
La relación fuerza-velocidad es un fenómeno bien conocido y descrito matemáticamente desde los estudios preliminares de Fenn y Marsh (1935) y Hill (1938) en fibras aisladas del músculo sartorio de zorro. Esta relación describe la función entre la fuerza máxima a la longitud óptima (la longitud a la cual el músculo puede ejercer su máxima fuerza isométrica) y la máxima velocidad de acortamiento (Herzog, 2000). En una situación in

vitro, con músculos o fibras musculares aisladas, la relación fuerza-velocidad es hiperbólica (Hill, 1938). Sin embargo, en una situación in vivo mediante una contracción voluntaria de los músculos esqueléticos dentro de un sistema multiarticular esta relación es de tipo casi lineal e inversa (Bobbert, 1985), es decir, a mayor velocidad de acortamiento muscular para vencer una resistencia, menor será el pico de fuerza generado por el músculo en su longitud óptima (menor fuerza ejercida contra la resistencia), y viceversa. Esto es debido al menor número de puentes cruzados disponibles para generar tensión muscular a medida que incrementa la velocidad de acortamiento (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002). Como resultado de la relación fuerza-velocidad surge una curva de potencia, dado que los valores de potencia se derivan del producto de la fuerza y la velocidad (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002).

En definitiva, la relación altamente lineal e inversamente proporcional entre carga y velocidad en una acción multiarticular explica que, cuando el esfuerzo es máximo en la fase concéntrica del movimiento, a mayor carga absoluta o relativa (i.e., masa, %1RM) mayor fuerza se podrá desarrollar o ejercer, aunque menor velocidad de desplazamiento se podrá alcanzar con dicha carga. Esto sucede porque aumenta el tiempo disponible para aplicar fuerza, y con ello la posibilidad de formar un mayor número de puentes cruzados (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002). Dicho de otro modo, la relación carga-velocidad muestra que cuando el esfuerzo es máximo en la acción concéntrica las cargas más altas se pueden desplazar a velocidades medias y pico más lentas, mientras que las cargas más ligeras se pueden mover a velocidades más rápidas (Sánchez-Medina et al., 2014). No obstante, no se debe confundir que ante una misma carga externa la velocidad de desplazamiento alcanzada es consecuencia de la fuerza aplicada contra la misma, por tanto, la única forma de desarrollar más velocidad ante una determinada carga es aplicando más fuerza ante la misma (González-Badillo et al., 2017a).

**Figura 3**

*Relación entre fuerza aplicada, carga (%1RM) y velocidad ante distintas cargas absolutas*



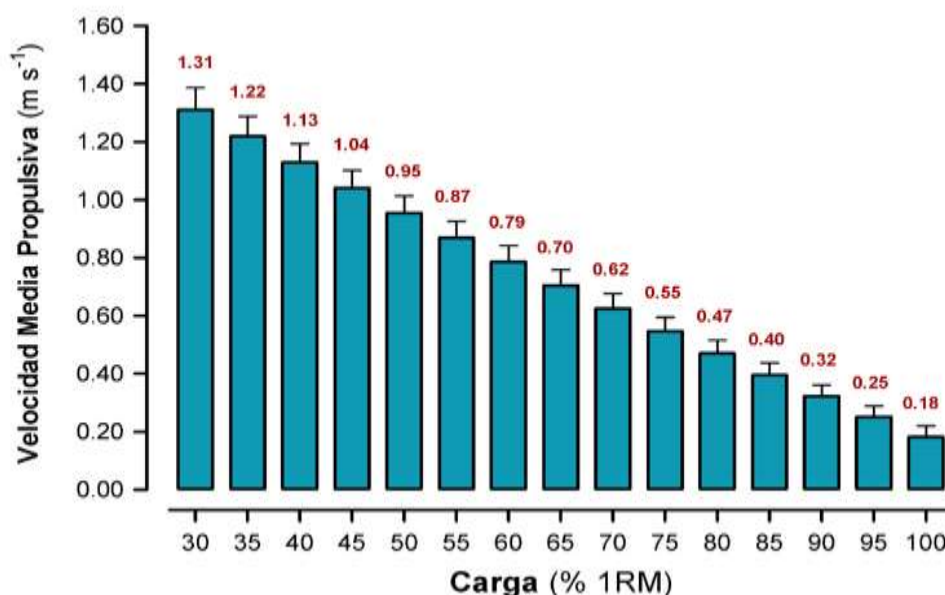
Partiendo de la relación inversa fuerza-velocidad, y en busca de una aplicación práctica para el control de la intensidad del entrenamiento de la fuerza con cargas externas, diferentes estudios han analizado la estrecha relación existente entre la velocidad de ejecución en la acción concéntrica y el porcentaje de 1RM utilizado (%1RM-velocidad) en diferentes ejercicios multiarticulares de fuerza ( $R^2 = 0.94-0.99$  en diferentes ejercicios). Esto ha permitido gestar un nuevo enfoque para la programación, dosificación y control del entrenamiento de la fuerza al poder estimar o predecir instantáneamente la intensidad relativa que representa una carga absoluta a partir de la velocidad de ejecución máxima, todo ello implementado ecuaciones de regresión lineal o cuadráticas (a través de modelos de regresión lineal o polinómico de segundo orden) específicas para cada ejercicio y aplicables para una amplia variedad de niveles de rendimiento de los sujetos:

- Press de banca (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Pallarés et al., 2014; Loturco et al., 2017; Helms et al., 2017; Naclerio y Larumbe-Zabala, 2017a; Garnacho-Castaño et al., 2018)
- Remo tumbado (Sánchez-Medina et al., 2014; Loturco et al., 2021; García-Ramos et al., 2019)
- Remo de pie y otras variantes del remo (Loturco et al., 2021)
- Press Militar (Balsalobre-Fernández et al., 2017b; Garnacho-Castaño et al., 2018)

- Dominadas (Sánchez-Moreno et al., 2017; Muñoz-López et al., 2017)
- Sentadilla completa (Conceição et al., 2016; Sánchez-Medina et al., 2017)
- Media sentadilla (Conceição et al., 2016; Loturco et al., 2016; Pérez-Castilla et al. 2020; Naclerio y Larumbe-Zabala, 2017b)
- Prensa inclinada de piernas (Conceição et al., 2016)
- Peso muerto (Helms et al., 2017; Ruf et al., 2018; Benavides-Ubric et al., 2020; Morán-Navarro et al., 2021)
- Hip-Thrust (de Hoyo et al., 2021)

#### Figura 4

Relación entre la carga relativa (%1RM) y la velocidad media propulsiva en el ejercicio de press de banca. Tomado de González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010.



Asimismo, las ecuaciones de regresión propuestas en algunos de estos estudios permiten una predicción suficientemente precisa - con un 4-5% de error estimado - del valor de la 1RM (kg) a partir de una única repetición realizada a máxima velocidad frente a una determinada carga submáxima en los ejercicios de press de banca (González-Badillo et al., 2011; González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Jidovtseff et al., 2011; Loturco et al., 2017; Picerno et al., 2016), sentadilla (Banyard et al., 2017), media sentadilla (Bazuelo-Ruiz et al., 2015) y prensa de piernas (Picerno et al., 2016), si bien la precisión de la estimación disminuye de forma progresiva conforme más alejada sea la velocidad a la propia de la 1RM (especialmente con cargas <70% 1RM).

Otros estudios han propuesto que para obtener una estimación más precisa de la intensidad relativa (%1RM) que representa una determinada carga absoluta a partir de la

velocidad de ejecución habría que analizar individualmente la relación carga (%1RM)-velocidad para cada sujeto en cada ejercicio -y poder así realizar una prescripción de la carga de entrenamiento más individualizada-, en vez de estimarla en base a ecuaciones de predicción generales y comunes para un amplio espectro de sujetos (Benavides-Ubric et al., 2020). Este argumento se fundamenta al considerar que la relación carga-velocidad puede sufrir variaciones significativas para grupos de población con distinto nivel de rendimiento, sexo y edad (Torrejón et al., 2019; Balsalobre-Fernández et al., 2017b; Fernandes, et al., 2018; Banyard et al., 2018; García-Ramos et al., 2021; Pareja-Blanco et al., 2020). Por ejemplo, se ha observado que las velocidades asociadas a cada %1RM, particularmente ante cargas moderadas y bajas, son más altas en hombres que en mujeres tanto en ejercicios de extremidades superiores como inferiores, sin embargo, la velocidad de la 1RM no difiere entre sexos (Torrejón et al., 2019; Balsalobre-Fernández et al., 2017b). Por tanto, establecer la relación individual carga-velocidad podría salvar las limitaciones relacionadas con las diferencias inter-individuales que pudiera haber por razones antropométricas, de edad o sexo y proporcionar una predicción más ajustada del %1RM que las ecuaciones generales (Benavides-Ubric et al., 2020).

### **3.3. Revisión de los estudios sobre series emparejadas/alternas entre ejercicios en el entrenamiento de la fuerza**

Para confeccionar este apartado, y rastrear la literatura científica sobre la temática central de esta tesis doctoral, se realizó una búsqueda de artículos en las siguientes bases de datos hasta el año 2020: Google Scholar, MEDLINE, SCOPUS, ADONIS, ERIC, SPORTDiscus, EBSCOhost, y PubMed. Con este propósito se utilizaron las siguientes combinaciones de palabras clave: (“paired set” OR “super set” OR “alternating limb” OR “reciprocal set”) AND (“resistance training” OR “resistance exercise” OR “strength training” OR “weight training”) AND (“neuromuscular” OR “performance” OR “functional” OR “strength”).

Existe un cuerpo de conocimiento científico creciente que ha analizado los efectos que se producen por realizar ejercicios de fuerza atendiendo a diferentes tipos de agrupamientos (configuración de las series y número de ejercicios). Sobre este tópico se encuentran denominaciones y terminologías muy variadas en la literatura científica (a partir de Robbins et al., 2010a):

- Entrenamiento en super serie (*super set training*). Habitualmente supone realizar un conjunto de ejercicios -habitualmente dos- que afectan al mismo o diferentes grupos



musculares de forma *consecutiva* sin tiempo de recuperación entre ejercicios, con el objetivo de inducir un aumento en la fatiga muscular y respuestas metabólicas, y consecuentemente proporcionar un aumento del potencial para inducir hipertrofia muscular (Robbins et al., 2010a). A su vez, el emparejamiento de los ejercicios diferentes puede ser de dos tipos en función de la musculatura involucrada:

- Super series agonistas (*agonist super-sets*): ejercicios que implican el mismo grupo muscular agonista: A/A'+A/A'+A/A'.
- Super series antagonistas (*reciprocal super sets, opposite action super sets*) o series agonistas-antagonistas emparejadas (*agonist-antagonist paired set training*): pares de ejercicios que implican movimientos o acciones musculares antagonistas entre sí de forma *alterna*, por ejemplo, bíceps y tríceps braquial (A/B+A/B+A/B). Algunos estudios, bajo esta configuración, utilizan un tiempo de recuperación entre ambos ejercicios: (A+B)+(A+B)+(A+B).
- Pre-fatiga o pre-agotamiento (*pre-exhaustion*). Implica realizar un ejercicio monoarticular o analítico seguido inmediatamente por un ejercicio multiarticular que implique el mismo grupo muscular agonista (por ejemplo, peck-deck + press de banca) o sinergista (por ejemplo, tirones de tríceps + press de banca). La secuencia de los dos ejercicios es realizada con una mínima recuperación entre ellos (Weider y Reynolds, 1989), y el ejercicio previo monoarticular debe generar un alto grado de fatiga en la musculatura implicada. Hipotéticamente esta estrategia permite fatigar la musculatura agonista en mayor grado durante el ejercicio multiarticular y potenciar los procesos hipertróficos (Weider y Reynolds, 1989).
- Entrenamiento compuesto (*compound training*). Supone realizar pares de ejercicios que involucren el *mismo* grupo muscular con un descanso mínimo entre series (Robbins et al., 2010a).
- Entrenamiento complejo (*complex training*). Supone realizar pares de ejercicios o movimientos biomecánicamente similares de forma alterna basado en la intención de la mejora del rendimiento neuromuscular por mediación del efecto de potenciación post-activación, es decir, mediante excitación de la musculatura que va a ser implicada en el segundo ejercicio mediante la “precarga” de esa musculatura en el primer ejercicio (i.e., sentadilla y sprint).

A pesar de todo, ninguna de estas definiciones de cada tipo de formato, agrupamiento o configuración de ejercicios/series es realmente esclarecedora y excluyente entre sí, ya que un mismo agrupamiento (emparejamiento) de ejercicios puede encontrarse con denominaciones distintas en la literatura (i.e., para un mismo grupo muscular podría

denominarse serie compuesta, pre-fatiga o super serie). Veamos a continuación un resumen de los estudios más destacados en torno a esta temática.

Maynard y Ebben (2003) estudiaron los efectos de la pre-fatiga antagonista en el torque y la respuesta electromiográfica agonista sin hallar mejoras en el rendimiento en una muestra de sujetos entrenados al realizar ejercicios isocinéticos de flexión y extensión de rodilla a distintas velocidades. Estos investigadores encontraron un descenso del torque pico, potencia pico, y RFD en la musculatura agonista cuando el grupo muscular antagonista era pre-fatigado. En este estudio se midió la actividad electromiográfica (EMG) de la musculatura agonista y antagonista y sugirieron que, tal vez, el incremento de la actividad EMG antagonista en un 25% (co-contracción de los isquiosurales) pudo ser responsable de la disminución del rendimiento en las medidas registradas. En otras palabras, pre-fatigar la musculatura antagonista pudo resultar perjudicial para la producción del torque del cuádriceps, especialmente a la velocidad de  $60^{\circ}\cdot s^{-1}$ , lo que sugiere una importante limitación del entrenamiento en super serie agonista-antagonista. Por el contrario, Kamimura y Takenaka (2007) mostraron que la pre-activación isométrica de media a alta intensidad de los músculos isquiosurales (músculos antagonistas) resultó en una mejora de la contracción máxima isométrica de los cuádriceps (músculos agonistas) en máquina isocinética. También, Júnior et al. (2010) investigaron si la realización de una acción uniaxial de extensión de rodilla sentado realizando 15 repeticiones con el 30% y 60% 1RM, previa acción multiarticular de prensa de piernas a  $45^{\circ}$ , podía afectar al reclutamiento de unidades motoras del vasto lateral a través de electromiografía de superficie en el segundo ejercicio. Los resultados de este estudio indicaron que la activación muscular del vasto lateral fue claramente superior cuando el ejercicio multiarticular fue precedido del ejercicio monoarticular con el 30% y 60% de la 1RM (sin alcanzar el fallo muscular), respectivamente, que cuando se realizó de forma aislada sin pre-fatigar la musculatura.

En una máquina de resistencia isoinercial, Balsamo et al. (2012) estudiaron el efecto de dos secuencias en super serie diferentes de extensión y flexión de rodilla sentado sobre el volumen total de entrenamiento (carga x número de repeticiones), el esfuerzo percibido (OMNI-RES) y un índice de fatiga. Las sesiones consistieron en tres series con una carga correspondiente a 10RM y un intervalo de recuperación entre series de 90 s, pero sin recuperación entre ambos ejercicios de la secuencia. Los resultados mostraron que el volumen total de entrenamiento fue mayor para la secuencia de realización de flexión+extensión de rodilla, con un menor esfuerzo percibido, que el orden inverso.

En otra línea, Baker y Newton (2005) analizaron el efecto agudo sobre la producción de potencia media en el ejercicio de press de banca lanzado en máquina Smith (con una carga de 40 kg.) al ser alternado con una acción antagonista mediante el ejercicio de remo en banco con peso libre (con una carga correspondiente al 50% 1RM) y realizada durante el intervalo de recuperación (3 min) entre la primera y segunda serie/test del press de banca. Ambos ejercicios se ejecutaron a máxima velocidad en la acción concéntrica, realizando 5 repeticiones para el ejercicio de press de banca y 8 repeticiones para el de remo tumbado. Los resultados mostraron que el grupo que intercaló el ejercicio de remo entre las dos series (pre-posttest) de press de banca incrementó significativamente la producción de potencia media en un 4,7% con respecto al grupo control, el cual no obtuvo cambios en la producción de potencia. Sin embargo, haber utilizado en el press de banca una carga absoluta idéntica para todos los sujetos no permite igualar la carga relativa utilizada entre los mismos.

En otro estudio transversal se compararon los efectos de realizar series tradicionales versus series alternas para ejercicios de extremidades opuestas sobre el rendimiento mecánico en sentadillas (Ciccone et al., 2014). En este estudio, el entrenamiento de series tradicionales consistió en 4 series de sentadillas al 80% de la 1RM con un tiempo de recuperación entre series de 3 min. El entrenamiento de series alternas consistió en 4 series de sentadillas al 80% de la 1RM pero con el ejercicio de press de banca y de remo en banco realizados entre las series 1, 2 y 3 de sentadillas con un descanso entre ejercicios de 50 s (lo que resultaba en una recuperación entre las series de sentadillas de aproximadamente 3 min). Para todos los ejercicios, se realizaron 4 repeticiones para las tres primeras series, mientras que la cuarta serie se realizó hasta el fallo muscular. El principal hallazgo de este estudio fue que la realización de ejercicios multiarticulares de la parte superior del cuerpo durante los intervalos de recuperación de las series para sentadillas afectó negativamente al número de repeticiones de sentadillas hasta el fallo y a la potencia promedio equiparada al volumen solo en la cuarta serie, aunque la fuerza de reacción contra suelo y la potencia pico no fueron negativamente afectadas.

Por su parte, Carregaro et al. (2011) compararon el efecto de tres protocolos isocinéticos de pre-carga (pre-activación, pre-fatiga) antagonista sobre la respuesta electromiográfica de la musculatura extensora de la rodilla y la producción de lactato: tradicional (3 series de extensión de rodilla), super series (3 series de flexión y extensión de rodilla realizadas de forma consecutiva sin intervalo de recuperación entre cada serie) y activación recíproca (3 series combinando extensión y flexión de rodilla en acción concéntrica isocinética dentro de la misma serie). Los autores observaron que el protocolo de super series supuso un índice de fatiga más alto y generó una

concentración de lactato en sangre post-esfuerzo significativamente mayor en comparación con el protocolo tradicional y de acciones recíprocas. Asimismo, los resultados mostraron que el protocolo de activación recíproca proporcionó un mantenimiento del torque durante múltiples series de entrenamiento isocinético, tanto a velocidades lentas como altas. De nuevo, Carregaro et al. (2013) analizaron la fatiga muscular y la respuesta metabólica ante las mismas tres condiciones (protocolos) de pre-carga de la musculatura flexora antagonista sobre la extensión de rodilla en acción isocinética. La conclusión final fue que el protocolo de activación recíproca resultó neuromuscular y metabólicamente más eficiente durante la realización de ejercicios de extensión de rodilla.

Maia et al. (2015) estudiaron el efecto de dos secuencias inversas de series agonistas-antagonistas emparejadas de los ejercicios de press de banca y remo sentado en máquina sobre el volumen del entrenamiento, la percepción subjetiva del esfuerzo y la activación muscular (3 x 8RM/2 min recuperación entre series y ejercicios). Los resultados mostraron que se realizó un volumen de entrenamiento (repeticiones por serie) significativamente mayor con el ejercicio de remo sentado cuando éste se realizó después del ejercicio de press de banca, en comparación con el orden inverso, aunque para ambos protocolos/secuencias se observó una disminución progresiva del volumen entre cada una de las series. También se observó una mayor activación del músculo deltoides posterior en el ejercicio de remo sentado durante las tres series cuando fue precedido por el press de banca, en comparación con el orden inverso. No obstante, no hubo diferencias en el volumen de entrenamiento realizado en el ejercicio de press de banca entre ambas secuencias de ejercicios (press de banca+remo; remo+press de banca).

Autores como Antunes et al. (2018) investigaron el efecto de la cadencia (medida en b/p/m) del ejercicio antagonista (velocidad de ejecución) sobre el volumen de carga (kg x repeticiones) y la actividad electromiográfica durante series agonistas-antagonistas emparejadas combinando los ejercicios de extensión y flexión de rodilla sentado. El volumen alcanzado fue mayor durante el protocolo de series agonistas-antagonistas emparejadas que, con el protocolo tradicional de sólo extensión de rodilla, pero la cadencia rápida vs. lenta -90 y 40 b/p/m, respectivamente- del ejercicio antagonista (flexión de rodilla) no influyó en dicho volumen en los protocolos con series emparejadas. La actividad muscular del vasto lateral fue mayor durante el protocolo tradicional; por otro lado, el recto femoral mostró una mayor actividad en el protocolo de cadencia rápida de series emparejadas, lo que indicó que las series agonistas-

antagonistas emparejadas tienen una influencia diferente en la activación muscular del cuádriceps.

Uno de los grupos de investigación pioneros en estudiar esta temática es el de Robbins y colaboradores, quienes entre 2009 y 2010 publicaron una serie de estudios muy semejantes y una revisión bibliográfica frecuentemente citados en la literatura científica.

Robbins et al. (2009) realizaron uno de los pocos estudios experimentales que ha analizado los efectos del entrenamiento de la fuerza con emparejamientos de series agonistas-antagonistas sobre el desarrollo de la fuerza de las extremidades superiores en ejercicios multiarticulares de empuje y tracción. En este estudio, a lo largo de un periodo de 8 semanas, un grupo de sujetos entrenados alcanzaron aumentos similares en 5 medidas de rendimiento (1RM de tracción en banco y press de banca, altura de lanzamiento, velocidad pico y potencia pico) en comparación con los aumentos alcanzados por otro grupo experimental que realizó un protocolo "tradicional" en el que se realizaron todos los grupos de ejercicios de tracción antes de los ejercicios de empuje en todas las sesiones de entrenamiento. Debido a que las mejoras en las medidas de rendimiento fueron similares en ambas condiciones/protocolos (algo mayores en el incremento de la 1RM para el grupo de series agonistas-antagonistas), la mitad de tiempo requerido para completar las sesiones con emparejamientos de series de ejercicios agonistas-antagonistas indicó que este modelo de organización del entrenamiento mediante agrupamiento de ejercicios es eficiente para el desarrollo de la fuerza y potencia. Además, los autores informaron que no hubo cambios en la actividad electromiográfica (EMG) pre-postentrenamiento en ninguno de los dos protocolos (tradicional y entrenamiento de series agonistas-antagonistas emparejadas).

Robbins et al. (2010d) analizaron el volumen de entrenamiento (kg x repeticiones realizadas) entre un protocolo de series agonistas-antagonistas emparejadas (A+B+A+B+A+B= ~10 min) y un protocolo tradicional (A+A+A+B+B+B= ~10 min) al realizar tres series del ejercicio de remo y press de banca con cargas correspondientes a 4RM. El volumen de entrenamiento por serie fue significativamente inferior para el protocolo tradicional que para el protocolo de series agonistas-antagonistas en la segunda y tercera serie. Los autores concluyeron que el entrenamiento de series agonistas-antagonistas emparejadas puede resultar más efectivo que el protocolo tradicional en términos de volumen de entrenamiento realizado (repeticiones por serie) y más eficiente. Sin embargo, la diferencia en el volumen de entrenamiento podría explicarse por el mayor intervalo de recuperación permitido entre series para el mismo ejercicio del protocolo que utilizó series agonistas-antagonistas emparejadas (4 min) de forma alterna con respecto a la configuración tradicional (2 min).

Robbins et al. (2010b) encontraron un descenso del volumen de entrenamiento entre series y una actividad EMG de los músculos pectoral mayor, tríceps braquial y deltoides anterior similar entre el entrenamiento tradicional (A+A+A+B+B+B= ~20 min) y el emparejamiento de series agonistas-antagonistas consecutivas (A/B+A/B+A/B= ~10 min) realizando 3 series en el ejercicio de remo y press de banca, con 4 repeticiones al fallo muscular. Ambos protocolos suponían adoptar un intervalo de recuperación de 4 min entre series del mismo ejercicio. Los autores concluyeron que el emparejamiento de series era más eficiente en términos de tiempo consumido (volumen/tiempo) que el protocolo tradicional, e igualmente efectivo en términos de volumen de entrenamiento realizado (repeticiones por serie), aunque ninguno de los protocolos pudo mantener el mismo volumen de entrenamiento entre series (repeticiones realizadas entre la primera, segunda y tercera serie).

Robbins et al. (2010c) compararon los efectos de un protocolo tradicional (A+A+A+B+B+B= ~20 min) y un protocolo agonista-antagonista (A/B+A/B+A/B= ~10 min) de tres series de dos ejercicios sobre la velocidad pico, potencia pico, altura del press de banca lanzado, volumen de entrenamiento realizado y actividad electromiográfica. Ambos protocolos suponían adoptar un intervalo de recuperación de 4 min entre series del mismo ejercicio. No se encontraron diferencias en ninguna de las medidas estudiadas entre ambos protocolos, por lo que los autores concluyeron de nuevo que el entrenamiento mediante emparejamiento de series antagonistas es un método de entrenamiento efectivo con respecto a la eficiencia y el mantenimiento de los indicadores de rendimiento analizados.

Alcaraz et al. (2011) realizaron un estudio experimental longitudinal de 8 semanas de duración donde se observó que un entrenamiento en circuito (agrupación de 3 ejercicios para la parte superior e inferior del cuerpo) no afectó negativamente las adaptaciones de la fuerza (1RM, potencia pico de miembros superiores), masa muscular magra, y rendimiento en el test de ida y vuelta de 20 metros en comparación con una configuración tradicional de los mismos ejercicios, orden de ejecución y carga de entrenamiento (3-6 series x 6 RM, 3 min de recuperación entre series). Sin embargo, este estudio examinó los efectos sobre el rendimiento utilizando solamente ejercicios uni-articulares.

Por su parte, Paz et al. (2013) estudiaron los efectos agudos de cuatro protocolos diferentes de “pre-activación” sobre el número de repeticiones realizadas y la activación muscular en el ejercicio de remo sentado: una serie al fallo de 10 RM (protocolo tradicional); una serie al fallo de remo sentado precedida por una serie de estiramiento estático (40 s) del pectoral mayor (estiramiento estático-antagonista); una serie al fallo

de remo sentado precedida por una serie de estiramiento del pectoral mayor mediante la técnica contracción-relajación de Facilitación Neuromuscular Propioceptiva (20 s en tensión isométrica y 20 s de estiramiento pasivo); y una serie al fallo del ejercicio de remo sentado precedida por una serie al fallo del ejercicio de press de banca sentado de 10 RM sin intervalo de recuperación entre ambos ejercicios (protocolo de serie agonista-antagonista emparejada). Los resultados obtenidos mostraron que el protocolo de serie agonista-antagonista emparejada y el protocolo de estiramiento estático antagonista pudo propiciar un incremento del número de máximas repeticiones realizadas en el ejercicio de remo sentado en comparación al protocolo tradicional. Además, la activación muscular agonista en el ejercicio de remo sentado (bíceps braquial y dorsal ancho) fue significativamente mayor durante la serie agonista-antagonista emparejada y el protocolo de estiramiento estático-antagonista que en los otros dos protocolos (tradicional y PNF).

Miranda et al. (2013) compararon el número de repeticiones realizadas y la percepción del esfuerzo (RPE) entre diferentes secuencias/combinaciones de realización de tres ejercicios: press de banca, press sentado, y extensión de tríceps. El número de repeticiones realizadas al realizar la secuencia de press sentado, extensión de tríceps y press de banca en ese orden fue menor que cuando se realizó extensión de tríceps, press de banca y press sentado, o extensión de tríceps, press sentado y press de banca en ese orden, respectivamente. No encontraron diferencias significativas en el número de repeticiones completadas en cada ejercicio y la RPE con otras secuencias de realización de los ejercicios comparadas. La conclusión final de este estudio fue que frente a esos resultados se puede dar prioridad a los ejercicios realizados al comienzo de la sesión.

Más recientemente, de Souza et al. (2017) compararon los efectos agudos de un emparejamiento de dos ejercicios (press de banca y remo sentado) y tres series sobre la producción de lactato, el esfuerzo percibido y número de repeticiones totales al fallo al ser realizado de forma tradicional (A+A+A+B+B+B: 10 min), mediante series agonistas-antagonistas emparejadas (A+B+A+B+A+B= 10 min) y mediante super series (A/B+A/B+A/B). Los principales hallazgos fueron el mayor número de repeticiones totales realizado con el emparejamiento agonista-antagonista en comparación con el protocolo tradicional y de super series para ambos ejercicios. Además, se observó un número de repeticiones totales similar entre la configuración mediante super series y el protocolo tradicional, pero, sin embargo, las super series mostraron niveles más altos de concentración de lactato sanguíneo y esfuerzo percibido después del esfuerzo, en comparación con los otros dos protocolos. De nuevo, estos resultados podrían

explicarse por el mayor intervalo de recuperación permitido entre series para el mismo ejercicio del protocolo que utilizó series agonistas-antagonistas emparejadas (4 min) con respecto a las otras dos configuraciones (120 s para la configuración tradicional y 150 s para las super series). Lo que sí queda claro en este estudio es que el protocolo que utilizó super series como organización de los ejercicios supuso aproximadamente la mitad de tiempo de entrenamiento en la sesión que las otras dos propuestas.

Paz et al. (2017) investigaron los efectos agudos de la realización de un entrenamiento de series agonistas-antagonistas emparejadas (A/B+A/B+A/B= ~10 min) en comparación con un modelo tradicional (A+A+A+B+B+B= ~20 min) durante tres series -con una carga relativa de 10RM para ambos protocolos- sobre el volumen de entrenamiento (carga x repeticiones) y determinados índices electromiográficos de fatiga muscular. Ambos protocolos suponían adoptar un intervalo de recuperación de 2 min entre series del mismo ejercicio. Los índices de fatiga muscular fueron mayores en el protocolo de series emparejadas en comparación con el protocolo tradicional. El volumen de entrenamiento disminuyó significativamente entre las series para los dos ejercicios (remo sentado y press de banca) en ambos protocolos, sin embargo, el volumen total fue superior en todas las series para ambos ejercicios en el protocolo de series emparejadas, además de consumir casi la mitad de tiempo que el protocolo tradicional.

También ha sido publicado uno de los pocos estudios cuyo propósito fue comparar la respuesta hormonal aguda (testosterona, cortisol, ratio testosterona/cortisol y hormona del crecimiento) y la percepción de esfuerzo (OMNI-RES) entre un protocolo tradicional (3 x 10RM) y un emparejamiento de series agonistas-antagonistas (3 x 10 RM) de remo sentado en máquina y press de banca con 2 min de recuperación entre series para ambos protocolos (de Souza et al., 2020). Los resultados mostraron que el protocolo tradicional mostró una tendencia a causar un mayor desequilibrio en los niveles hormonales, a pesar de la falta de diferencias significativas frente al protocolo de series agonistas-antagonistas. La conclusión final fue que ambas estrategias o protocolos de realización de los ejercicios pueden promover respuestas hormonales agudas similares.

Paz et al. (2019) llevaron a cabo un estudio con el propósito de comparar los efectos entre distintos protocolos de entrenamiento (series tradicionales vs. series antagonistas emparejadas sin descanso entre ejercicios vs. series antagonistas emparejadas con descanso entre ejercicios vs. circuito de seis ejercicios: 3 series x 10RM) sobre la actividad mioeléctrica (EMG), volumen de la carga (series x repeticiones x kg), marcadores metabólicos (lactado, creatinquinasa, lactato deshidrogenasa) y esfuerzo percibido (OMNI-RES) tras 24, 48 y 72 horas post-entrenamiento. Los resultados



mostraron un mayor volumen de repeticiones para los protocolos de series emparejadas y en circuito con respecto al protocolo tradicional, pero no hallaron diferencias significativas para el resto de mediciones (estrés metabólico, OMNI-RES, EMG) post-entrenamiento.

Weakley et al. (2017) estudiaron y compararon los efectos sobre respuestas fisiológicas (lactato, cortisol, testosterona, creatinquinasa), esfuerzo percibido (RPE) y rendimiento del salto vertical (CMJ) entre realizar un protocolo tradicional de 6 ejercicios para extremidades superiores e inferiores, los mismos ejercicios pero en series emparejadas de dos ejercicios, y los mismos ejercicios pero en series agrupando tres ejercicios (3 x 10 repeticiones a máxima velocidad con el 65% 3RM y 2 min de recuperación entre series para cada protocolo). Los resultados desvelaron que las series emparejas entre dos ejercicios y las tri-series agrupando tres ejercicios, pese a ahorrar tiempo en la sesión de entrenamiento, fueron los protocolos que mayor fatiga residual generaron en las variables fisiológicas medidas tras el entrenamiento y en el rendimiento en salto 24 horas después del mismo en comparación con el protocolo tradicional.

Weakley et al. (2020) también analizaron y compararon los efectos agudos sobre el esfuerzo percibido (RPE) y variables mecánicas de rendimiento neuromuscular (velocidad media, potencia media y fuerza pico) en press de banca entre un protocolo de series tradicionales (solamente se hacía el ejercicio de press de banca con barra), series emparejando sentadilla y press de banca con barra, series emparejando remo inclinado y press de banca con barra, y series emparejando press de banca con mancuernas y press de banca con barra (3 x 10 repeticiones a máxima velocidad con el 65% 3RM y 2 min de recuperación entre series para cada protocolo). Finalmente constataron que realizar series alternas/emparejadas entre el ejercicio de sentadilla y press de banca produjo una reducción significativamente mayor del rendimiento neuromuscular en el ejercicio de press de banca entre cada serie que realizar series alternas entre los ejercicios de remo inclinado y press de banca o que realizar press de banca a solas (protocolo tradicional). No obstante, el protocolo que mayores reducciones produjo sobre el rendimiento mecánico y mayor percepción de esfuerzo fue el emparejamiento del ejercicio de press de banca con mancuernas con el de press de banca con barra al involucrar la misma musculatura agonista.

Realzola et al. (2021) diseñaron un estudio transversal para comparar el estrés fisiológico a través de distintos parámetros entre dos protocolos de entrenamiento equiparados en el volumen de carga. Uno de los protocolos consistió en realizar individualmente seis ejercicios multiarticulares mediante una configuración tradicional de las series (4 x 12-15RM; 90 s recuperación inter-series), mientras que el otro

protocolo realizó los mismos ejercicios en idéntico orden, pero en series emparejadas de dos ejercicios de acciones antagonistas (empuje vs. tracción: 4 x 12-15RM; 60 seg recuperación inter-series y 2 min entre parejas de ejercicios). Los resultados mostraron un mayor gasto energético, EPOC durante 20 min post-esfuerzo, consumo de oxígeno, frecuencia cardíaca, producción de lactato y RPE con el protocolo de series emparejadas entre dos ejercicios, pero en casi la mitad de tiempo que el necesitado por el protocolo tradicional.

Resumidamente, ante los resultados de estos estudios no parece que ningún formato de agrupamiento de dos o tres ejercicios (super series o series agonistas-antagonistas emparejadas) suponga ninguna clara ventaja con respecto a protocolos tradicionales para el desarrollo de la fuerza. Tampoco está claro que la pre-activación de la musculatura antagonista previamente a la activación de la agonista en ejercicios distintos conlleve una mejora aguda del rendimiento neuromuscular, ya que el nivel de evidencia es limitado y equívoco (Robbins et al., 2010a), pese a que algunos estudios con acciones uniarticulares hayan podido constatar alguna mejora en el volumen total (Balsamo et al., 2012), la máxima contracción isométrica y producción de fuerza en la unidad de tiempo (Kamimura y Takenaka, 2007; Kamimura et al., 2009) o la activación muscular agonista (Júnior et al., 2010).

Con respecto a la respuesta a largo plazo o crónica, aunque existe alguna prueba que sugiere que el entrenamiento con emparejamientos de series agonistas-antagonistas pudiera ser, al menos, tan beneficioso y más eficiente que otros protocolos de entrenamiento tradicionales para el desarrollo de la fuerza (Robbins et al., 2009), aún es una información inconsistente y muy limitada. Sin embargo, el emparejamiento de series agonistas-antagonistas o super series a menudo está asociado a una mayor eficiencia de entrenamiento (volumen/tiempo de entrenamiento) en comparación con la configuración tradicional de realización de los ejercicios (de Souza et al., 2017; Robbins et al., 2010a; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Robbins et al., 2010d). Esto se puede cumplir cuando durante el intervalo de recuperación inter-serie correspondiente al primer ejercicio emparejado se realiza el segundo ejercicio. En este caso, el intervalo de recuperación entre series de un mismo ejercicio será similar entre protocolos de tipo agonista-antagonista y tradicionales, pero la densidad de entrenamiento ( $\text{trabajo} \cdot \text{tiempo}^{-1}$ ) será mayor en los primeros y, supuestamente, una situación más fatigante (Robbins et al., 2010a). Por tanto, y de forma inequívoca, el ahorro de tiempo intra-sesión es el argumento más sólido, y la principal ventaja, con respecto a una metodología tradicional ante un volumen de entrenamiento (número de

series) equivalente, para justificar la incorporación de este tipo de agrupamiento de los ejercicios o estructuración de las series en la sesión de entrenamiento. Robbins et al. (2010a) afirman que el entrenamiento combinado agonista-antagonista se puede recomendar a quienes deseen completar sesiones de entrenamiento en menos tiempo, maximizando el trabajo realizado por unidad de tiempo, y aun así lograr resultados agudos y crónicos similares a los del entrenamiento tradicional en lo que a mejora de la fuerza se refiere. Textualmente, afirman que *propuestas eficientes de entrenamiento de fuerza que no comprometan la eficacia de las mismas, o aumenten la eficiencia (menor tiempo de entrenamiento requerido), pueden resultar ventajosas para no solo poblaciones deportistas sino también para la población general.*

### 3.3.1. Conclusiones sobre los estudios que utilizan series emparejadas/alternas entre ejercicios

En definitiva, el estudio científico de los efectos de la realización de series alternas/emparejadas entre ejercicios de fuerza es en parte limitado e inconsistente. Además, la inmensa mayoría de los estudios que han analizado los efectos de este tipo de configuración o estructuración de las series se han centrado en los efectos o respuestas inmediatas/agudas a través de diseños transversales, atendiendo fundamentalmente a variables neurofisiológicas (e.g., activación muscular, respuesta hormonal, respuesta metabólica, dolor muscular de aparición tardía), perceptivas (i.e., índices de esfuerzo percibido) y relacionadas con la eficiencia (i.e., volumen total/tiempo de duración de la sesión) y volumen total de entrenamiento (i.e., repeticiones totales x kilogramos levantados). Por otra parte, las características de esos estudios mayoritariamente transversales presentan algunas limitaciones importantes que reseñar:

1. Casi todos los estudios han utilizado una combinación o agrupamiento de dos ejercicios emparejados de tipo agonista-antagonista de la misma extremidad o segmento corporal, bien de las extremidades inferiores o superiores (Paz et al., 2017; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Robbins et al., 2010d), pero casi nunca entre extremidades opuestas (i.e., miembros inferiores vs. superiores). Los estudios que así lo han hecho (Cicccone et al., 2014; Weakley et al., 2017; Weakley et al., 2020) no han examinado la respuesta a largo plazo, sino de forma aguda y a corto plazo.
2. Como es habitual en la literatura, la mayoría de todos esos estudios han utilizado el número máximo de repeticiones que se pueden realizar con un peso

submáximo dado (i.e., 8RM, 10RM) como criterio para determinar la carga relativa y prescribir el entrenamiento, por lo tanto, realizando cada serie muy cerca del o al fallo muscular (Robbins et al., 2009; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c). Esto supone no haber tenido en cuenta la alta variabilidad entre sujetos (coeficiente de variación del ~15-20%) que sucede cuando se realizan las máximas repeticiones posibles por serie ante distintas intensidades relativas (%1RM) (previamente comentadas en el apartado 3.2.2). Asimismo, otros estudios han utilizado un porcentaje de la 1RM para la determinación de la intensidad relativa y la dosificación del entrenamiento (Merrigan et al., 2019; Weakley et al., 2017), sin embargo, este procedimiento también tiene limitaciones importantes (igualmente comentadas en el apartado 3.2.2 del Marco conceptual). Por tanto, ninguno de los esos estudios ha utilizado la velocidad de ejecución en la acción concéntrica como criterio para controlar, dosificar y programar la carga de entrenamiento (volumen e intensidad) y valorar el efecto sobre el rendimiento.

3. La situación anterior conlleva para todos esos estudios un descenso progresivo del volumen (número de repeticiones por serie completado en cada ejercicio) ante la misma carga absoluta a lo largo de las sucesivas series -habitualmente tres- y similar entre los protocolos de series alternas/emparejadas y de series realizadas de manera tradicional, utilizando entre 2 y 4 min de recuperación entre series. El volumen de carga (repeticiones totales x kg) entre series es considerado por esos estudios como el criterio o variable determinante y representativa más relevante del rendimiento neuromuscular y eficacia del entrenamiento, sin atender por lo habitual a otro tipo de variables mecánicas (velocidad, potencia).
4. Algunos estudios han errado al comparar protocolos donde los intervalos de recuperación entre series de los mismos ejercicios no son de la misma duración, como ha sido comentado sobre algunos de los estudios previamente presentados (de Souza et al., 2017; Robbins et al., 2010d).

### 3.4. Dispositivos para la medición de la velocidad de ejecución en el entrenamiento de la fuerza

#### 3.4.1. Instrumentos electrónicos de medida de la velocidad de ejecución

Desde los pioneros sistemas de medición de la velocidad desarrollados a lo largo de los años 90, como las células fotoeléctricas (Tidow et al., 1995), el Ergopower (Bosco et al., 1995) y el Isocontrol (González-Badillo y Ayearán, 1995), a la actualidad, han surgido diferentes instrumentos de medida que permiten medir la velocidad de ejecución de la resistencia desplazada -o de algún segmento corporal- con diferente nivel de precisión, teniendo todos ellos distintas especificaciones técnicas, ventajas y limitaciones (**Tabla 3**). Las diferencias entre cada tipo de dispositivo condicionan la fiabilidad de su medición y la utilidad de cada uno. Algunos de estos dispositivos permiten estudiar parámetros fundamentales para la dosificación, control y evaluación del entrenamiento (velocidad media propulsiva, desplazamiento por fase concéntrica/excéntrica durante cada repetición, pérdida de velocidad intra-serie) mientras que otros no lo permiten, pero, sin embargo, presentan otras ventajas que pueden justificar su utilización en el terreno (i.e., el coste o la sencilla portabilidad y manejabilidad).

A continuación, se expone una breve descripción de las características de los distintos dispositivos e instrumentos más conocidos para la monitorización de la velocidad de ejecución:

- **Sistemas tridimensionales (3D) de captura del movimiento.** Son sistemas ópticos de detección del movimiento que suelen incorporar varias cámaras infrarrojas fijas que proporcionan datos de posición 3D de un marcador reflectante colocado en la barra a una frecuencia de muestreo determinada (100-200 Hz). La velocidad instantánea es calculada mediante el registro del desplazamiento del reflectante con respecto al tiempo. Son considerados por algunos investigadores los instrumentos de referencia para la medición de la velocidad del movimiento, aunque su elevado coste y compleja instalación limita su utilidad para el laboratorio (e.g., Vicon 3D, Tri-OptiTrack, Raptor 3D Motion Capture).
- **Plataformas dinamométricas de fuerza.** Son básicamente superficies planas cuadrangulares con 4 transductores/sensores de presión (piezoeléctricos o extensiométricos) conectados a un sistema electrónico de amplificación y registro. Los traductores de presión arrojan un voltaje proporcional a la fuerza aplicada ( $\text{Volt} > \text{Newtons}$ ), y permiten medir la fuerza de reacción del suelo en los 3 ejes (según

la 3ª Ley de Newton). Por su elevado coste, montaje y características técnicas no suelen utilizarse habitualmente para medir la velocidad propiamente dicha (del centro de masas), aunque son consideradas el gold-standard para la medición directa de la fuerza ejercida contra el suelo/plataforma y la oscilación del centro de presiones, entre algunas de sus utilidades más destacadas. Las plataformas que tienen como objetivo medir la fuerza para el rendimiento suelen medir, solamente, en el eje vertical (eje Z). Habitualmente son utilizadas en los laboratorios para la investigación.

- **Transductores lineales de posición o velocidad (por cable).** Conocidos familiarmente como “encoders”, son instrumentos de medida electromecánicos, ya que la salida del transductor suele ser una señal eléctrica, tal como una tensión (voltaje) o intensidad de corriente eléctrica (González-Badillo et al., 2017a). La mayoría de estos dispositivos tienen un hilo o cable extensible amarrado a la resistencia externa (barra) que se desplaza, el cual a su vez está conectado a un transductor (sensor) que registra directamente señales proporcionales a la velocidad lineal de desplazamiento del cable -transductores lineales de velocidad- o del espacio recorrido –transductores lineales de posición- en función del tiempo, derivando el resto de los parámetros (aceleración, fuerza y potencia). Todos estos dispositivos requieren que la trayectoria del movimiento de la carga sea lineal (perpendicular) para que el registro sea fiable y preciso, ya que no registran el desplazamiento horizontal (Harris et al., 2010), por lo que están restringidos para aquellos ejercicios que predominantemente se realizan en dirección vertical. Los dispositivos de alta gama incorporan un software que permite tratar, almacenar y representar numérica y gráficamente los datos registrados en tiempo real (variables cinéticas y cinemáticas). Los transductores lineales de posición/velocidad son considerados por algunos investigadores los dispositivos de referencia (gold standard) para la monitorización de la velocidad de ejecución de la barra (Cormie et al., 2007; González-Badillo y Sánchez-Medina, 2011), siendo por su alta precisión los dispositivos mayormente utilizados en los estudios científicos. Los transductores lineales de velocidad parecen gozar de menores errores de medida y obtener valores de fiabilidad mayores en todos los parámetros que los transductores lineales de posición bajo condiciones de medición similares (acciones pliométricas y no-pliométricas con una parada isométrica entre la acción concéntrica y excéntrica) (Moreno-Villanueva et al., 2021).
- **Transductores ópticos de posición (por infrarrojos).** A la vanguardia de los últimos dispositivos surgen aquellos de tipo transductor “óptico” (Velowin, Deportec, Murcia, España). Este dispositivo puede medir directamente la posición de cualquier

punto en cualquier instante de tiempo (cada 2 ms) por medio del seguimiento de un marcador reflectante colocado en la carga a desplazar mediante una cámara de infrarrojos, lo que permite obtener las diferentes medidas de velocidad por derivación para cualquier tipo de trayectoria lineal de la carga, mostrando los registros de las variables más determinantes (desplazamiento, tiempos de fase, potencia, etc.) en tiempo real a través de un análisis gráfico y numérico realizado por su propio software. Específicamente, este dispositivo opto-electrónico tiene como ventaja con respecto a los transductores lineales de velocidad o de posición el no tener ningún cable extensible para fijar a la barra o carga a desplazar, lo que permite evaluar una amplia gama de ejercicios, incluida la posibilidad de medir cambios de la posición (velocidad) de cualquier segmento del cuerpo.

- **Tecnologías portátiles “sin cables”**. Conocidas también con el anglicismo de difícil traducción *wearables*, todas las cuales han conquistado el mercado apoyadas por fuertes campañas publicitarias. Son todas aquellas que sólo necesitan una aplicación móvil para poder ser utilizadas y, en el caso de los acelerómetros, a veces también algún tipo de brazalete o accesorio para su fijación, pero que por el contrario no requieren la instalación de ningún software en un ordenador personal. Además, algunas apps de este tipo permiten estimar la 1RM a partir de las velocidades medias de un test incremental con cargas, todo ello mediante ecuaciones de regresión lineal. Básicamente, se encuentran estos dos tipos de tecnologías wearables:
  - *Acelerómetros y smartphones apps*. El propio smartphone, o un dispositivo inalámbrico sin cables (“wireless”) tipo brazalete que cuenta con una pequeña batería con cierta autonomía, incorpora un acelerómetro triaxial y un giroscopio. Para la transmisión de los datos este dispositivo se sincroniza a través de bluetooth con la aplicación descargada en el dispositivo móvil (smartphone o tablet). Permite ser fijado en el segmento corporal o implemento en movimiento –algunos modelos están imantados para ello-, y calcular la velocidad media por integración de la aceleración con respecto al tiempo (en realidad, parten de la aceleración resultante de las tres componentes  $a_x$ ,  $a_y$ ,  $a_z$ , pues los acelerómetros son triaxiales).
  - *Video-análisis mediante smartphones apps*. Necesitan de cámaras de alta velocidad, por lo que algunos smartphones de última generación son compatibles (velocidad de captura necesaria de 240 fps o más: cámara superlenta). A partir de la filmación, e introduciendo el recorrido del movimiento previamente medido de forma manual, se selecciona el fotograma inicial y final de la fase concéntrica para calcular el tiempo y derivar la velocidad media con

ayuda de la app. Obviamente, este procedimiento es sólo “fiable” para desplazamientos verticales/lineales en la fase concéntrica, aunque el registro de la velocidad no puede conocerse en tiempo real.

En todos los casos, hay que tener en cuenta que las sucesivas derivaciones matemáticas que realizan las distintas tipologías de instrumentos de medida hacen que se vaya acumulando cierto error en el cálculo de las variables que no se miden directamente (González-Badillo et al., 2017a), como por ejemplo la aceleración, la potencia, la fuerza aplicada o incluso la propia velocidad. Por otra parte, para registrar con suficiente detalle los movimientos típicos que se producen en el entrenamiento y evaluación de la fuerza la mínima frecuencia de muestreo debería ser de 200 Hz aunque, a ser posible, frecuencias mayores (500-1000 Hz) son recomendables (González-Badillo et al., 2017a) (la frecuencia de muestreo, expresada en capturas por segundo (S/s), o más habitualmente en hercios (Hz.)-, es la medición de valores/muestras/capturas en periodos de tiempo igualmente espaciados, siendo uno de los aspectos más importantes a considerar). El contar con una frecuencia de muestreo alta es importante para detectar correctamente el instante de comienzo y final de cada repetición realizada con los transductores, así como para obtener con precisión los valores pico y variables derivadas (González-Badillo et al., 2017a). La mayoría de tecnologías wearables cuentan con una frecuencia de muestreo inferior a los 200 Hz. lo que limita, entre otras razones, su implementación en los programas de entrenamiento de la fuerza mediante el control de la velocidad.



**Tabla 3**

*Dispositivos para la medición de la velocidad de ejecución (VPM: velocidad medida propulsiva; RFD: tasa de producción de fuerza en la unidad de tiempo; N: Newtons; Hz: Herzios)*

Tipo de dispositivo	Transductores lineales de velocidad/posición (por cable)	Transductores ópticos de posición (por infrarrojos)	Plataformas dinamométricas	Acelerómetros (Smartphones apps)	Video-análisis mediante smartphones apps
<b>Medición directa</b> (según modelos)	Velocidad vertical (v) Tiempo (t) Distancia/espacio (e)	Tiempo (t) Distancia/espacio (e)	Fuerza (Volt>N) Tiempo (t)	Aceleración 3 ejes (a) Tiempo (t)	Tiempo (t) -a partir de fotogramas de video- Distancia -medición manual-
<b>Medición indirecta</b> (según modelos)	Velocidad (= e/t) Fuerza (= m x a) Aceleración (= e/t <sup>2</sup> ; v <sup>2</sup> -v <sup>1</sup> /t <sup>2</sup> -t <sup>1</sup> ; F/m) Potencia (= F x e/t)	Velocidad (= e/t) Fuerza (= m x a) Aceleración (= e/t <sup>2</sup> ; v <sup>2</sup> -v <sup>1</sup> /t <sup>2</sup> -t <sup>1</sup> ; F/m) Potencia (= F x e/t)	Velocidad máxima (del centro de masas)	Velocidad vertical Fuerza (= m x a) Aceleración vertical Potencia (= F x e/t)	Velocidad (= e/t <sup>2</sup> )
<b>Frecuencia de muestreo</b> (según modelos)	200-1000 Hz.	500 Hz.	200-1000 Hz.	50-200 Hz.	240 fps (Hz)
<b>Variables mecánicas mostradas por el software/app</b> (según modelos)	Aceleración Media/Máxima Fuerza Media/Máxima Velocidad Media/Propulsiva Velocidad Pico (máxima) Potencia Media/Propulsiva Potencia Pico (máxima) Velocidad, tiempo, distancia por fases Tiempo hasta alcanzar velocidad/potencia/fuerza/aceleración máxima Predicción 1RM (kg) % Pérdida velocidad RFD...	Aceleración Media/Máxima Fuerza Media/Máxima Velocidad Media/Propulsiva Velocidad Pico (máxima) Potencia Media/Propulsiva Potencia Pico (máxima) Velocidad, tiempo, distancia por fases Tiempo hasta alcanzar velocidad/potencia/fuerza/aceleración máxima Predicción 1RM (kg) % Pérdida velocidad	Velocidad Fuerza Tiempo RFD máx.	Fuerza (%1RM) Velocidad Media/Pico Potencia Media/Pico Trabajo total (kcal.) Predicción 1RM (kg)	Velocidad Media Velocidad Pico Predicción 1RM (kg)

<p><b>Ventajas</b> (según modelos)</p>	<p>Fiabilidad de la medida (v) Software de adquisición y análisis de datos Registro-feedback en tiempo real</p>	<p>Fiabilidad de la medida (v) Software de adquisición y análisis de datos Posibilidad de estudiar cambios de posición/velocidad de cualquier segmento corporal Registro-feedback en tiempo real Sin cable que enganchar a la barra</p>	<p>Fiabilidad de la medida (N) Registro en tiempo real</p>	<p>Asequibilidad (250-300 €) Portabilidad, practicidad, manejabilidad No requiere calibración Registro-feedback en tiempo real</p>	<p>Asequibilidad Portabilidad, practicidad, manejabilidad</p>
<p><b>Limitaciones</b> (según modelos)</p>	<p>Asequibilidad (500-2500 €) Montaje y conexión (pc, interface, transductor) Fragilidad del cable Diseñados para engancharse a la barra (y no a segmentos corporales) Solo para desplazamiento lineales Calibrado</p>	<p>Calibrado Conexión a red eléctrica Portabilidad, montaje y conexión (PC, interface, cámara infrarrojos, reflectante) Solo para desplazamientos lineales</p>	<p>Asequibilidad Montaje (plataforma, PC, interface) Portabilidad</p>	<p>Fiabilidad y estabilidad de las medidas indirectas Ubicación del sensor Sólo registros de la fase concéntrica No registra VMP o recorrido/desplazamiento Autonomía de la batería</p>	<p>Fiabilidad medidas indirectas Sólo desplazamientos lineales en fase concéntrica No registra VMP, velocidad pico o recorrido (desplazamiento) Feedback no es en tiempo real Posición de la cámara/móvil Smartphone de alta gama (cámara superlenta)</p>
<p><b>Ejemplos de marcas comerciales</b></p>	<p>T-Force (España) Chronojump (España) SmartCoach (Suecia) GymAware (Australia) MuscleLab (Noruega) Ballistic Measurement System (Australia) Globus Real Power (Italia) Tendo (Eslovenia) Speed4Lift (España) FitroDyne Open Barbell System</p>	<p>Velowin (España)</p>	<p>Bertec (España) Kistler (Suiza) DigiMax (España) Globus (Italia) A-Tech (Canada)</p>	<p>Push-Band (Canadá) Beast Sensor (Italia) Wiva Power Atlas wristband Myotest</p>	<p>PowerLift app BarSense</p>

### 3.4.2. Estudios sobre dispositivos “wearables” para la medición de la velocidad de ejecución

Con respecto a las tecnologías portátiles sin cables o “wearables”, de indudable atractivo, simplicidad y practicidad, han surgido estudios científicos validando tales dispositivos basados en la acelerometría y aplicaciones móviles para la medición de la velocidad de ejecución (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Balsalobre-Fernández et al., 2017b; Comstock et al., 2011; Rey et al., 2016; Sato et al., 2009;). Tras el estudio y análisis de este tipo de investigaciones se pueden destacar, al menos, las siguientes flaquezas y consideraciones:

- Posible conflicto de intereses, como los propios autores declaran en alguno de los estudios (Balsalobre-Fernández et al., 2017b).
- Muestra de sujetos (N). Es necesario que la muestra de sujetos sea suficientemente numerosa para poder ser representativa de un grupo poblacional, ya que, entre otras cuestiones, muestras reducidas podrían implicar un mayor margen de error de las estimaciones y disminuir la capacidad de detectar diferencias significativas. A este respecto, hay que considerar que algunos de estos estudios han sido realizados con una muestra insuficiente de diez (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Balsalobre-Fernández et al., 2017b) o siete sujetos (Sato et al., 2009).
- La ubicación del acelerómetro en lugares que no sean la barra donde se conectó el cable del transductor lineal para la validación puede determinar los resultados de tales estudios de validación (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Balsalobre-Fernández et al., 2017b; Comstock et al., 2011; Sato et al., 2009). Saber cómo afecta la ubicación del acelerómetro en los distintos segmentos o implementos sobre la fiabilidad de la medida de velocidad requiere estudios comparativos. Por tanto, la forma en que son colocados y fijados dichos dispositivos podría ser una variable contaminante a considerar.
- La ubicación y/o fijación de la cámara o smartphone en el caso de los estudios mediante video-análisis (Balsalobre-Fernández et al., 2017b). Sujetar la cámara de filmación con la mano puede suponer que el plano de la imagen grabada no esté paralelo al objetivo del dispositivo, con el error que esto podría generar de cara a las mediciones.
- Si bien estos estudios muestran generalmente una alta correlación de la velocidad media y pico con las registradas con un transductor lineal de posición utilizado como referencia ( $r = 0.86$ ;  $r = 0.91$ , respectivamente) (Balsalobre-Fernández et al., 2016), los valores de velocidad pico y media resultan ligeramente inferiores ( $-0.07 \pm 0.1$  m

- $\cdot s^{-1}$ ) y superiores ( $0.11 \pm 0.1 \text{ m} \cdot s^{-1}$ ), respectivamente, a los del transductor de cada estudio en los ejercicios analizados, tanto para los acelerómetros (Balsalobre-Fernández et al., 2016) como para el video-análisis mediante app (Balsalobre-Fernández et al., 2017b). En estos casos es importante señalar que no tendría sentido un error absoluto mayor que el valor de la medida registrada. En este sentido, existen datos que sostienen que diferencias pequeñas de velocidad media propulsiva ( $0.07\text{-}0.09 \text{ m} \cdot s^{-1}$ ) contra una misma carga absoluta pueden representar variaciones de aproximadamente el 5% de la intensidad de entrenamiento en ejercicios como el press de banca (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2017b).
- Por tanto, como la velocidad media o pico registrada por los dispositivos basados en acelerometría no es “real” en términos absolutos, con respecto a la registrada por el transductor lineal de posición utilizado para la validación, y como los propios estudios reconocen, no son instrumentos intercambiables entre sí (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Balsalobre-Fernández et al., 2017b).
  - Ejercicio utilizado para la validación. Los ejercicios con pesos libres no realizan una trayectoria estrictamente lineal, por lo que para un estudio de validación se considera conveniente que se utilicen ejercicios lineales guiados (máquina Smith) para restringir el desplazamiento de la barra en la dirección vertical y reducir el error aleatorio y sistemático. Algunos estudios de este tipo no aclaran este punto y es posible que se hayan realizado con pesos libres no guiados (Balsalobre-Fernández et al., 2017b). De hecho, los datos derivados de oscilaciones horizontales de la barra fuera del vector vertical, especialmente con ejercicios libres, pueden modificar los datos y alterar la precisión de la evaluación de la velocidad vertical (Cormie et al., 2007).
  - Protocolo/procedimiento de evaluación. Es muy importante detallar y cumplir un protocolo exhaustivo de cargas progresivas para este tipo de estudios de validación, así como establecer el criterio de velocidad real de la propia 1RM. Variables como la separación de los agarres de la barra, punto de partida/salida desde parado, recorrido de la barra en la fase concéntrica, pausa entre la fase excéntrica y concéntrica, temperatura ambiente, etc. pueden ser determinantes cuando se miden valores de velocidad que pretende validarse entre sí y cuyas diferencias pueden ser de centésimas de segundo.

En relación con lo anterior, uno de esos estudios de validación de una aplicación móvil (Balsalobre-Fernández et al., 2017b), que utilizó el press de banca como ejercicio,

mostró que la aplicación subestimaba la 1RM real, si bien el bajo número de sujetos del estudio y la velocidad de referencia de la 1RM que el algoritmo de la aplicación utiliza por defecto ( $0.17 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), pudo ser la causa de esta diferencia en el resultado. Asimismo, se mostró una alta correlación entre las velocidades medias registradas entre la app y el encoder lineal con las 4 cargas utilizadas para el test que permitía predecir dicha 1RM. Por otro lado, el mismo estudio mostró que la app registraba valores de velocidad media ligeramente superiores a los del transductor lineal utilizado para el estudio ( $0.008 \pm 0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ), aunque era un sesgo (error) sistemático que se repetía con todas las cargas/velocidades. Los autores recomendaron por esta razón no intercambiar el uso del transductor lineal por el de dicha app móvil, y viceversa.

A su vez, ningún dispositivo portátil actual (acelerómetros y aplicaciones móviles) permite discriminar la velocidad media de la fase de propulsiva, es decir, los valores medios de la fase "propulsiva" de la acción concéntrica. Según algunos autores, esta variable de velocidad es probablemente la más relevante para la programación de la carga y la evaluación del efecto del entrenamiento sobre el rendimiento, ya que discrimina mejor la capacidad potencial o neuromuscular de los sujetos con cargas bajas y medias (González-Badillo et al., 2017a; Sánchez-Medina et al., 2010). Esta velocidad se define como la parte de la fase concéntrica del movimiento durante la cual la aceleración experimentada por la carga que se desplaza es mayor que la aceleración debida a la gravedad ( $a \geq -9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ) (Sánchez-Medina et al., 2010) o, en otras palabras, la parte del movimiento durante la cual la fuerza aplicada es positiva ( $> 0$ ) (González-Badillo et al., 2017a). Además, cuanto mayor es la velocidad en una acción concéntrica, menor duración representa la fase propulsiva del total de la fase concéntrica, y mayor es la fase de frenado o desaceleración (Sánchez-Medina et al., 2010). Para el cálculo preciso de la duración de la fase propulsiva de cada repetición y, por lo tanto, de la velocidad media propulsiva, es necesario contar con dispositivos con una frecuencia de muestreo de al menos 500 Hz, ya que, sin una alta frecuencia de muestreo y un valor de aceleración muy preciso, la fase propulsiva no se puede determinar adecuadamente (González-Badillo et al., 2017a).

Por último, es habitual que los dispositivos basados en la acelerometría proporcionen valores de velocidad con gran error, sobre todo cuando se trabaja con cargas bajas o muy altas (González-Badillo et al., 2017a), lo que desaconseja su utilización cuando se pretenda recoger datos con precisión y poder interpretar correctamente los efectos del entrenamiento. Asimismo, el error de medición que puede generar los métodos basados

en cámaras de alta velocidad disponibles en smartphones incrementa a medida que lo hace la velocidad, es decir, a mayor velocidad de la barra mayor error (Sánchez-Pay et al., 2019). Por tanto, los métodos basados en cámaras de alta velocidad podrían recomendarse solo cuando se trabaja con altas cargas (i.e., velocidades medias), asumiendo un error máximo de estimación de 8.5 a 12.7% 1RM en press de banca. Por el contrario, se aconseja no utilizar estos métodos cuando se trabaja con cargas bajas, es decir, a alta velocidad, dado que el error sustancial aumentaría del 13.9 a 22.6% 1RM en press de banca (rango de error velocidad media:  $0.13 \pm 0.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  a  $0.20 \pm 0.09 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (Sánchez-Pay et al., 2019). En la práctica, esto significaría que un sujeto que intentara entrenar a  $1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en press de banca (~45% 1RM) utilizando métodos basados en cámaras de alta velocidad se estaría entrenando a una velocidad real más baja que esta, aproximadamente  $0.86 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  (~55% 1RM en press de banca) debido a la sobreestimación de estos dispositivos. Por lo tanto, el sujeto estaría entrenando con una carga relativa del 10% mayor que la esperada/programada (Sánchez-Pay et al., 2019).

# **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN**





## **4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPÓSITO DE LA INVESTIGACIÓN**

El entrenamiento tradicional de la fuerza normalmente utiliza períodos de descanso de 2 a 5 min entre series (Kraemer y Ratamess, 2004), permitiendo así facilitar la recuperación entre series y no comprometer las adaptaciones de la fuerza. Por lo tanto, realizar series múltiples de cada ejercicio en un entrenamiento donde se realicen varios ejercicios puede consumir mucho tiempo. Sin embargo, desafortunadamente, los deportistas no siempre pueden dedicar largas sesiones al entrenamiento de la fuerza debido a la necesidad de tener que trabajar otros contenidos del entrenamiento (i.e., desarrollo de habilidades y otros componentes de la condición física) (Phibbs et al., 2018). Igualmente, la falta de tiempo es una de las razones principales esgrimidas para la abstención de los programas de ejercicio de cualquier persona (Iversen et al., 2021). Por consiguiente, saber cómo los programas de entrenamiento se pueden diseñar de manera que se reduzca el tiempo de las sesiones sin comprometer significativamente los resultados, es decir, optimizar el tiempo de entrenamiento, podría alentar a más personas a participar en esta forma de ejercicio (Iversen et al., 2021).

En este sentido, varias técnicas populares de entrenamiento en las que las series se realizan alternativamente entre diferentes ejercicios -generalmente dos- dirigidos al mismo grupo de músculos agonistas o que involucran acciones musculares antagonistas (i.e., entrenamiento en super serie o series agonistas-antagonistas emparejadas) han sido estudiadas con anterioridad (de Souza et al., 2017; Paz et al., 2017; Robbins et al., 2009; Robbins et al., 2010a; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Robbins et al., 2010d). Durante el entrenamiento de series emparejadas, los músculos con una relación agonista-antagonista se entrenan de forma alterna con un descanso limitado o sin descanso entre series (Paz et al., 2016), y se diferencia del entrenamiento de series tradicionales en el cual todas las series del mismo ejercicio se realizan antes de realizar las series del siguiente ejercicio (Paz et al., 2017). Por tanto, la principal ventaja del entrenamiento en series alternas emparejadas (i.e., super series) es el sustancial ahorro de tiempo en comparación con una configuración tradicional ante un volumen de entrenamiento equivalente (i.e., número de series) (de Souza et al., 2017; Paz et al., 2017; Robbins et al., 2009; Robbins et al., 2010a; Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Robbins et al., 2010d). La eficiencia en cuanto al tiempo es posible

porque estas estrategias permiten el mantenimiento de períodos de descanso relativos entre ejercicios similares mientras disminuyen los intervalos de descanso absolutos y el tiempo total de entrenamiento (Ciccone et al., 2014).

Así pues, en la literatura se han examinado diferentes configuraciones de series emparejadas o super series, siendo los emparejamientos agonista-antagonista (i.e., remo tumbado y press de banca) y agonista-agonista (i.e., press de banca con mancuernas y press de banca con barra) las más investigadas (Robbins et al., 2010a). Pero, aunque los emparejamientos agonista-agonista pueden reducir sustancialmente el tiempo de entrenamiento, también pueden disminuir el rendimiento neuromuscular y la capacidad de aplicar fuerza durante el entrenamiento, particularmente para ejercicios multiarticulares realizados con alto grado de fatiga (Iversen et al., 2021). Por otro lado, algunos de esos mismos estudios han mostraron que el entrenamiento de series emparejadas agonista-antagonista también permitía realizar un volumen de entrenamiento similar o mayor (i.e., total de repeticiones por serie con la misma carga absoluta) que el entrenamiento de series tradicionales, además de la mencionada reducción significativa en la duración de la sesión de entrenamiento (Paz et al., 2013; Paz et al., 2016; Paz et al., 2017; Robbins et al., 2010b).

Por el contrario, los emparejamientos de ejercicios que alternan grupos musculares de la parte superior e inferior del cuerpo realizados sucesivamente (i.e., series alternas emparejadas de extremidades opuestas) rara vez se han considerado científicamente (Ciccone et al., 2014; Weakley et al., 2017; Weakley et al., 2020), aunque esta combinación pudiera parecer razonable y estar justificada para intentar minimizar la fatiga periférica acumulada entre series y ejercicios y mantener altos niveles de fuerza, velocidad y potencia con el fin de mejorar la fuerza. Además, aunque se haya estudiado mucho menos, es probable que también pudiera haber otras ventajas de la agrupación de ejercicios para justificar este tipo de configuraciones de las series, como un mayor gasto energético en la unidad de tiempo y un mayor exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio (Kelleher et al., 2010; Realzola et al., 2021). Aún así, hay muy poca investigación que compare el verdadero efecto sobre la función neuromuscular de realizar series emparejadas entre ejercicios después de un programa/intervención de entrenamiento (Merrigan et al., 2019; Robbins et al., 2009), pese a que la combinación de series entre parejas de ejercicios que involucren distintos grupos musculares sea una práctica habitual en diferentes contextos de entrenamiento (i.e., centros de fitness, clubes deportivos, clínicas de rehabilitación).

Al mismo tiempo, la mayoría de esos estudios han utilizado el número máximo de repeticiones que se pueden realizar con un peso submáximo dado (i.e., 8RM, 10RM) como criterio para determinar la carga relativa y prescribir el entrenamiento, por lo tanto, realizando cada serie hasta o próximo al fallo muscular (Robbins et al., 2009; Robbins et al., 2010a; Robbins et al., 2010b). Sin embargo, la gran variabilidad entre sujetos (coeficiente de variación ~15-20%) en el número máximo de repeticiones que se pueden completar hasta el fallo contra diferentes %1RM ha sido suficientemente informado en la literatura (González-Badillo et al., 2017; Richens y Cleather, 2014; Rodríguez-Rosell et al., 2020; Sánchez-Moreno et al., 2021). Asimismo, otros de estos estudios han utilizado un %1RM para la determinación de la intensidad relativa y la dosificación del entrenamiento (Merrigan et al., 2019; Weakley et al., 2017). No obstante, este procedimiento también tiene limitaciones importantes, como la exigencia de los test de 1RM, que se consume mucho tiempo e interfiere en el propio entrenamiento, y que el valor real de 1RM puede fluctuar diariamente o cambiar a lo largo de un programa de entrenamiento, lo que significa que las intensidades relativas (%1RM) realmente utilizadas no se corresponde con el %1RM programado (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010).

Por consiguiente, y en base a la laguna detectada en la literatura científica, junto con las limitaciones metodológicas mencionadas de las investigaciones previas, se requieren investigaciones experimentales para averiguar el efecto sobre el rendimiento neuromuscular de realizar series alternas emparejadas entre ejercicios para extremidades opuestas y alejadas del fallo muscular y, además, se afronte sobre la base de una metodología que utilice la velocidad de ejecución para el control de la carga del entrenamiento. Igualmente, aunque se crea que la configuración tradicional de las series pueda ser más beneficiosa cuando los objetivos del entrenamiento son maximizar la velocidad y la potencia (Weakley et al, 2017), se desconoce si una configuración de series alternas con ejercicios que impliquen extremidades opuestas (i.e., grupos musculares de la parte superior e inferior del cuerpo) puede ser más, igual o menos eficaz para el desarrollo de la fuerza tras una intervención de entrenamiento de varias semanas.

Por lo tanto, parece existir una falta de conocimiento en torno a esta problemática, dándose las condiciones necesarias para justificar la formulación de al menos los siguientes problemas de investigación:

## *Planteamiento del Problema y Propósito de la Investigación*

---

- 1) ¿Cuál es el efecto agudo y crónico de un entrenamiento realizado mediante la realización de series alternas/emparejadas entre ejercicios que implican regiones musculares distales entre sí sobre el rendimiento neuromuscular y ante distintos grados de esfuerzo (intensidades y/o pérdidas de velocidad en la serie)?
- 2) ¿Qué diferencias en las respuestas agudas y crónicas pueden darse sobre el rendimiento neuromuscular entre una configuración de las series tradicional y alterna realizando ejercicios que impliquen regiones musculares distales entre sí en la misma sesión?

# **5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**



## 5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La problemática planteada se abordó a través de dos estudios parciales y dio lugar a los objetivos que se describen a continuación:

**Objetivo general:** *Analizar y comparar el efecto de la realización de series tradicionales versus series alternas emparejadas entre ejercicios para extremidades opuestas sobre el rendimiento neuromuscular.*

### Objetivos específicos:

- 1) Comparar la respuesta aguda sobre la velocidad de ejecución de la barra entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series en los ejercicios de sentadilla completa y press de banca ante diferentes cargas relativas y un grado moderado-bajo de fatiga en la serie (Estudio 1).
  - 2) Comparar la respuesta aguda sobre el número de repeticiones entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series en los ejercicios de sentadilla completa y press de banca ante diferentes cargas relativas y un grado moderado-bajo de fatiga en la serie (Estudio 1).
  - 3) Comparar el efecto crónico sobre el rendimiento neuromuscular (fuerza muscular, resistencia muscular y capacidad de salto vertical) entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series en los ejercicios de sentadilla completa y press de banca tras un programa de entrenamiento idéntico (Estudio 2).
  - 4) Comparar el tiempo invertido por sesión ante un mismo volumen de entrenamiento realizado entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series realizando los ejercicios de sentadilla completa y press de banca (Estudio 1 y 2).
- **Estudio 1:** Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de extremidades opuestas versus series tradicionales sobre la velocidad de la barra y el volumen.
  - **Estudio 2:** Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus series tradicionales para inducir mejoras crónicas en el rendimiento neuromuscular.





# **6. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN**



## 6. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

Los trabajos de investigación que han estudiado el efecto que se produce por la realización de series alternas entre diferentes emparejamientos o combinaciones de ejercicios de entrenamiento de la fuerza sobre indicadores de rendimiento neuromuscular de tipo mecánico (i.e., fuerza, velocidad, potencia) son escasos (Baker y Newton, 2005; Ciccone et al., 2014; Robbins et al., 2010c; Weakley et al., 2017; Weakley et al., 2020). Al mismo tiempo, las conclusiones que alcanzan esos estudios son limitadas e inconsistentes, en gran medida debido a la manipulación y control impreciso de algunas de las variables que definen los protocolos de entrenamiento utilizados (intensidad, volumen y tiempo de recuperación entre series). Por ejemplo, Baker y Newton (2005) encontraron que realizar consecutivamente sin descanso el ejercicio de press de banca y remo tumbado supuso un incremento agudo de la potencia media en el primer ejercicio. Si bien ambos ejercicios se ejecutaron a máxima velocidad en la acción concéntrica, realizando 5 repeticiones para el ejercicio de press de banca con 40 kg y 8 repeticiones para el remo tumbado con una carga relativa equivalente al 50%, haber utilizado en el press de banca una carga absoluta idéntica para todos los sujetos no permite igualar el grado de esfuerzo utilizado entre los mismos.

Por otro lado, cuando se revisan algunos estudios que han emparejado ejercicios en series alternas que implican grupos musculares antagonistas se observa que la “pre-activación” de forma dinámica no conlleva mejora aguda del rendimiento neuromuscular (e.g., potencia, torque, RFD) del segundo ejercicio (Maia et al., 2015; Maynard y Ebben, 2003; Paz et al., 2013). También, cuando se “pre-fatiga” el mismo grupo muscular hasta el fallo muscular con un ejercicio monoarticular se suele perjudicar el rendimiento del segundo ejercicio multiarticular y disminuir o no modificar el reclutamiento de la musculatura agonista, aunque podría incrementar la activación muscular sinergista o auxiliar (Augustsson et al., 2003; Brennecke et al., 2009; Brentano et al., 2017; Gentil et al., 2007; Golás et al., 2017; Ribeiro et al., 2019; Silva et al., 2018; Soares et al., 2016). Por el contrario, algunos estudios han observado que cuando la “pre-fatiga” muscular generada con el primer ejercicio monoarticular está alejada del fallo muscular se puede incrementar la activación muscular agonista del ejercicio multiarticular realizado a continuación (Júnior et al., 2010; Pirauá et al., 2017). Esta última circunstancia hace plantearnos nuevas hipótesis en las que se considere un entrenamiento con un grado

## *Hipótesis de Investigación*

---

de fatiga moderado o bajo en la serie (i.e., alejado del fallo muscular) alternando la realización de las series entre ejercicios que no involucren los mismos grupos musculares agonistas entre sí (e.g., sentadilla y press de banca).

Por tanto, a la vista de estos resultados, existe la posibilidad de que ante una determinada intensidad relativa y volumen (i.e., número de repeticiones) que suponga un grado de esfuerzo moderado-bajo en la serie, el efecto del entrenamiento sobre el rendimiento neuromuscular pudiera ser semejante entre la realización alterna y tradicional de un número reducido de series y ejercicios, pero con la ventaja del ahorro de tiempo concomitante en la sesión que supone la configuración alterna de las series. En este sentido, no conocemos estudios que se hayan planteado analizar conjuntamente: (1) el emparejamiento de ejercicios diferentes que involucren grupos musculares de las extremidades superiores e inferiores en series alternas, (2) aplicando una metodología que utilice la velocidad de ejecución para el control de la carga del entrenamiento (volumen e intensidad), es decir, el VBRT, (3) induciendo un grado de fatiga entre moderado y bajo en cada serie, es decir, finalizando cada serie mucho antes de llegar al fallo muscular, y (4) analizando el efecto agudo y crónico mediante una amplia variedad de variables del rendimiento físico. Así, según los argumentos expuestos, se formulan las siguientes hipótesis:

**Hipótesis 1 (Estudio 1):** *La realización de series de manera alterna entre ejercicios que impliquen extremidades opuestas (sentadilla y press de banca) no afectará a la velocidad de ejecución y las repeticiones por serie en comparación con una configuración tradicional de las series cuando el grado de fatiga inducido en la serie sea moderado-bajo.*

**Hipótesis 2 (Estudio 2):** *La realización de series de manera alterna entre ejercicios que impliquen extremidades opuestas (sentadilla y press de banca) durante un ciclo de entrenamiento producirá efectos similares sobre el rendimiento neuromuscular que una configuración tradicional de las series cuando el grado de fatiga inducido en la serie sea moderado-bajo.*

# **RESULTADOS**



## **7. RESULTADOS. ESTUDIO 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de extremidades opuestas versus series tradicionales sobre la velocidad de la barra y el volumen**

---

## **ESTUDIO 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de extremidades opuestas versus series tradicionales sobre la velocidad de la barra y el volumen**

### **7.1. Metodología**

#### **7.1.1. Tipo de investigación**

La metodología del estudio queda determinada por el *tipo de investigación* que se pretende hacer, y más concretamente por los *objetivos* buscados, la *naturaleza* de las variables y el *nivel de control* que se ejerce sobre las mismas.

- Por las características de los datos es una investigación *cuantitativa*.
- Por el grado de manipulación de las variables independientes, los objetivos del estudio, y la técnica de distribución de la muestra (no-aleatoria) es una investigación *cuasi-experimental*. En este estudio existen distintas variables independientes (tipo de ejercicios y configuración de las series, carga relativa, pérdida de velocidad en la serie, etc.) y dependientes (promedio de velocidad, promedio de repeticiones por serie, tiempo invertido por sesión, etc.).
- Investigación de carácter *transversal*, ya que se analizó la relación entre los datos sincrónicamente, en un momento determinado, y no se consideró los posibles cambios que pudieran producirse en el tiempo.

#### **7.1.2. Diseño del estudio**

Se utilizó un diseño de investigación transversal para comparar el efecto agudo sobre la velocidad de ejecución y el volumen entre dos protocolos que solo se diferenciaron en la configuración/estructuración en la que se realizaron las series de los ejercicios de sentadilla completa (SQ) y press de banca (PB) en máquina Smith: el grupo de series tradicionales (ST), que realizó primeramente todas las series del ejercicio de SQ y posteriormente todas las series de PB, y el grupo de series alternas (SA), que realizó los ejercicios de SQ y PB sucesivamente de manera alterna (**Figura 5**). Para ambos grupos experimentales se estableció el mismo intervalo de recuperación entre series para cada ejercicio. Asimismo, solo para el grupo de SA, se estableció un intervalo de



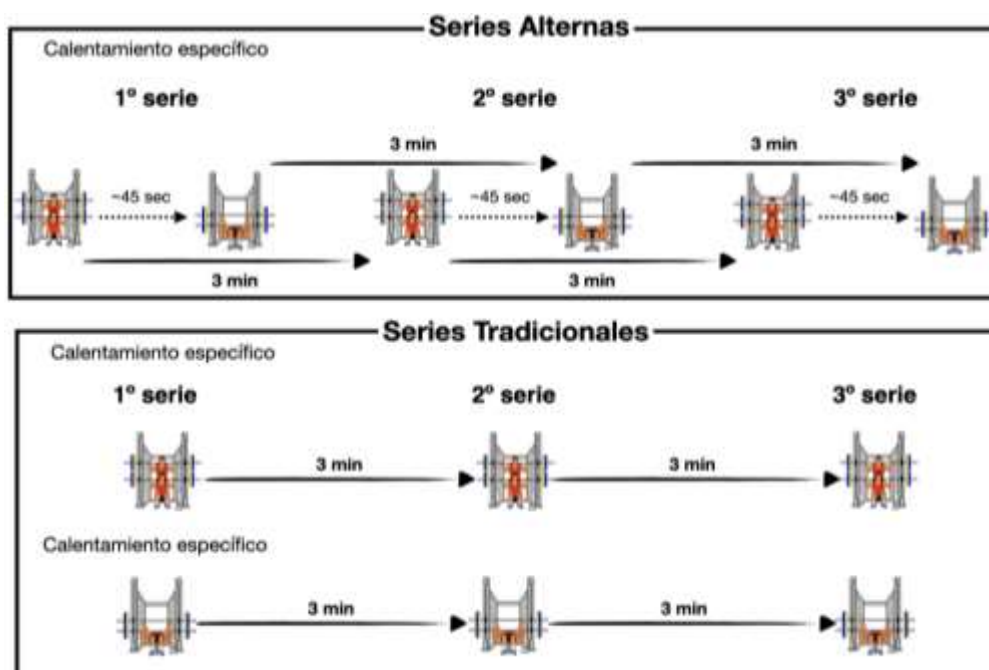
descanso de ~45 s entre la finalización de cada serie del ejercicio de SQ y la serie posterior del ejercicio de PB.

Para el propósito del estudio, ambos grupos completaron 4 sesiones de evaluación, con 72-96 horas de diferencia, incrementando la carga relativa en un 5% a lo largo de cada sesión y utilizando la/el misma/o: 1) magnitud de carga relativa (55-70% 1RM) en cada ejercicio; 2) magnitud de la pérdida de velocidad (%PV) en cada serie (15% y 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente); 3) orden de los ejercicios (el ejercicio de SQ seguido de PB); 4) número de series por ejercicio (tres); y 5) recuperación entre series (3 min).

Dos semanas antes de la primera sesión de evaluación, todos los sujetos se sometieron a tres sesiones de familiarización ( $\geq 48$  horas de diferencia) donde recibieron instrucciones sobre la técnica de ejecución de cada ejercicio (e.g., posición inicial y final, y levantamiento de la carga a velocidad máxima). Durante este período, los sujetos también realizaron un test incremental de cargas progresivas en los ejercicios de SQ y PB para la estimación individual de la 1RM (descrito más adelante en el Estudio 2: Procedimiento de evaluación) con el fin de describir las características de la muestra y distribuir los grupos homogéneamente. Se pidió a los sujetos que se abstuvieran de cualquier otro tipo de actividad física extenuante, entrenamiento físico o competición deportiva durante la duración de la investigación. Cada sesión de evaluación se llevó a cabo en un laboratorio de investigación bajo la supervisión directa de dos investigadores experimentados, en la misma franja horaria ( $\pm 1.5$  horas) para cada sujeto y en condiciones ambientales similares (21-24 °C y 55- 62% de humedad).

**Figura 5**

*Representación esquemática del protocolo de entrenamiento para series alternas (panel superior) y series tradicionales (panel inferior).*



*Nota:* Se estableció un intervalo de descanso de ~45 s entre la finalización de cada serie del ejercicio de SQ y la siguiente serie de PB para el grupo de series alternas. Este intervalo era utilizado por los asistentes para ajustar individualmente la carga absoluta adecuada en PB y colocar el banco en la máquina Smith.

### **7.1.3. Muestra**

Para la realización de este estudio se contó con una muestra de 19 hombres jóvenes físicamente activos y moderadamente entrenados en fuerza (estudiantes universitarios). Para poder tomar parte en esta investigación, dichos sujetos debieron cumplir los siguientes requisitos: 1) tener experiencia en el entrenamiento de fuerza de forma sistemática durante, al menos, los últimos 12 meses, un mínimo de 2 veces por semana; 2) manifestar que no padecen ninguna enfermedad o problema de salud conocidos que pudiera suponer un riesgo ante el esfuerzo físico intenso (i.e., disfunción renal, anomalías cardíacas, enfermedades respiratorias o metabólicas; patologías osteoarticulares, etc.); 3) estar familiarizados con la realización de los ejercicios de press de banca y sentadilla completa; 4) y no realizar ningún tipo de actividad o entrenamiento físico intenso durante la duración del estudio. Además, los sujetos debieron manifestar no haber tomado ningún tipo de sustancia que pudiera alterar su rendimiento físico o balance hormonal durante varios meses antes o durante el estudio. Una vez seleccionados los sujetos que cumplieron con los requisitos de inclusión, se les informó

del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, para que dieran su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado que se adjunta en el ANEXO I, antes de tomar parte en el estudio, el cual fue aprobado por la Comisión Ética de la Universidad de Murcia.

La técnica de muestreo empleada fue no probabilística por conveniencia y accesibilidad (Azorín y Sánchez-Crespo, 1994) en función de su fuerza relativa (1RM (kg)/masa corporal (kg)), promediando el rendimiento entre cada uno de los dos ejercicios tras la realización de los tests iniciales. Una vez hecho esto, se pudieron conformar cada uno de los grupos experimentales de la forma más homogénea posible: series tradicionales (ST) y series alternas (SA). La distribución muestral se realizó de tal manera que en cada grupo hubiera un espectro similar de niveles de fuerza relativa entre los sujetos (1RM/masa corporal: entre 1.71 y 0.91). Tras la distribución de los sujetos, el ST quedó constituido por 10 sujetos y el SA por 9. Las características de los sujetos se muestran en la **Tabla 4**.

**Tabla 4**

*Promedios y desviación típica de los datos descriptivos de la muestra de población de estudio*

N	Edad (años)	Peso corporal (kg)	Altura (m)	1RM (kg) sentadilla	1RM (kg) press de banca
19	24.0 ± 5.0	73.1 ± 9.5	1.73 ± 0.08	93.6 ± 19.1	72.4 ± 12.4

#### **7.1.4. Variables dependientes e independientes**

Las principales variables utilizadas en el Estudio 1 fueron las siguientes:

Variables independientes:

- Ejercicios de entrenamiento y secuencia/orden de realización.
- Configuración/estructuración de las series.
- Intensidad relativa (%1RM), controlada a través de la velocidad media propulsiva (VMP) de la primera repetición (o más rápida) de la primera serie.
- Grado de fatiga intra-serie, controlado a través del porcentaje de pérdida de velocidad media propulsiva (VMP) en la serie (100 x (VMP última rep. – VMP primera rep.)/VMP primera rep.).
- Intervalo de recuperación entre series y ejercicios.

## Estudio 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de...

VARIABLES DEPENDIENTES:

- Promedio de la VMP primera repetición ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) entre todas las series.
- Promedio y total de repeticiones realizadas entre todas las series.
- Número de repeticiones realizadas a diferentes rangos de velocidad.
- Diferencias entre series en la VMP primera repetición ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y número de repeticiones.
- Tiempo invertido en realizar cada sesión.

### **7.1.5. Control de variables intervinientes**

En un estudio de estas características, las posibles variables extrañas o contaminantes que pudieran interferir en los resultados hacen referencia a:

- Validez del dispositivo medidor de velocidad (T-Force), y su correcta instalación y calibración según el fabricante.
- Ejecución técnica de los ejercicios (nivel de experiencia del sujeto) y familiarización y cumplimiento del protocolo de evaluación que se aplica como test.
- Condiciones ambientales y horario de las sesiones de evaluación.
- Estado físico de los sujetos: descanso nocturno, ausencia de práctica física intensa previa, alimentación, etc.
- Sexo de los sujetos, todos hombres.

### **7.1.6. Instrumental**

*Máquina Smith* (Multipower, Technogym, EEUU)

Modelo sin ningún mecanismo de contrapeso, y a cuyo extremo derecho de la barra se fijaba el cable extensible del transductor lineal de velocidad en la proyección vertical de la barra. A pesar de que la máquina Smith restringe el movimiento a solo el plano vertical, su utilización proporciona mediciones más consistentes y seguras (Pallarés et al., 2014). Su utilización está justificada en base a que los datos derivados de oscilaciones horizontales de la barra pueden modificar los datos y alterar la precisión de la evaluación de la velocidad vertical (Cormie et al., 2007).

**Figura 6**

*Máquina Smith (Multipower, Technogym). Transductor lineal de velocidad (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech Consulting S.L, Murcia, España)*



*Transductor lineal de velocidad (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech Consulting S.L, Murcia, España)*

Este sistema está basado en un transductor lineal-tacogenerador de alta precisión- (*V Series*, Unimeasure, Corvalis, E.E.U.U) que realiza una medición directa de la velocidad de desplazamiento vertical a la que se extiende o retrae el cable extensible que tiene incorporado. Un software desarrollado a medida distingue automáticamente las distintas repeticiones y fases (excéntrica/concéntrica) dentro de cada ejecución (versión 3.70), permitiendo registrar múltiples series de ejercicio y controlar el entrenamiento de varios deportistas a la vez. El 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 convertor 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, esto es, se recoge un dato de velocidad cada milisegundo. El software del dispositivo tiene incorporado el cálculo de la fase propulsiva del movimiento. Estudios recientes han mostrado que este dispositivo es una tecnología extremadamente fiable para utilizarse con fines relacionados con el entrenamiento basado en el control de la velocidad, habiendo mostrado los registros más precisos a lo largo de un amplio rango de velocidades medias (desde  $0.2$  a  $2.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) en comparación con otros transductores lineales de posición, unidades basadas en acelerometría o aplicaciones de teléfonos móviles (Courel-Ibáñez et al., 2019; Martínez-Cava et al., 2020).

**Figura 7**

*Transductor lineal de velocidad por cable (T-Force Dynamic Measurement System)*



**7.1.7. Análisis antropométrico**

Con el propósito de describir adecuadamente la muestra, durante la última sesión de familiarización de este estudio se realizó una simple evaluación antropométrica a cada sujeto. Los sujetos estuvieron descalzos y con la menor ropa posible durante estas mediciones, las cuales se realizaron por duplicado. Las variables determinadas fueron: 1) Masa corporal (kg): se pesó a los participantes colocándolos en posición erecta, en el centro de una báscula de precisión (OMRON Healthcare BF 511 Co., Ltd., Kioto, Japón); 2) Talla (m): determinada como la distancia entre el vértex y las plantas de los pies. Se midió con los sujetos descalzos, en bipedestación, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro (Seca 220, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania).

**7.1.8. Procedimiento de evaluación (sesiones de evaluación y registro)**

Cada sesión de evaluación con cada uno de los protocolos (ST y SA) se llevó a cabo bajo la supervisión de dos investigadores especialistas en entrenamiento de la fuerza, en la misma franja horaria del día y en condiciones ambientales similares.

Las características descriptivas de las cargas de entrenamiento utilizadas en cada sesión de evaluación se presentan en la **Tabla 5** (ejercicio de SQ) y **Tabla 6** (ejercicio de PB). Las sesiones se realizaron en una máquina Smith y todas las repeticiones se midieron y registraron utilizando el transductor lineal de velocidad (descritos previamente en el apartado sobre Instrumental). Todas las medidas de velocidad utilizadas en este estudio correspondieron a la velocidad media de la fase propulsiva

(VMP) de cada repetición, definida como la porción o segmento de la fase concéntrica durante la cual la aceleración de la barra es mayor que la aceleración debida a la gravedad ( $a \geq -9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ) (Sánchez-Medina et al., 2010).

Para el propósito del estudio todos los sujetos completaron 4 sesiones de evaluación con 72-96 horas de diferencia, aumentando las cargas a lo largo de cada sesión (55%, 60%, 65% y 70% 1RM) y realizando el ejercicio de SQ antes del PB. Las variables de entrenamiento, incluyendo las cargas relativas (55-70% 1RM), el número de series (3), la magnitud de PV en la serie (15% y 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente) y el tiempo de recuperación entre series (3 min) fueron idénticas para las dos condiciones experimentales durante cada sesión de evaluación. La única diferencia entre ambos grupos fue la configuración (estructuración) de las series entre ejercicios: de manera tradicional o alterna. Se utilizó ese rango de intensidades relativas moderadas (55-70% 1RM) porque se consideran cargas de entrenamiento adecuadas para mejorar el rendimiento en acciones de alta velocidad (i.e., saltos y sprints) (Franco-Márquez et al., 2015; González-Badillo et al., 2015).

Durante todas las sesiones de evaluación, los sujetos recibieron retroalimentación inmediata sobre la velocidad de la barra mientras se les animaba a realizar cada repetición durante la acción concéntrica a la máxima velocidad intencionada (i.e., lo más rápido posible). Antes de cada sesión, los sujetos de ambos grupos realizaron un calentamiento general estandarizado, que consistió en 5 min de trote a un ritmo fácil autoseleccionado, ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos, y un protocolo de calentamiento específico de i) una serie de 8 repeticiones a velocidad moderada (con 25 kg para el ejercicio de SQ y PB), ii) una serie de 5 repeticiones a alta velocidad (con 25 kg para el ejercicio de SQ y PB), y iii) una serie de 2-3 repeticiones a la velocidad máxima intencionada (contra la carga absoluta propuesta que mejor se ajustara con la VMP programada para el ejercicio de SQ y PB), con 2 min de descanso entre series.

Dado que el programa de entrenamiento se realizó utilizando una metodología basada en el control de la velocidad, la individualización de la carga relativa (% 1RM) para cada sesión de evaluación se determinó a partir de la relación general carga-velocidad para el ejercicio de SQ (Sánchez-Medina et al., 2017) y el ejercicio de PB (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). Por lo tanto, se utilizó una velocidad objetivo a alcanzar en la primera repetición (generalmente la más rápida) de la primera serie de cada sesión como indicativa de la carga relativa para todos los sujetos. Estas VMP fueron:  $1.07 \text{ m} \cdot$

### Estudio 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de...

$s^{-1}$  (~55% 1RM),  $1.00 \text{ m} \cdot s^{-1}$  (~60% 1RM),  $0.92 \text{ m} \cdot s^{-1}$  (~65% 1RM), y  $0.84 \text{ m} \cdot s^{-1}$  (~70% 1RM) para el ejercicio de SQ, y  $0.87 \text{ m} \cdot s^{-1}$  (~55% 1RM),  $0.78 \text{ m} \cdot s^{-1}$  (~60% 1RM),  $0.70 \text{ m} \cdot s^{-1}$  (~65% 1RM), y  $0.62 \text{ m} \cdot s^{-1}$  (~70% 1RM) para el ejercicio de PB. En consecuencia, antes de comenzar la primera serie en cada sesión y después del calentamiento específico, se hacían ajustes individualmente en la carga propuesta (kg) cuando era necesario para que la VMP de la primera repetición coincidiera con la VMP objetivo y asociada al %1RM que estaba programada para esa sesión ( $\pm 0.03 \text{ m} \cdot s^{-1}$ ). Se utilizó un rango de  $\pm 0.03 \text{ m} \cdot s^{-1}$  ya que recientemente se ha demostrado que es el cambio más pequeño detectable en VMP cuando se utiliza el transductor lineal de velocidad T-Force (Courel-Ibáñez et al., 2019). Los ajustes de la carga absoluta (kg) para la primera serie eran decididos in situ por los supervisores de la investigación. Una vez que la carga (kg) era ajustada para la primera serie, esta misma se mantenía durante las tres series programadas.

El volumen (número de repeticiones) a realizar en cada serie de los ejercicios se determinó objetivamente mediante la magnitud (porcentaje) de PV alcanzada en la serie (Rodríguez-Rosell et al., 2020a), de modo que cada serie terminaba en cuanto se alcanzaba el límite prescrito de %PV, independientemente del número de repeticiones completadas por cada participante (Pareja-Blanco et al. 2017; Rodríguez-Rosell et al., 2020b; Rodríguez-Rosell et al., 2021a). Se establecieron unas magnitudes fijas de PV intra-serie para todas las sesiones con el propósito de proporcionar un nivel homogéneo de esfuerzo o fatiga entre los sujetos al final de cada serie (González-Badillo et al., 2017b). Se utilizó un %PV moderado (15% vs. 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente) por representar un grado moderado de fatiga inducida en la serie (i.e., menos de la mitad del número máximo de repeticiones que se pueden realizar en una serie al fallo) (González-Badillo et al., 2017b), y las magnitudes de %PV escogidas para cada ejercicio fueron distintas para igualar el mismo porcentaje de repeticiones por serie completado con respecto al máximo de repeticiones posibles frente a cada carga relativa (Rodríguez-Rosell et al., 2020a).



**Tabla 5**

*Características descriptivas del protocolo de evaluación basado en el control de la velocidad en sentadilla realizado por ambos grupos experimentales*

Entrenamiento programado	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Promedio
VMP objetivo (m·s <sup>-1</sup> )	1.07 (~55% 1RM)	1.00 (~60% 1RM)	0.92 (~65% 1RM)	0.84 (~70% 1RM)	0.96 (62.5%)
Series x PV (%)	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%
Entrenamiento realizado					
VMP <sub>PRIMERA</sub> (m·s <sup>-1</sup> )					Promedio
ST	1.06 ± 0.03 (~56.2% 1RM)	0.98 ± 0.03 (~61.5% 1RM)	0.89 ± 0.03 (~67.3% 1RM)	0.82 ± 0.02 (~71.3% 1RM)	0.94 ± 0.03 (64.0% 1RM)
SA	1.04 ± 0.03 (~57.6% 1RM)	1.00 ± 0.04 (~60.6% 1RM)	0.89 ± 0.01 (~67.2% 1RM)	0.81 ± 0.03 (~72.0% 1RM)	0.93 ± 0.03 (64.3% 1RM)
PV intra-serie (%)					Promedio
ST	16.8 ± 1.3	17.3 ± 2.1	16.0 ± 0.9	16.2 ± 1.2	16.6 ± 1.4
SA	17.8 ± 1.2	17.6 ± 2.4	15.5 ± 1.1	16.3 ± 1.2	16.8 ± 1.5
Reps por serie (#)					Total
ST	11.1 ± 2.5	8.4 ± 3.7	6.1 ± 2.9	4.7 ± 1.1	30.3 ± 2.8
AS	8.0 ± 1.8	6.6 ± 2.8	5.4 ± 1.7	4.2 ± 1.1	24.4 ± 1.7

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. VMP: velocidad media propulsiva alcanzada contra la carga prevista (%1RM); PV: pérdida de velocidad; Reps por serie: número de repeticiones realizadas; VMP<sub>PRIMERA</sub>: velocidad media propulsiva de la repetición más rápida (normalmente la primera) de la serie. La VMP realizada, las pérdidas de velocidad y las repeticiones por serie presentadas son resultado de la media entre las tres series. ST: Grupo de series tradicionales. SA: Grupo de series alternas. Diferencias estadísticamente significativas con respecto a: \*Grupo ST ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 6**

*Características descriptivas del protocolo de evaluación basado en el control de la velocidad en press de banca realizado por ambos grupos experimentales*

Entrenamiento programado	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Promedio
VMP objetivo (m·s <sup>-1</sup> )	0.87 (~55% 1RM)	0.78 (~60% 1RM)	0.70 (~65% 1RM)	0.62 (~70% 1RM)	0.74 (62.5%)
Series x PV (%)	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%
Entrenamiento realizado					
VMP <sub>PRIMERA</sub> (m·s <sup>-1</sup> )					Promedio
ST	0.85 ± 0.02 (~56.0% 1RM)	0.77 ± 0.03 (~60.4% 1RM)	0.69 ± 0.02 (~65.6% 1RM)	0.61 ± 0.01 (~70.7% 1RM)	0.73 ± 0.02 (63.2%)
SA	0.84 ± 0.03 (~56.3% 1RM)	0.76 ± 0.02 (~61.2% 1RM)	0.68 ± 0.02 (~66.2% 1RM)	0.60 ± 0.02 (~71.0% 1RM)	0.72 ± 0.02 (63.7%)
PV intra-serie (%)					Promedio
ST	23.2 ± 1.6	21.8 ± 1.8	20.4 ± 1.2	21.1 ± 2.3	21.6 ± 1.7
SA	22.2 ± 2.5	22.7 ± 1.9	20.5 ± 1.9	20.5 ± 1.8	21.4 ± 2.0

## Estudio 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de...

Reps por serie (#)					Total
ST	9.7 ± 3.5	6.9 ± 2.1	5.6 ± 1.3	4.3 ± 0.7	26.4 ± 2.3
AS	8.4 ± 1.5	7.8 ± 1.7	5.6 ± 1.2	4.3 ± 0.8	26.0 ± 1.9

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. VMP: velocidad media propulsiva alcanzada contra la carga prevista (%1RM); PV: pérdida de velocidad; Repeticiones por serie: número de repeticiones realizadas; VMP<sub>PRIMERA</sub>: velocidad media propulsiva de la repetición más rápida (normalmente la primera) de la serie. La VMP realizada, las pérdidas de velocidad y las repeticiones por serie presentadas son resultado de la media entre las tres series. ST: Grupo de series tradicionales. SA: Grupo de series alternas. Diferencias estadísticamente significativas con respecto a: \*Grupo ST ( $p < 0.05$ ).

### **7.1.9. Ejecución técnica de los ejercicios**

Una descripción del protocolo del test de cargas progresivas se ha detallado en el Estudio 2 y ha sido previamente descrito para ambos ejercicios en otros estudios previos (Pallarés et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2017). Se emplea la misma técnica de ejecución reproducida con exactitud a lo largo de cada sesión de evaluación y que se explica a continuación.

Para el ejercicio de SQ, los sujetos comenzaron desde la posición erguida con las rodillas y las caderas completamente extendidas, con la separación de los apoyos en el suelo a la anchura de los hombros y la barra apoyada sobre la espalda al nivel del acromion. Los sujetos descendían en un movimiento continuo hasta que la parte superior de los muslos pasara por debajo del plano horizontal (suelo), con los muslos posteriores y las pantorrillas haciendo contacto entre sí, para a continuación invertir inmediatamente el movimiento y ascender de nuevo a la posición erguida. Los sujetos debían ejecutar la fase concéntrica de cada repetición a la máxima velocidad intencionada sin realizar ninguna parada entre la acción excéntrica y concéntrica, mientras que la fase excéntrica que se realizaba a una velocidad controlada (rango: 0.50-0.65 m · s<sup>-1</sup>). También se solicitó a los sujetos que mantuvieran los pies en contacto con el suelo (es decir, sin saltar), aunque los talones podían levantarse ligeramente.

Para el ejercicio de PB, los sujetos también fueron instruidos para ejecutar la acción excéntrica de cada repetición a una velocidad controlada y realizar una parada/pausa momentánea (~1 s) de la barra, apoyándola sobre los soportes laterales de la máquina Smith a 1-2 cm del pecho, en la transición entre la fase excéntrica y concéntrica para minimizar la contribución del ciclo estiramiento-acortamiento y permitir una mayor reproducibilidad de las medidas (Pallarés et al., 2014). A continuación de haber realizado la parada momentánea, se les daba la instrucción de empujar la barra a la

máxima velocidad posible. En este ejercicio, los pies se colocaron sobre el banco para evitar el arqueamiento lumbar y las manos agarraban la barra con una separación ligeramente superior a la anchura de los hombros (5-7 cm). La posición del banco se ajustó para que la proyección vertical de la barra coincidiera con la línea intermamaria de cada sujeto.

#### **7.1.10. Análisis de datos**

Los datos descriptivos se presentan en medias (M) y desviaciones típicas (DT). La normalidad de la distribución de los datos se examinó con la prueba de Shapiro-Wilk por ser la prueba más potente para detectar la normalidad en muestras de naturaleza variable y menor a 50 participantes (Steinskog et al., 2007). La homogeneidad de la varianza entre grupos (ST vs. SA) se verificó con la prueba de Levene. En el caso de presentar distribución normal, las diferencias en las variables evaluadas (VMP de la primera repetición, %PV en la serie y número de repeticiones realizadas a diferentes rangos de velocidad) entre los grupos para cada sesión se examinaron utilizando una prueba *t* de Student para variables independientes. Los datos que mostraron una distribución no normal, se les aplicó la prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes (Berlanga y Hurtado, 2012). Las diferencias entre series entre cada grupo en la VMP y en el número de repeticiones se evaluaron utilizando una ANOVA factorial de medidas repetidas de 3 (series: 1º vs. 2º vs. 3º) × 2 (grupo: ST vs. SA) con un ajuste Bonferroni para cada sesión (i.e., carga relativa o %1RM). La significación estadística se aceptó con  $p < 0.05$ . La prueba de hipótesis nula se realizó utilizando el software SPSS versión 25.0 (SPSS, Chicago, IL).

## **7.2. Resultados**

Se presentan a continuación las diferencias entre el grupo ST y SA en las variables derivadas del entrenamiento realizado y en las variables analizadas del rendimiento neuromuscular para ambos ejercicios se muestran de la **Tabla 5** a la **Tabla 10**.

### **7.2.1. Sobre las variables derivadas del análisis del entrenamiento realizado**

*Velocidad de ejecución (VMP<sub>PRIMERA</sub>) y magnitud de pérdida de velocidad intra-serie (%PV)*

### Estudio 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de...

Tanto la VMP de la repetición más rápida (i.e., la carga relativa, %1RM) como el %PV realizados durante las tres series coincidieron estrechamente con lo programado para cada sesión de evaluación y ejercicio en ambos grupos (**Tabla 5** y **Tabla 6**). En consecuencia, no se observaron diferencias significativas en el %PV promedio de las tres series de todas las sesiones entre ambos grupos tanto en el ejercicio de SQ ( $16.6 \pm 1.4\%$  y  $16.8 \pm 1.5\%$  para el grupo ST y SA, respectivamente) como en el ejercicio de PB ( $21.6 \pm 1.7\%$  y  $21.4 \pm 2.0\%$  para el grupo ST y SA, respectivamente).

#### *Tiempo total de entrenamiento por sesión*

Las diferencias entre los grupos en el tiempo total de entrenamiento completado por sesión, incluyendo el calentamiento estandarizado, revelaron una duración total significativamente más corta ( $p < 0.001$ ) para el grupo SA ( $24.0 \pm 2.1$  min) que para el grupo ST ( $41.2 \pm 2.1$  min).

#### **7.2.2. Sobre las variables mecánicas de rendimiento neuromuscular**

##### *Velocidad de ejecución (VMP<sub>PRIMERA</sub>)*

No se observaron diferencias significativas entre los grupos en la VMP de la primera repetición (promedio de las tres series) en ninguna sesión de evaluación ni ejercicio (**Tabla 5** y **Tabla 6**). Por tanto, los sujetos de ambos grupos (ST y SA) ejecutaron las repeticiones a la misma VMP promediada de todas las sesiones de evaluación ( $0.94 \pm 0.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  vs.  $0.93 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en el ejercicio de SQ y  $0.73 \pm 0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  vs.  $0.72 \pm 0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en PB, respectivamente).

##### *Volumen (número de repeticiones)*

No se observaron diferencias significativas en el número de repeticiones por serie (promedio de las tres series) para ninguna carga relativa y ejercicio (**Tabla 5** y **Tabla 6**). Las comparaciones del número total de repeticiones promedio por serie en el ejercicio de SQ mostraron que el grupo ST realizó un mayor número de repeticiones, aunque no estadísticamente significativo, que el grupo SA ( $30.3 \pm 2.8$  vs.  $24.4 \pm 1.7$ , respectivamente). Sin embargo, ambos grupos experimentales completaron un número total muy similar de repeticiones promedio por serie en PB ( $26.4 \pm 2.3$  vs.  $26.0 \pm 1.9$  para el grupo ST y SA, respectivamente).

Respecto al número de repeticiones realizadas en los diferentes rangos de velocidad en el ejercicio de SQ (**Tabla 7**), el grupo ST completó un mayor número de repeticiones a velocidades más rápidas ( $VMP > 0.90-1.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y un número más alto de repeticiones totales que el grupo SA ( $90.8 \pm 27.0$  vs.  $73.1 \pm 18.1$ ,  $p < 0.05$ , respectivamente).

**Tabla 7**

*Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de sentadilla*

VMP ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	ST	SA
<0.3	$0.0 \pm 0.0$	$0.0 \pm 0.0$
>0.3-0.4	$0.0 \pm 0.0$	$0.0 \pm 0.0$
>0.4-0.5	$0.0 \pm 0.0$	$0.0 \pm 0.0$
>0.5-0.6	$0.0 \pm 0.0$	$0.0 \pm 0.0$
>0.6-0.7	$3.2 \pm 2.0$	$3.1 \pm 1.7$
>0.7-0.8	$14.3 \pm 3.5$	$15.0 \pm 5.1$
>0.8-0.9	$27.1 \pm 9.3$	$24.5 \pm 8.3$
>0.9-1.0	$31.6 \pm 15.5$	$22.0 \pm 7.1^*$
>1.0-1.1	$14.1 \pm 9.2$	$8.5 \pm 3.4^*$
>1.1	$0.6 \pm 1.3$	$0.1 \pm 0.3$
Total de repeticiones	$90.8 \pm 27.0$	$73.1 \pm 18.1^*$

*Nota:* Datos presentados en medias  $\pm$  DT. Los grupos experimentales realizaron diferentes configuraciones de series: ST ( $n=9$ ), SA ( $n=10$ ). Diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo ST ( $*p < 0.05$ ).

Abreviaturas: ST: Grupo experimental de series tradicionales; SA: Grupo experimental de series alternas; VMP: velocidad media propulsiva.

**Tabla 8**

*Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de press de banca*

VMP ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )	ST	SA
<0.3	$0.0 \pm 0.0$	$0.0 \pm 0.0$
>0.3-0.4	$0.0 \pm 0.0$	$0.2 \pm 0.6$
>0.4-0.5	$2.6 \pm 0.7$	$2.7 \pm 1.5$
>0.5-0.6	$15.7 \pm 3.9$	$17.6 \pm 4.5$
>0.6-0.7	$26.7 \pm 6.9$	$28.3 \pm 5.8$
>0.7-0.8	$24.6 \pm 12.2$	$22.2 \pm 5.5$
>0.8-0.9	$9.9 \pm 3.6$	$6.8 \pm 2.6^*$
>0.9-1.0	$0.0 \pm 0.0$	$0.3 \pm 0.9$
>1.0-1.1	$0.0 \pm 0.0$	$0.0 \pm 0.0$
>1.1	$0.0 \pm 0.0$	$0.0 \pm 0.0$
Total de repeticiones	$75.1 \pm 23.9$	$73.5 \pm 12.9$

*Nota:* Datos presentados en medias  $\pm$  DT. Los grupos experimentales realizaron diferentes configuraciones de series: ST ( $n=9$ ), SA ( $n=10$ ). Diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo ST ( $*p < 0.05$ ).

Abreviaturas: ST: Grupo experimental de series tradicionales; SA: Grupo experimental de series alternas; VMP: velocidad media propulsiva.

## Estudio 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de...

En el ejercicio de PB, no hubo diferencias significativas entre los grupos en el número de repeticiones realizadas, excepto en el rango de 0.80-0.90 m·s<sup>-1</sup> (**Tabla 8**). Ambos grupos realizaron un número similar de repeticiones totales (75.1 ± 23.9 vs. 73.5 ± 12.9 para el grupo ST y SA, respectivamente) en el espectro completo de rangos de velocidad.

### *Velocidad de ejecución y número de repeticiones entre series*

Las comparaciones entre los grupos (ST vs. SA) de la VMP de la primera repetición (i.e., %1RM) entre series no mostraron diferencias significativas ante ninguna carga relativa ni ejercicio (**Tabla 9** y **Tabla 10**). Las comparaciones entre los grupos del número de repeticiones realizadas entre series mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) en el ejercicio de PB con las cargas correspondientes al 55% (primera serie), 60% (primera serie) y 65% (tercera serie) de la 1RM.

**Tabla 9**

*Velocidad de ejecución y número de repeticiones por serie realizadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de sentadilla completa*

Sesión (#)	1			2			3			4		
VMP objetivo (m·s <sup>-1</sup> )	1.07 (~55% 1RM)			1.00 (~60% 1RM)			0.92 (~65% 1RM)			0.84 (~70% 1RM)		
Serie (#)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
VMP <sub>PRIMERA</sub> (m·s <sup>-1</sup> )												
ST	1.09 ± 0.03	1.05 ± 0.03	1.06 ± 0.04	0.99 ± 0.03	0.98 ± 0.05	0.97 ± 0.03	0.91 ± 0.02	0.88 ± 0.04	0.87 ± 0.04	0.84 ± 0.02	0.81 ± 0.03	0.81 ± 0.03
SA	1.09 ± 0.03	1.04 ± 0.04	1.00 ± 0.06	1.01 ± 0.02	0.99 ± 0.06	0.98 ± 0.07	0.91 ± 0.02	0.88 ± 0.02	0.88 ± 0.02	0.84 ± 0.01	0.80 ± 0.05	0.79 ± 0.03
Reps por serie (#)												
ST	10.4 ± 3.8	12.1 ± 2.8	10.8 ± 3.9	7.9 ± 3.9	8.6 ± 3.9	8.7 ± 5.1	6.8 ± 2.4	5.2 ± 2.0	6.3 ± 4.6	5.0 ± 1.7	4.6 ± 1.2	4.6 ± 1.0
SA	7.9 ± 2.4	8.1 ± 2.8	8.2 ± 2.7	7.0 ± 2.5	6.0 ± 0.9	7.2 ± 5.5	6.0 ± 2.2	5.6 ± 1.9	4.7 ± 1.6	4.3 ± 1.2	4.3 ± 1.3	3.9 ± 1.3

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. VMP: velocidad media propulsiva alcanzada contra la carga prevista (%1RM); Reps por serie: número de repeticiones realizadas; VMP<sub>PRIMERA</sub>: velocidad media propulsiva de la repetición más rápida (normalmente la primera) de cada serie. ST: Grupo de series tradicionales. SA: Grupo de series alternas. Diferencias estadísticamente significativas con respecto a: \*Grupo ST ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 10**

*Velocidad de ejecución y número de repeticiones por serie realizadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de press de banca*

Sesión (#)	1			2			3			4		
VMP objetivo (m·s <sup>-1</sup> )	0.87 (~55% 1RM)			0.78 (~60% 1RM)			0.70 (~65% 1RM)			0.62 (~70% 1RM)		
Serie (#)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
VMP <sub>PRIMERA</sub> (m·s <sup>-1</sup> )												
ST	0.87 ± 0.02	0.85 ± 0.03	0.83 ± 0.02	0.78 ± 0.03	0.77 ± 0.03	0.78 ± 0.04	0.69 ± 0.02	0.69 ± 0.02	0.69 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.60 ± 0.02	0.61 ± 0.02
SA	0.87 ± 0.04	0.84 ± 0.03	0.82 ± 0.04	0.78 ± 0.02	0.75 ± 0.02	0.75 ± 0.04	0.70 ± 0.02	0.67 ± 0.03	0.66 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.60 ± 0.02	0.59 ± 0.03
Reps por serie (#)												
ST	10.2 ± 4.2	9.8 ± 3.2	9.1 ± 3.1	7.6 ± 3.1	6.7 ± 1.9	6.3 ± 1.7	5.3 ± 1.1	5.6 ± 1.7	5.8 ± 1.4	4.4 ± 0.9	4.4 ± 0.9	4.1 ± 0.9
SA	8.6 ± 2.0*	8.6 ± 1.9	7.9 ± 1.7	8.3 ± 2.3*	8.3 ± 1.4	6.8 ± 1.9	6.2 ± 1.1	5.3 ± 1.5	5.3 ± 1.6*	4.6 ± 1.2	4.3 ± 0.9	3.9 ± 0.9

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. VMP: velocidad media propulsiva alcanzada contra la carga prevista (%1RM); Reps por serie: número de repeticiones realizadas; VMP<sub>PRIMERA</sub>: velocidad media propulsiva de la repetición más rápida (normalmente la primera) de cada serie. ST: Grupo de series tradicionales. SA: Grupo de series alternas. Diferencias estadísticamente significativas con respecto a: \*Grupo ST ( $p < 0.05$ ).

### 7.3. Discusión

El propósito del presente estudio fue comparar el efecto agudo sobre la velocidad de ejecución de la barra y el volumen entre dos tipos diferentes de configuración de las series (ST vs. SA) en los ejercicios de SQ y PB. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que compara una configuración de series tradicionales versus alternas (1) utilizando ejercicios emparejados que involucran grupos musculares de las extremidades superiores e inferiores (ejercicio de SQ y PB), (2) aplicando la metodología VBRT para establecer la carga relativa (%1RM) y el volumen (%PV en la serie), (3) induciendo un grado de fatiga entre moderado y bajo en cada serie (i.e., %PV intra-serie), es decir, finalizando cada serie mucho antes de llegar al fallo muscular, y (4) midiendo el rendimiento neuromuscular en función de la velocidad de ejecución (i.e., VMP de la primera repetición) y el volumen (i.e., número de repeticiones por serie).

El principal hallazgo de la presente investigación fue que el grupo SA realizó una velocidad de ejecución y una cantidad de repeticiones por serie similares a las del grupo ST durante las diferentes sesiones de evaluación, lo que viene a confirmar nuestra

### Estudio 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de...

hipótesis. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la duración total del entrenamiento fue significativamente más corta (aproximadamente la mitad) para el grupo SA, nuestros resultados sugieren que esta configuración del entrenamiento de la fuerza podría constituir un método de entrenamiento más eficiente en cuanto al tiempo que la configuración tradicional, ya que permite optimizar el tiempo de entrenamiento sin comprometer el rendimiento neuromuscular de forma aguda durante la sesión de entrenamiento. Esto ocurre, al menos, cuando esta combinación de ejercicios (el ejercicio de SQ seguido de PB) se realiza con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y un grado moderado de fatiga (15% PV y 20% PV para los ejercicios de SQ y PB, respectivamente).

La configuración de SA utilizada en este estudio resultó en una VMP promedio de las tres series y entre series similar en el ejercicio de SQ y PB que la condición/configuración tradicional (**Tabla 5, Tabla 6, Tabla 9, Tabla 10**). Esto se observó con todas las cargas relativas utilizadas en el presente estudio (i.e., 55, 60, 65 y 70% 1RM). Estos resultados parecen indicar que, en comparación con ST, la configuración de SA no afectó negativamente el rendimiento neuromuscular al comienzo de cada serie cuando se induce un grado moderado de fatiga (i.e., 15-20% PV intra-serie) en el ejercicio previo. Por otro lado, ambos grupos (ST y SA) pudieron completar un número similar de repeticiones por serie en PB ante cada carga relativa (**Tabla 6**) y en la mayoría de los diferentes rangos de velocidad (**Tabla 8**), lo que indica que el volumen de entrenamiento no fue significativamente afectado en la condición SA a pesar de ser alternado con el ejercicio de SQ en la misma serie. Sin embargo, las comparaciones entre grupos en el ejercicio de SQ revelaron que el grupo ST realizó un mayor número de repeticiones totales durante todas las sesiones que las realizadas por el grupo AS (**Tabla 5 y Tabla 7**), especialmente a velocidades más rápidas. Este hecho podría explicarse por el menor grado de fatiga experimentado en el grupo ST al no intercalar PB durante los intervalos de recuperación entre series de SQ. Sin embargo, se desconoce si este deterioro agudo con respecto al número de repeticiones en la condición SA podría afectar al desarrollo de la fuerza tras una intervención/programa de entrenamiento.

Los efectos de la realización consecutiva de dos ejercicios diferentes dirigidos a los mismos grupos musculares o a grupos musculares antagonistas (el llamado *super-set* o *paired set training*), seguidos de un intervalo de recuperación, han sido analizados previamente (Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Robbins et al., 2010d). Este tipo de “técnicas” representan estrategias de entrenamiento que se observan en el



mundo real, y que han sido reconocidas por ahorrar tiempo de entrenamiento con respecto a un enfoque tradicional al reducir el tiempo de descanso pasivo (de Souza et al., 2017; Paz et al., 2017). Sin embargo, la escasez de estudios transversales que examinen emparejamientos de ejercicios para miembros superiores e inferiores (e.g., El ejercicio de SQ y PB) sobre variables relacionadas con el rendimiento mecánico y neuromuscular (i.e., velocidad, potencia, fuerza) dificulta una comparación directa con los resultados del presente estudio. Cierta evidencia ha sugerido que es poco probable que los ejercicios de la parte superior del cuerpo realizados en una condición SA afecten directamente el impulso central de los músculos de la parte inferior del cuerpo involucrados en el ejercicio de sentadilla (Ciccone et al., 2014). En este estudio, el protocolo tradicional consistía en realizar solo series del ejercicio de SQ (4 x 80% 1RM, 3 min de recuperación entre series), mientras que la condición SA realizó los ejercicios de PB y remo tumbado en banco entre las series del ejercicio de SQ con un descanso entre ejercicios de 50 s, lo que resultó en un tiempo de recuperación entre series de aproximadamente 3 min entre series de SQ. Para todos los ejercicios, se completaron 4 repeticiones de la serie 1 a la 3, mientras que la cuarta serie se realizó hasta el fallo muscular. El principal hallazgo de este estudio fue que realizar ejercicios multiarticulares para la parte superior del cuerpo durante los intervalos de descanso del ejercicio de SQ (i.e., la condición SA) perjudicó el número de repeticiones en el ejercicio de SQ hasta el fallo y la potencia promedio en la cuarta serie en comparación con la condición ST. Los resultados del presente estudio son consistentes con los de este estudio previo en la medida que, en las tres primeras series, no realizadas hasta el fallo muscular, no se observó un deterioro agudo del rendimiento en el ejercicio de SQ en la condición SA. Sin embargo, este estudio no utilizó una metodología VBRT, no informó del efecto sobre el rendimiento en PB ni en el ejercicio de remo tumbado en banco, y solo examinó el efecto usando una carga del 80% de la 1RM.

De manera similar, un estudio previo mostró que realizar SA entre el ejercicio de SQ y PB (3 x 10 repeticiones realizadas a máxima velocidad, 2 min de recuperación entre series y 65% de la carga de 3RM) tuvo reducciones significativas y mayores en la velocidad media y la potencia entre series en el ejercicio de PB en comparación con las series alternas entre el ejercicio de remo inclinado y PB y la configuración tradicional (donde el PB se realizaba a solas) (Weakley et al., 2020). Sin embargo, las discrepancias con los resultados del presente estudio podrían explicarse por las diferencias en la configuración de las sesiones de entrenamiento analizadas en ambos estudios (e.g., el tiempo de recuperación entre series, el ajuste o control de la carga relativa y del número de repeticiones por serie, el tiempo transcurrido entre ejercicios).

### Estudio 1: Efecto agudo de la realización de series alternas emparejadas de...

En concordancia con nuestros resultados, otra investigación también encontró que la inclusión de ejercicios uniarticulares para la parte inferior del cuerpo en una estructura de sesión en circuito (press de banca + extensiones de piernas + extensiones de tobillos) no afectó significativamente a la velocidad de ejecución en PB, la potencia y el número de repeticiones realizadas hasta el fallo (5 x 6RM, 3 min de descanso activo entre series) en comparación a la condición ST (Alcaraz et al., 2008). Sin embargo, este estudio no informó sobre las diferencias entre condiciones de entrenamiento (i.e., ST vs. SA) en el rendimiento de los ejercicios de la parte inferior del cuerpo y, además, las series se realizaron hasta el fallo muscular. Finalmente, Robbins et al. (2010c) compararon los efectos agudos de realizar ST versus SA entre el ejercicio de PB lanzado y remo en banco sobre la velocidad máxima, la potencia máxima, la altura alcanzada por la barra en el lanzamiento en PB, el volumen de carga por serie y sesión y la actividad electromiográfica (3 series; 4 min de tiempo de recuperación entre series). No se encontraron diferencias en ninguna de las variables estudiadas entre ambas condiciones de entrenamiento, por lo que la principal conclusión de este estudio fue que la realización de series alternas agonista-antagonista parece ser un método de entrenamiento efectivo en cuanto a eficiencia y mantenimiento del rendimiento neuromuscular. Aunque estos hallazgos son similares a los del presente estudio, es necesario considerar que los ejercicios utilizados no involucraron extremidades opuestas (i.e., grupos musculares de la parte superior e inferior del cuerpo), y el remo en banco se realizó hasta el fallo muscular.

#### **7.4. Conclusión**

Las sesiones de entrenamiento donde se realizaron SA entre los ejercicios de SQ y PB con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y alcanzando un grado moderado de fatiga en la serie (15-20% PV) en ambos ejercicios, dieron como resultado un rendimiento neuromuscular similar (i.e., velocidad de ejecución y número de repeticiones por serie), pero de una manera más eficiente en cuanto al tiempo, que la configuración tradicional de las series.

**8. RESULTADOS. ESTUDIO 2:  
Series alternas emparejadas entre  
extremidades opuestas versus series  
tradicionales para inducir mejoras  
crónicas en el rendimiento  
neuromuscular**

---

## **ESTUDIO 2: Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus series tradicionales para inducir mejoras crónicas en el rendimiento neuromuscular**

### **8.1. Metodología**

#### **8.1.1. Tipo de investigación**

La metodología del estudio queda determinada por el *tipo de investigación* que se pretende hacer, y más concretamente por los *objetivos* buscados, la *naturaleza* de las variables y el *nivel de control* que se ejerza sobre las mismas.

- Por las características de los datos es una investigación *cuantitativa*.
- Por el grado de manipulación de las variables independientes, los objetivos del estudio, y la técnica de distribución de la muestra (no-aleatoria) es una investigación *cuasi-experimental*. En este estudio existen varias variables independientes (tipo de ejercicios y secuencia de realización, carga relativa, pérdida de velocidad en la serie, etc.) y dependientes (rendimiento neuromuscular medido a través de distintas pruebas físicas).
- Investigación de carácter *longitudinal*, ya que se consideró los posibles cambios de rendimiento que pudieran producirse en el tiempo tras un periodo de entrenamiento.

#### **8.1.2. Diseño del estudio**

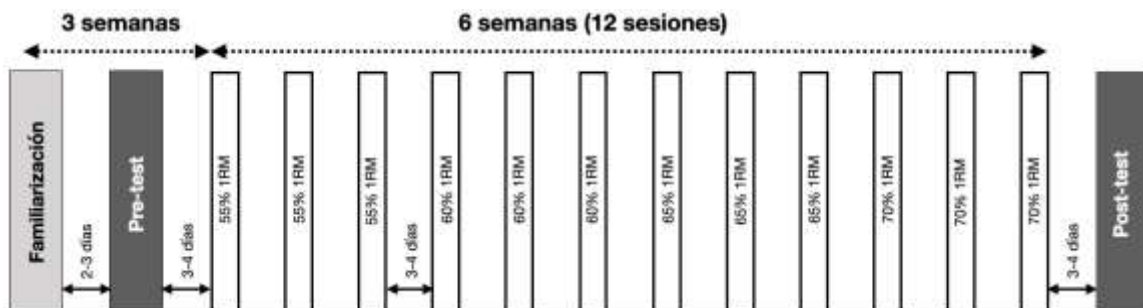
Se diseñó un estudio longitudinal cuasi-experimental para comparar los cambios en el rendimiento neuromuscular tras dos programas de entrenamiento de la fuerza idénticos basados en el control de la velocidad (VBRT) en los que solo difería la manera en la que se realizaron las series programadas de los ejercicios de sentadilla completa (SQ) y press de banca (PB) en máquina Smith: el grupo de series tradicionales (ST), que realizó primeramente todas las series del ejercicio de SQ y posteriormente todas las series del ejercicio de PB, y el grupo de series alternas (SA), que realizó los ejercicios de SQ y PB sucesivamente de manera alterna (**Figura 5**). Para ambos grupos experimentales se estableció el mismo intervalo de recuperación entre series para cada ejercicio.

Tres semanas previas al comienzo de la intervención del estudio, todos los sujetos se sometieron a dos-tres sesiones de familiarización con al menos 48 horas de diferencia para recibir instrucciones sobre la técnica de ejecución de cada ejercicio (e.g., posición inicial y final, levantar cada repetición a la máxima velocidad) y del salto con contramovimiento. Para el propósito del estudio, ambos grupos entrenaron dos veces por semana durante un período de 6 semanas, utilizando: 1) la misma magnitud de carga relativa (55-70% 1RM) para cada ejercicio y progresión de ésta a lo largo del período de entrenamiento; 2) la misma magnitud de pérdida de velocidad (%PV) alcanzada en cada serie (15% y 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente); 3) los mismos ejercicios y orden de realización (SQ seguida de PB); 4) el mismo número de series por ejercicio (3); y 5) el mismo tiempo de recuperación entre series (3 min) y periodos de descanso entre sesiones (72-96 horas). Cada sesión de entrenamiento y evaluación se llevó a cabo en un laboratorio de investigación bajo la supervisión directa de dos investigadores experimentados, en el mismo horario del día ( $\pm 1.5$  horas) para cada participante, y bajo condiciones ambientales similares (21-24 °C y 55-62% de humedad). Se solicitó a los sujetos que se abstuvieran de cualquier otro tipo de actividad física extenuante, entrenamiento físico o competición deportiva durante la duración de la investigación.

Todos los sujetos fueron evaluados siguiendo el mismo procedimiento (explicado más adelante) antes (pre) y después (post) de las 6 semanas de intervención utilizando una batería de tests. El tiempo transcurrido entre el pre y el inicio de la intervención, y entre el final de la intervención y el post fue de 72-96 horas (**Figura 8**).

**Figura 8.**

*Diseño del estudio*



### 8.1.3. Muestra

Para la realización de este estudio se contó inicialmente con la misma muestra de hombres jóvenes físicamente activos y moderadamente entrenados en fuerza que para el Estudio 1. De tal forma que, tras la distribución de los sujetos, el grupo de ST quedó constituido por 10 sujetos y el grupo de SA por 9 sujetos. Sin embargo, dos sujetos del grupo ST abandonaron durante la intervención por razones ajenas a la investigación. Por tanto, finalmente, se consideraron 17 sujetos (ST, n= 8; SA, n= 9) para el análisis de datos habiendo cumplido el 100% de las sesiones de entrenamiento. Las características de los sujetos se muestran en la **Tabla 11**.

**Tabla 11**

*Promedios y desviación típica de los datos descriptivos de la muestra de población de estudio*

N	Edad (años)	Peso corporal (kg)	Altura (m)	1RM (kg) sentadilla	1RM (kg) press de banca
17	23.9 ± 5.3	72.9 ± 10	1.72 ± 0.08	93.6 ± 19.1	71.9 ± 12.4

### 8.1.4. Variables dependientes e independientes

Las principales variables utilizadas en el Estudio 2 fueron las siguientes:

Variables independientes:

- Frecuencia de entrenamiento semanal y tiempo de recuperación entre sesiones.
- Ejercicios de entrenamiento y secuencia/orden de realización.
- Configuración/estructuración de las series.
- Intensidad relativa (%1RM), controlada a través de la velocidad media propulsiva (VMP) de la primera repetición (o más rápida) de la primera serie.
- Grado de fatiga intra-serie, controlado a través del porcentaje de pérdida de velocidad media propulsiva (VMP) en la serie ( $100 \times (\text{VMP última rep.} - \text{VMP 1}^{\text{a}} \text{ rep.}) / \text{VMP 1}^{\text{a}} \text{ rep.}$ ).
- Intervalo de recuperación entre series y ejercicios.

Variables dependientes del rendimiento neuromuscular:

- Altura alcanzada en el CMJ (cm).

- 1RM estimada (kg) en el ejercicio de SQ y PB.
- Fatiga o resistencia muscular en el ejercicio de SQ y PB: a través de la media de la VMP ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) ante la misma carga absoluta y número de repeticiones comunes utilizadas en el pre- y post-test.
- Efecto en la curva carga(kg)-velocidad para el ejercicio de SQ y PB:
  - Efecto global: a través de la media de la VMP ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de todas las cargas absolutas comunes utilizadas en el pre- y post-test.
  - Efecto en la zona de alta velocidad, es decir, ante cargas ligeras: a través de la media de la VMP ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de todas las cargas comunes en ambos tests levantadas  $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $\geq 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en el pre-test, para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente.
  - Efecto en la zona de baja velocidad, es decir, ante cargas altas: a través de la media de la VMP ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de todas las cargas comunes en ambos tests levantadas  $< 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $< 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en el pre-test, para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente.

Variables dependientes derivadas del análisis del entrenamiento realizado:

- Velocidad media propulsiva (VMP,  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de la primera repetición (o más rápida) de la primera serie en cada una de las sesiones del ciclo/programa de entrenamiento.
- Velocidad media ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) del ciclo/programa completo de entrenamiento realizado, cuantificando tan solo las repeticiones realizadas con la carga de entrenamiento (es decir, excluyendo las repeticiones realizadas durante el calentamiento).
- Promedio de repeticiones realizadas entre todas las series de cada sesión.
- Tiempo invertido por sesión de entrenamiento (min).

#### **8.1.5. Control de variables intervinientes**

Las mismas que las descritas para el Estudio 1.

#### **8.1.6. Instrumental**

*Máquina Smith* (Multipower, Technogym, E.E.U.U)

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del Estudio 1.

## Estudio 2: Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus...

*Transductor lineal de velocidad* (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech Consulting S.L, Murcia, España).

Las características de este instrumento han sido descritas previamente en la metodología del Estudio 1.

*Plataforma de salto óptica por infrarrojos* (Optojump Next, Microgate, Bolzano, Italia).

Son dos varillas que se colocan paralelamente entre sí en el suelo y que están conectadas por infrarrojos (foto-células). Este sistema detecta cualquier interrupción en la comunicación entre las dos varillas, y calcula ese intervalo de tiempo (tiempo de vuelo). No obstante, el tiempo de vuelo que se obtiene, y por tanto la altura alcanzada del salto, proviene del tiempo de vuelo desde que la punta de los pies del sujeto cruza el haz infrarrojo hasta que vuelve a cruzarlo en la recepción del salto (pero no del tiempo de vuelo del centro de masas o de cualquier otra parte del cuerpo). La plataforma cuenta con un sistema de cronometraje electrónico (microprocesador) para la medición del tiempo de vuelo ( $t$ ) y altura del salto ( $h$ ) calculada a través de la fórmula:  $h = t^2 \cdot g/8$ , donde  $g$  es la aceleración de la gravedad. El software particularmente diseñado permite la obtención en tiempo real del rendimiento del salto (potencia, altura, tiempo de vuelo, tiempo de contacto, etc.).

La fiabilidad del sistema Optojump para calcular el tiempo de vuelo y la estimación de la altura de salto ha sido analizada mostrando una alta reproducibilidad (Glatthorn et al., 2011) y una excelente fiabilidad relativa y absoluta: coeficiente de correlación intraclase (CCI): 0.98-0.99; coeficiente de variación (CV): 1.76-6.47% (Attia et al., 2017).

### **Figura 9**

*Plataforma de salto óptica por infrarrojos (Optojump Next)*





### **8.1.7. Análisis antropométrico**

El mismo que el descrito para el Estudio 1.

### **8.1.8. Procedimiento de evaluación (pruebas físicas)**

El rendimiento físico se midió a través de una batería de tests realizados en una única sesión y en una secuencia fija según se describe a continuación: 1) Test de salto vertical con contra-movimiento; 2) Test incremental con cargas progresivas en SQ; 3) Test de fatiga en SQ; 4) Test incremental con cargas progresivas en PB; 5) Test de fatiga en PB. Antes de realizar el primero de los test, los sujetos realizaron un protocolo de calentamiento general estandarizado durante 10 min consistente en trote, ejercicios de movilidad articular y estiramientos dinámicos.

Dos investigadores experimentados supervisaron las sesiones de evaluación para asegurarse que se realizaba una técnica de ejecución correcta (descrita a continuación) y consistente en cada test. Asimismo, durante cada test se proporcionó un fuerte estímulo verbal para motivar a los sujetos a realizar un esfuerzo máximo en cada repetición.

#### *Test de salto vertical con contra-movimiento (CMJ)*

Esta prueba se realizó de pie en posición erguida con las manos colocadas en las caderas para evitar movimientos o balanceos con los brazos. Un movimiento rápido hacia abajo (flexión de rodillas), con una profundidad autoseleccionada por el participante, fue seguido inmediatamente por un rápido movimiento vertical hacia arriba (extensión de rodillas) con el objetivo de saltar lo más alto posible, todo en una única secuencia. A todos los sujetos se les indicó que mantuvieran las rodillas extendidas durante la fase de vuelo del salto y que aterrizaran en posición erguida. Todos realizaron cinco CMJs máximos, con 40 s de descanso entre cada uno. Se descartaron los dos valores extremos y se guardó el promedio resultante de los tres restantes para el análisis (Pareja-Blanco et al. 2017; Rodríguez-Rosell et al., 2020b). La altura del salto se estimó mediante un dispositivo de cronometraje por infrarrojos que mide el tiempo de vuelo (Optojump Next, Microgate, Bolzano, Italia). El calentamiento específico consistió en dos series de 6 repeticiones a velocidad moderada de sentadillas con el peso corporal (intervalo de descanso de 2 min), 5 CMJs a intensidad progresiva (descanso de 30 s) y 3 CMJs a intensidad máxima (descanso de 45 s). El test mostró una alta confiabilidad (CV: 2.6%, y CCI: 0.993 (0.992-0.996)).

## Estudio 2: Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus...

### *Test incremental con cargas progresivas en los ejercicios de SQ y PB*

Este test se realizó para la determinación individual de la relación carga-velocidad y estimación de la 1RM en ambos ejercicios realizados en una máquina Smith. La descripción detallada de la ejecución técnica de ambos ejercicios ha sido presentada en el Estudio 1 (apartado “Ejecución técnica de los ejercicios”).

La carga inicial para todos los sujetos fue de 25 y 30 kg para el ejercicio de PB y SQ, respectivamente, y se aumentó gradualmente en incrementos de 10 kg en cada serie hasta que la VMP alcanzada fue igual o inferior al valor correspondiente al 80% de la 1RM en cada uno de los ejercicios (SQ:  $\leq 0.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , PB:  $\leq 0.47 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Se realizó un calentamiento específico (explicado más adelante) y una progresión de cargas absolutas idéntica en el pre y post para cada ejercicio. Para ambos ejercicios, se realizaron tres repeticiones ante cada carga ligera (VMP correspondiente a cargas  $\leq 50\%$  1RM), dos repeticiones para cada carga intermedia (VMP correspondiente a cargas del 50 al 70% 1RM) y solo una repetición para cada carga alta (VMP correspondiente a cargas  $>70\%$  1RM) (Sánchez-Medina et al., 2010). El tiempo de recuperación entre series osciló entre 3 min (cargas ligeras) y 4 min (cargas intermedias y altas). Solamente la mejor repetición ejecutada correctamente con cada carga, según el criterio de la mayor VMP, fue considerada para los análisis posteriores. El valor de la 1RM (kg) se estimó individualmente a partir de la VMP alcanzada contra la carga más elevada utilizada en el test de acuerdo a las siguientes fórmulas:  $100 \times \text{kg}/(-5.961 \times \text{VMP}^2) - (50.71 \times \text{VMP}) + 117$ , para el ejercicio de SQ (Sánchez-Medina et al., 2017);  $100 \times \text{kg}/(8.4326 \times \text{VMP}^2) - (73.501 \times \text{VMP}) + 112.33$ , para el ejercicio de PB (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). La velocidad de todas las repeticiones fue registrada usando un transductor lineal de velocidad (previamente descrito en el apartado “Instrumental” del Estudio 1), el cual proporcionaba feedback auditivo y visual en tiempo real permitiendo el almacenamiento de los datos en un software específico.

Además de la estimación de la 1RM, se utilizaron otras tres variables para analizar en qué medida las dos condiciones de entrenamiento (ST y SA) afectaron diferentes partes de la relación carga-velocidad: a) VMP promedio ante todas las cargas absolutas comunes al pre y post-test (AV), VMP promedio ante todas las cargas absolutas comunes a ambos tests levantadas a una velocidad igual o superior a  $1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $\text{AV} \geq 1$ ) o  $0.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $\text{AV} \geq 0.8$ ) en el ejercicio de SQ y PB, respectivamente, y c) VMP promedio ante todas las cargas absolutas comunes a ambos tests levantadas a una velocidad inferior a  $1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $\text{AV} < 1$ ) o  $0.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $\text{AV} < 0.8$ ) en el ejercicio de SQ y

PB, respectivamente. Estas otras variables han demostrado ser altamente fiables (Pallarés et al., 2014) y proporcionar un análisis mucho más completo de los cambios inducidos por el entrenamiento en todo el espectro de la relación carga-velocidad, que simplemente centrarse en el valor de la 1RM (Pareja-Blanco et al., 2014).

El calentamiento específico consistió en dos series de 5 y 3 repeticiones (2 min de descanso entre series) con cargas de 20 y 25 kg a una velocidad intencionada alta y máxima, respectivamente, antes de cada test de cargas progresivas. El test de cargas progresivas en PB se realizó tras un descanso de 5 min después del test de fatiga en el ejercicio de SQ (explicado más adelante).

#### *Test de fatiga o resistencia muscular en los ejercicios de SQ y PB*

Este test se realizó 5 min después de que los sujetos terminaran los tests de cargas progresivas con cada ejercicio. Ambos pre-test se realizaron con una carga absoluta que permitiera alcanzar un valor de VMP correspondiente al  $\sim 60\%$  1RM ( $\pm 2\%$ ) en cada ejercicio. Por lo tanto, antes de comenzar cada test, se realizaron ajustes en la carga (kg) a levantar para que la velocidad de la primera repetición coincidiera con el VMP objetivo (i.e., SQ:  $1.00 \pm 0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ; PB:  $0.78 \pm 0.03 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ). Para ambos ejercicios/test, se exigía levantar la barra lo más rápido posible durante la fase concéntrica y realizar un total de 12 repeticiones. Sin embargo, la fase excéntrica se debía realizar a velocidad controlada en SQ, y para el ejercicio de PB se debía realizar una pausa momentánea ( $\sim 1 \text{ s}$ ) entre la fase excéntrica y concéntrica como en el test de cargas progresivas. Para estimar el cambio en la resistencia muscular, ambos tests (pre y post) se realizaron con las mismas cargas absolutas establecidas individualmente en cada pre-test (para el ejercicio de SQ y PB), y completando el mismo número de repeticiones. El rendimiento fue determinado por la VMP promedio de la serie de 12 repeticiones.

#### **8.1.9. Características del programa de entrenamiento**

Las características descriptivas del programa de entrenamiento de la fuerza realizado por ambos grupos se muestran en la **Tabla 12** (ejercicio SQ) y en la **Tabla 13** (ejercicio PB). Después de la evaluación inicial, todos los sujetos realizaron un programa VBRT durante 6 semanas de dos sesiones por semana (12 sesiones en total), con 72-96 horas de descanso entre sesiones, realizando los ejercicios de SQ y PB en el mismo orden. Todas las variables de entrenamiento, incluidas la carga relativa (55-70% 1RM), el número de sesiones utilizando cada carga relativa (%1RM), el número de series (3), la

## Estudio 2: Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus...

magnitud de PV dentro de la serie (15% y 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente) y el tiempo de recuperación entre series (3 min) fueron idénticos para las dos condiciones experimentales durante cada sesión de entrenamiento. La única diferencia entre ambos grupos fue la configuración (estructuración) de las series realizada entre ejercicios: de forma tradicional o alterna.

Dado que el programa de entrenamiento se realizó utilizando una metodología VBRT, la individualización de la carga relativa (% 1RM) para cada sesión de entrenamiento se determinó a partir de la relación general carga-velocidad para el ejercicio de SQ (Sánchez-Medina et al., 2017) y para el ejercicio de PB (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010). La descripción del procedimiento utilizado para el control y ajuste de la carga de entrenamiento (i.e., intensidad y volumen) durante cada sesión es la misma que la detallada en el apartado “Procedimiento de evaluación” del Estudio 1.

**Tabla 12**

*Características descriptivas del programa de entrenamiento para sentadilla basado en el control de la velocidad realizado por ambos grupos experimentales*

Programado	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6	Sesión 7	Sesión 8	Sesión 9	Sesión 10	Sesión 11	Sesión 12	Media
VMP objetivo ( $m \cdot s^{-1}$ )	1.07	1.07	1.07	1.00	1.00	1.00	0.92	0.92	0.92	0.84	0.84	0.84	0.96
	(-55% 1RM)	(-55% 1RM)	(-55% 1RM)	(-60% 1RM)	(-60% 1RM)	(-60% 1RM)	(-65% 1RM)	(-65% 1RM)	(-65% 1RM)	(-70% 1RM)	(-70% 1RM)	(-70% 1RM)	(62.5%)
Serie x PV(%)	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%	3 x 15%
Realizado													
VMP PRIMERA ( $m \cdot s^{-1}$ )													Media
ST	1.08 ± 0.03 (-55.4% 1RM)	1.08 ± 0.02 (-55.3% 1RM)	1.08 ± 0.02 (-55.3% 1RM)	1.02 ± 0.02 (-59.5% 1RM)	1.01 ± 0.02 (-59.6% 1RM)	1.00 ± 0.03 (-60.3% 1RM)	0.93 ± 0.02 (-64.9% 1RM)	0.91 ± 0.02 (-65.6% 1RM)	0.91 ± 0.02 (-66.0% 1RM)	0.84 ± 0.01 (-70.3% 1RM)	0.83 ± 0.02 (-71.0% 1RM)	0.84 ± 0.02 (-70.1% 1RM)	0.96 ± 0.02 (62.8% 1RM)
SA	1.08 ± 0.02 (-55.0% 1RM)	1.07 ± 0.02 (-55.7% 1RM)	1.08 ± 0.03 (-55.5% 1RM)	1.00 ± 0.02 (-60.1% 1RM)	1.00 ± 0.03 (-60.5% 1RM)	1.01 ± 0.03 (-59.7% 1RM)	0.92 ± 0.02 (-65.1% 1RM)	0.93 ± 0.01 (-64.8% 1RM)	0.91 ± 0.02 (-65.7% 1RM)	0.84 ± 0.02 (-69.9% 1RM)	0.84 ± 0.02 (-70.3% 1RM)	0.84 ± 0.02 (-70.2% 1RM)	0.96 ± 0.02 (62.7% 1RM)
PV intra-serie (%)													Media
ST	19.1 ± 2.4	17.8 ± 2.4	16.8 ± 1.3	18.5 ± 1.0	17.8 ± 2.4	17.3 ± 2.1	16.2 ± 1.5	17.0 ± 2.5	16.0 ± 0.9	16.8 ± 3.0	16.1 ± 1.5	16.2 ± 1.2	17.1 ± 1.8
SA	19.3 ± 2.3	19.2 ± 3.0	17.8 ± 1.2	18.0 ± 2.1	18.4 ± 2.0	17.6 ± 2.4	17.1 ± 2.3	16.7 ± 1.7	15.5 ± 1.1	16.0 ± 1.2	16.3 ± 1.7	16.3 ± 1.2	17.3 ± 1.9
Reps por serie (#)													Total
ST	11.2 ± 3.8	10.8 ± 3.5	10.9 ± 2.2	9.0 ± 2.7	8.2 ± 3.2	8.5 ± 3.9	7.0 ± 2.3	6.5 ± 2.0	6.2 ± 3.0	5.1 ± 1.4	5.7 ± 1.8	4.7 ± 1.1	93.8 ± 2.3
SA	8.3 ± 2.3	8.7 ± 2.1	8.0 ± 1.7	7.4 ± 2.4	6.8 ± 1.7	6.6 ± 2.8**	5.4 ± 1.3*	5.5 ± 1.4	5.4 ± 1.7	4.3 ± 1.1*	4.0 ± 1.2	4.2 ± 1.2	74.6 ± 1.6**

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. VMP: velocidad media propulsiva alcanzada con la carga prevista (%1RM); PV: pérdida de velocidad; Reps por serie: número de repeticiones realizadas; VMP<sub>PRIMERA</sub>: velocidad media propulsiva de la repetición más rápida (normalmente la primera) de la primera serie.

Las pérdidas de velocidad reales y las repeticiones por serie son resultado de la media de las tres series. ST: Grupo de series tradicionales. SA: Grupo de series alternas. Diferencias estadísticamente significativas con respecto a: \*ST ( $p < 0.05$ ); \*\*TS ( $p < 0.01$ ).

**Tabla 13**

*Características descriptivas del programa de entrenamiento para press de banca basado en el control de la velocidad realizado por ambos grupos experimentales*

Programado	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6	Sesión 7	Sesión 8	Sesión 9	Sesión 10	Sesión 11	Sesión 12	Media
VMP objetivo (m·s <sup>-1</sup> )	0.87	0.87	0.87	0.78	0.78	0.78	0.70	0.70	0.70	0.62	0.62	0.62	0.74
	(-55% 1RM)	(-55% 1RM)	(-55% 1RM)	(-60% 1RM)	(-60% 1RM)	(-60% 1RM)	(-65% 1RM)	(-65% 1RM)	(-65% 1RM)	(-70% 1RM)	(-70% 1RM)	(-70% 1RM)	(62.5%)
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%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%	3 x 20%
Realizado													
VMP <sub>PRIMERA</sub> (m·s <sup>-1</sup> )													Media
ST	0.88 ± 0.01	0.87 ± 0.02	0.87 ± 0.02	0.79 ± 0.02	0.78 ± 0.02	0.78 ± 0.03	0.69 ± 0.01*	0.69 ± 0.01	0.69 ± 0.02	0.61 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.62 ± 0.02	0.74 ± 0.02
	(-54.4% 1RM)	(-54.6% 1RM)	(-55.0% 1RM)	(-59.4% 1RM)	(-59.9% 1RM)	(-60.3% 1RM)	(-65.9% 1RM)	(-65.4% 1RM)	(-65.5% 1RM)	(-70.5% 1RM)	(-70.1% 1RM)	(-70.3% 1RM)	(62.6%)
SA	0.87 ± 0.01	0.88 ± 0.02	0.86 ± 0.02	0.78 ± 0.02	0.77 ± 0.03	0.78 ± 0.02	0.71 ± 0.02*	0.70 ± 0.02	0.70 ± 0.03	0.62 ± 0.02	0.62 ± 0.02	0.62 ± 0.02	0.74 ± 0.02
	(-55.0% 1RM)	(-54.2% 1RM)	(-55.4% 1RM)	(-60.4% 1RM)	(-60.9% 1RM)	(-60.0% 1RM)	(-64.3% 1RM)	(-64.9% 1RM)	(-64.9% 1RM)	(-70.1% 1RM)	(-70.1% 1RM)	(-70.2% 1RM)	(62.5%)
PV intra-serie (%)													Media
ST	22.2 ± 2.2	22.1 ± 0.9	23.2 ± 1.6	23.1 ± 1.9	22.2 ± 2.3	21.8 ± 1.8	21.6 ± 2.1	20.9 ± 2.1	20.4 ± 1.2	20.3 ± 1.2	21.3 ± 1.9	21.1 ± 2.3	21.7 ± 1.8
SA	21.8 ± 1.3	22.6 ± 1.2	22.2 ± 2.5	22.5 ± 2.1	23.2 ± 1.4	22.7 ± 1.9	22.4 ± 2.4*	21.2 ± 1.0	20.5 ± 1.9	21.2 ± 1.6	20.7 ± 2.3	20.5 ± 1.8	21.8 ± 1.8
Reps por serie (#)													Total
ST	9.5 ± 2.2	10.5 ± 3.7	9.7 ± 3.7	8.0 ± 2.9	7.1 ± 2.0	6.6 ± 2.2	5.6 ± 1.5	5.4 ± 1.3	5.5 ± 1.4	4.3 ± 1.3	4.2 ± 1.2	4.2 ± 0.7	80.7 ± 2.2
SA	9.4 ± 2.0	9.1 ± 1.2*	8.4 ± 1.5*	7.5 ± 1.1	7.1 ± 1.2	7.8 ± 1.7	6.1 ± 1.3	5.3 ± 1.0	5.6 ± 1.2	4.4 ± 0.6	4.4 ± 0.8	4.3 ± 0.8	79.3 ± 1.9

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. VMP: velocidad media propulsiva alcanzada con la carga prevista (%1RM); PV: pérdida de velocidad; Reps por serie: número de repeticiones realizadas; VMP<sub>PRIMERA</sub>: velocidad media propulsiva de la repetición más rápida (normalmente la primera) de la primera serie.

Las pérdidas de velocidad reales y las repeticiones por serie son resultado de la media de las tres series. ST: Grupo de series tradicionales. SA: Grupo de series alternas. Diferencias estadísticamente significativas con respecto a: \*ST ( $p < 0.05$ ); \*\*TS ( $p < 0.01$ ).

Al igual que para el Estudio 1, se establecieron unas magnitudes fijas de PV intra-serie entre moderadas y bajas (15% y 20% para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente) para todas las sesiones con el propósito de proporcionar un nivel homogéneo de esfuerzo o fatiga entre los sujetos al final de cada serie (González-Badillo et al., 2017b). Se eligieron esos % de PV porque diferentes estudios han demostrado que una PV de moderada a baja (10-25%) permite mayores mejoras en el rendimiento físico que pérdidas mayores (>30%) después de programas de entrenamiento de 8 semanas de duración (Pareja -Blanco et al., 2017; Rodríguez-Rosell et al., 2021a; Rodríguez-Rosell et al., 2020b). Asimismo, se utilizó un %PV diferente entre ejercicios (15 vs. 20%) para igualar el mismo porcentaje de repeticiones por serie completado con respecto al máximo de repeticiones posibles frente a cada carga relativa (Rodríguez-Rosell et al., 2020a).

Los sujetos recibieron retroalimentación auditiva inmediata de la velocidad a través del dispositivo transductor lineal (previamente descrito en el apartado "Instrumental" del Estudio 1) mientras se les animaba a realizar cada repetición a la máxima velocidad posible. Antes de todas las sesiones de entrenamiento, los sujetos de ambos grupos realizaron un calentamiento general estandarizado (explicado anteriormente) y un mismo calentamiento específico que constaba de tres series de 8, 5 y 2 repeticiones (2

## Estudio 2: Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus...

min de descanso entre series) con las cargas correspondientes de 20 kg, 25 kg y la carga absoluta propuesta que mejor se ajustaba a la VMP objetivo programada, a una velocidad intencionada moderada, alta y máxima, respectivamente. Los sujetos realizaron la misma técnica de ejecución que durante los tests de cargas progresivas en ambos ejercicios, es decir, rango completo de movimiento, fase excéntrica controlada (y sólo en PB una pausa momentánea entre la fase excéntrica y concéntrica), y la fase concéntrica realizada a la máxima velocidad intencionada. Cada sesión fue supervisada por dos investigadores (especialistas en el entrenamiento de la fuerza) para certificar que se realizaban los ejercicios con la técnica adecuada y para decidir sobre los ajustes de las cargas absolutas a utilizar en cada ejercicio.

### **8.1.10. Temporización de sesiones: Plan de trabajo**

- 1ª a 3ª sesión (familiarización): En la primera sesión se recogieron los datos personales de los sujetos y las medidas antropométricas básicas de peso y talla. Asimismo, estas primeras sesiones sirvieron para supervisar que la ejecución técnica fuera la correcta en el ejercicio de press de banca y sentadilla completa, así como para establecer individualmente las separaciones de los agarres y apoyos en el suelo y familiarizarse con el protocolo de actuación de cara a las sesiones de entrenamiento. Estas sesiones tuvieron lugar tres semanas antes de la primera sesión de entrenamiento.
- 4ª sesión (evaluación inicial): Tras realizar un calentamiento estandarizado, se realizó la batería de tests previamente descrita: 1) Test de salto con contramovimiento, 2) Test incremental con cargas progresivas, y 3) Test de fatiga, para cada uno de los dos ejercicios.
- 5ª a 16ª sesión (sesiones de entrenamiento). Entre 3 y 5 días después de la última sesión de evaluación inicial doy comienzo la primera sesión experimental de entrenamiento. Previamente a cada sesión de entrenamiento se realizó un calentamiento estandarizado.
- 17ª sesión (evaluación final): Entre 3 y 5 días desde la última sesión de entrenamiento, y tras un calentamiento estandarizado, se repitió la misma batería de tests realizada en la evaluación inicial, en la misma ubicación y bajo las mismas condiciones horarias ( $\pm 1$  hora) y ambientales para cada uno de los participantes.

### 8.1.11. Análisis de datos

Los valores se presentan en medias (*M*) y desviaciones típicas (*DT*). La normalidad de la distribución de los datos se examinó con la prueba de Shapiro-Wilk por ser la prueba más potente para detectar la normalidad en muestras de naturaleza variable y menor a 50 participantes (Steinskog et al., 2007) y la homogeneidad de la varianza entre grupos (ST vs. SA) se verificó con la prueba de Levene. Los efectos relacionados con el entrenamiento se evaluaron utilizando un ANOVA factorial 2 (grupo: ST vs. SA) × 2 (tiempo: Pre vs. Post) con el ajuste de Bonferroni. De manera similar, las diferencias en las variables de entrenamiento (VMP de la primera repetición, magnitud/porcentaje de PV en la serie y número de repeticiones realizadas en los diferentes rangos de velocidad) entre las condiciones de entrenamiento, se analizaron utilizando una prueba *t* de Student para variables independientes y, la versión no paramétrica, la prueba *U* de Mann-Whitney, para datos de distribución no normal (Berlanga y Hurtado, 2012). El tamaño del efecto (ES) intragrupo se calculó utilizando la *g* de Hedge en la DT agrupada (Hedges y Olkin, 1985), considerando los valores como pequeños (< 0.20), medianos (0.21-0.50), grandes (0.51-0.80) y muy grandes (0.81-1.30). También se estimó el cambio porcentual intragrupo para cada variable dependiente entre ambos intervalos de tiempo (Pre vs. Post). La significación estadística entre las comparaciones se estableció en  $p < 0.05$ . Las pruebas de hipótesis nula se realizaron utilizando el software SPSS versión 25.0 (SPSS, Chicago, IL).

## 8.2. Resultados

Los cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas para los ejercicios de SQ y PB se muestran en la **Tabla 16** y la **Tabla 17**, respectivamente. Los datos de todas las variables analizadas fueron homogéneos y con una distribución normal. No se encontraron diferencias significativas entre grupos (ST vs. SA) en el Pre para ninguna de las variables analizadas.

Todas las medidas de velocidad utilizadas en este estudio correspondieron a la velocidad media de la fase propulsiva (VMP) de cada repetición, definida como la porción o segmento de la fase concéntrica durante la cual la aceleración de la barra es mayor que la aceleración debida a la gravedad ( $a \geq -9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ) (Sánchez-Medina et al., 2010).

### 8.2.1. Sobre variables derivadas del análisis del entrenamiento realizado (programa de entrenamiento)

*Velocidad de ejecución ( $VMP_{PRIMERA}$ ), magnitud de pérdida de velocidad intra-serie (%PV) y número de repeticiones*

Tanto la VMP más rápida de la primera serie (i.e., aquella indicativa de la carga relativa o %1RM) como el %PV promedio alcanzada en las tres series coincidieron estrechamente con lo programado para cada ejercicio en las sesiones de entrenamiento (**Tabla 12** y **Tabla 13**). No se observaron diferencias significativas en el %PV promedio alcanzado en las tres series entre ambos grupos durante toda la intervención de entrenamiento ni en el ejercicio de SQ ( $17.1 \pm 1.8\%$  y  $17.3 \pm 1.9\%$  para el grupo ST y SA, respectivamente) ni en el ejercicio de PB ( $21.7 \pm 1.8\%$  y  $21.8 \pm 1.8\%$  para el grupo ST y SA, respectivamente). El bajo valor de la DE indica que la PV realizada fue muy similar en ambos grupos, aunque ligeramente más alta que la programada ( $\sim 17\%$  vs.  $15\%$  y  $\sim 22\%$  vs.  $20\%$  para el ejercicio de SQ y PB, respectivamente). Los sujetos de los grupos ST y SA entrenaron a la misma VMP promedio ( $0.96 \pm 0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  vs.  $0.96 \pm 0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en el ejercicio de SQ,  $0.74 \pm 0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  vs.  $0.74 \pm 0.02 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  en el ejercicio de PB, respectivamente) durante el período de entrenamiento. Además, no se observaron diferencias significativas entre los grupos en la VMP más rápida de la primera serie en ninguna sesión ni ejercicio, excepto en la séptima sesión de entrenamiento en PB (**Tabla 12** y **Tabla 13**).

Las comparaciones en el número total de repeticiones realizadas, como promedio de las tres series, en el ejercicio de SQ durante el período de 6 semanas mostraron que los sujetos del grupo ST realizaron significativamente ( $p < 0.01$ ) más repeticiones ( $93.8 \pm 2.3$ ) que las completadas por el grupo SA ( $74.6 \pm 1.6$ ) (**Tabla 12**). Sin embargo, ambos grupos experimentales completaron un número total de repeticiones muy similar ( $80.7 \pm 2.2$  vs.  $79.3 \pm 1.9$  para el grupo ST y SA, respectivamente) como promedio de las tres series en PB durante el mismo período de entrenamiento (**Tabla 13**).

Con respecto a las diferencias entre los grupos en el número de repeticiones realizadas a diferentes rangos de velocidad en el ejercicio de SQ (**Tabla 14**), el grupo ST completó un número ligeramente mayor de repeticiones a velocidades más rápidas ( $VMP > 0.9\text{-}1.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ) y un mayor número de repeticiones totales durante toda la intervención de entrenamiento que el grupo SA ( $290.6 \pm 91.5$  vs.  $222.8 \pm 47.8$  para el grupo ST y SA, respectivamente). En PB, no hubo diferencias significativas entre los grupos en el



número de repeticiones completadas en ningún rango de velocidad, con la excepción del rango 0.8-0.9 m · s<sup>-1</sup> (**Tabla 15**). Además, ambos grupos completaron un número similar de repeticiones totales en PB (228.1 ± 72.2 vs. 224.4 ± 33.2 para el grupo ST y SA, respectivamente) durante el período de entrenamiento.

*Tiempo total de entrenamiento por sesión*

Las diferencias entre los grupos en el tiempo total de entrenamiento completado por sesión, incluyendo el calentamiento estandarizado, mostraron una duración total significativamente más corta ( $p < 0.001$ ) para el grupo SA (23.3 min ± 2.2 min) que para el grupo ST (42.2 min ± 3.1 min).

**Tabla 14**

*Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos de entrenamiento en el ejercicio de sentadilla*

VMP (m·s <sup>-1</sup> )	TS	AS
<0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
>0.3-0.4	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
>0.4-0.5	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
>0.5-0.6	0.3 ± 0.5	0.2 ± 0.7
>0.6-0.7	8.6 ± 5.0	8.1 ± 3.7
>0.7-0.8	45.1 ± 7.8	44.2 ± 11.1
>0.8-0.9	87.0 ± 37.3	75.8 ± 24.5
>0.9-1.0	100.4 ± 45.4	68.4 ± 15.1*
>1.0-1.1	47.9 ± 24.6	25.4 ± 9.5*
>1.1	2.0 ± 4.6	0.9 ± 1.4
<b>Total de repeticiones</b>	<b>290.6 ± 91.5</b>	<b>222.8 ± 47.8*</b>

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. Los grupos experimentales realizaron diferentes configuraciones de series: ST (n= 8), SA (n= 9). Diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo ST (\* $p < 0.05$ ).

Abreviaturas: ST: Grupo experimental de series tradicionales; SA: Grupo experimental de series alternas; VMP: velocidad media propulsiva.

**Tabla 15**

*Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos de entrenamiento en el ejercicio de press de banca*

VMP (m·s <sup>-1</sup> )	TS	AS
<0.3	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
>0.3-0.4	0.0 ± 0.0	0.5 ± 1.3
>0.4-0.5	9.0 ± 3.7	9.1 ± 3.4
>0.5-0.6	45.1 ± 11.1	51.9 ± 10.6
>0.6-0.7	76.1 ± 24.5	83.9 ± 17.4
>0.7-0.8	76.0 ± 33.7	67.0 ± 9.8
>0.8-0.9	35.6 ± 12.9	24.9 ± 7.1*
>0.9-1.0	0.3 ± 0.7	1.0 ± 2.0
>1.0-1.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
>1.1	0.0 ± 0.0	0.0 ± 0.0
<b>Total de repeticiones</b>	<b>228.1 ± 72.2</b>	<b>224.4 ± 33.2</b>

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. Los grupos experimentales realizaron diferentes configuraciones de series: ST (n= 8), SA (n= 9). Diferencias estadísticamente significativas respecto al grupo ST (\* $p < 0.05$ ).

Abreviaturas: ST: Grupo experimental de series tradicionales; SA: Grupo experimental de series alternas; VMP: velocidad media propulsiva.

### **8.2.2. Sobre las variables mecánicas de rendimiento neuromuscular (CMJ y fuerza muscular)**

Solo se encontró una interacción "tiempo × grupo" estadísticamente significativa ( $p < 0.05$ ) en el test de fatiga en SQ, mostrando el grupo SA mayores incrementos que el grupo ST (ES: 0.86 vs. 0.55;  $\Delta$ :  $10.19 \pm 15.23\%$  vs.  $2.76 \pm 7.39\%$ , respectivamente) (**Tabla 16**). No se observaron diferencias significativas entre los grupos experimentales en ninguna otra de las variables analizadas para cada ejercicio (1RM, AV,  $AV \geq 1$ ,  $AV < 1$ ,  $AV \geq 0.8$ ,  $AV < 0.8$ ).

Ambos grupos mostraron incrementos pequeños y similares en CMJ entre el pre y el post entrenamiento (ES: 0.23 y 0.18 para el grupo SA y ST, respectivamente), sin embargo, solo el grupo SA mostró diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) (**Tabla 16** y **Figura 10A**). Tanto el grupo ST como el grupo SA mostraron incrementos significativos pre-post en la mayoría de las variables de fuerza obtenidas a partir de la relación carga-velocidad en el ejercicio de SQ (6.19-11.55% y 6.90-11.76%; ES: 0.60-1.12 y 0.24-1.19;  $p < 0.05-0.01$ , respectivamente) tras el período de entrenamiento (Tabla 16 y Figuras 10C, 2D). Ninguno de los dos grupos experimentales mostró diferencias significativas en el test de fatiga en el ejercicio de SQ (**Tabla 16** y **Figura 10D**). Con respecto a la parte superior del cuerpo, el grupo ST y SA también mostraron mejoras significativas

pre-post en todas las variables de fuerza evaluadas en PB (6.19-13.87% y 3.99-9.58%; ES: 0.36-1.47 y 0.22-1.05;  $p < 0.05-0.01$ , respectivamente) y en el test de fatiga ( $7.29 \pm 7.76\%$  y  $7.72 \pm 9.73\%$ ; ES: 0.71 and 1.00;  $p < 0.05$ , respectivamente) (**Tabla 17** y **Figuras 10E, 10F, 10G**).

A pesar de las mejoras significativas pre-post para ambas condiciones de entrenamiento (i.e., grupo ST vs. SA) y la ausencia de diferencias significativas para la mayoría de las variables analizadas, los resultados parecieron ser ligeramente más positivos para el grupo ST en PB en la fuerza muscular (ES: 0.36-1.47 vs. 0.22-1.05;  $\Delta$ : 6.19-13.87% vs. 3.99-9.58% para ST y SA, respectivamente).

**Tabla 16**

*Cambios en las variables neuromusculares seleccionadas entre el pre- y el post-entrenamiento de cada grupo en CMJ y en el ejercicio de sentadilla*

	ST				SA			
	Pre	Post	$\Delta$ (%)	ES	Pre	Post	$\Delta$ (%)	ES
<b>CMJ (cm)</b>	37.48 $\pm$ 6.22	38.61 $\pm$ 5.93	3.01 $\pm$ 4.84	0.18	37.37 $\pm$ 6.22	38.78 $\pm$ 5.52*	3.77 $\pm$ 6.12	0.23
<b>1RM (kg)</b>	89.00 $\pm$ 10.39	95.88 $\pm$ 11.36**	7.72 $\pm$ 5.35	0.60	97.88 $\pm$ 27.08	104.63 $\pm$ 26.86	6.90 $\pm$ 10.63	0.24
<b>AV (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>	0.93 $\pm$ 0.06	1.01 $\pm$ 0.09*	8.48 $\pm$ 7.99	0.99	0.96 $\pm$ 0.10	1.06 $\pm$ 0.10*	10.55 $\pm$ 12.08	0.95
<b>AV<math>\geq</math>1 (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>	1.14 $\pm$ 0.06	1.21 $\pm$ 0.10*	6.19 $\pm$ 5.80	0.80	1.17 $\pm$ 0.11	1.29 $\pm$ 0.08*	9.94 $\pm$ 10.57	1.19
<b>AV&lt;1 (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>	0.78 $\pm$ 0.04	0.87 $\pm$ 0.10*	11.55 $\pm$ 9.00	1.12	0.80 $\pm$ 0.03	0.90 $\pm$ 0.11*	11.76 $\pm$ 12.95	1.18
<b>Test fatiga AV (<math>m \cdot s^{-1}</math>)</b>	0.91 $\pm$ 0.02	0.94 $\pm$ 0.07	2.76 $\pm$ 7.39	0.55	0.87 $\pm$ 0.02	0.96 $\pm$ 0.14	10.19 $\pm$ 15.23#	0.86

*Nota:* Datos presentados en medias  $\pm$  DT. Los grupos experimentales entrenaron con diferentes configuraciones de series: TS (n= 8), AS (n= 9). Interacción "tiempo x grupo" estadísticamente significativa: # $p < 0.05$ . Diferencias estadísticamente significativas con respecto a TS \*  $p < 0.05$ . Diferencias significativas intragrupo entre el pre- y el post-entrenamiento: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

Abreviaturas: ST: Grupo experimental de series tradicionales; SA: Grupo experimental de series alternas; Pre: evaluación inicial; Post: evaluación final; ES: tamaño del efecto intragrupo (valores de Hedge: pequeño:  $<0.20$ ; mediano: 0.21-0.50; grande: 0.51-0.80; muy grande: 0.81-1.30); 1RM: repetición máxima estimada en el ejercicio de sentadilla; AV: VMP promedio frente todas las cargas absolutas comunes a ambos tests (pre- y post) de cargas progresivas de sentadilla; AV  $\geq 1.00$ : VMP promedio frente a todas las cargas absolutas comunes a ambos tests levantadas a una velocidad igual o superior a  $1.00 m \cdot s^{-1}$  en el test de cargas progresivas en sentadilla; AV  $< 1.00$ : VMP promedio frente a todas las cargas comunes levantadas a una velocidad inferior a  $1.00 m \cdot s^{-1}$  en el test de cargas progresivas en sentadilla; Test de fatiga AV: VMP media alcanzada frente a la misma carga absoluta y número de repeticiones comunes al pre y post test de fatiga en sentadilla.

**Tabla 17**

*Cambios en las variables neuromusculares seleccionadas entre el pre- y el post-entrenamiento de cada grupo en el ejercicio de press de banca*

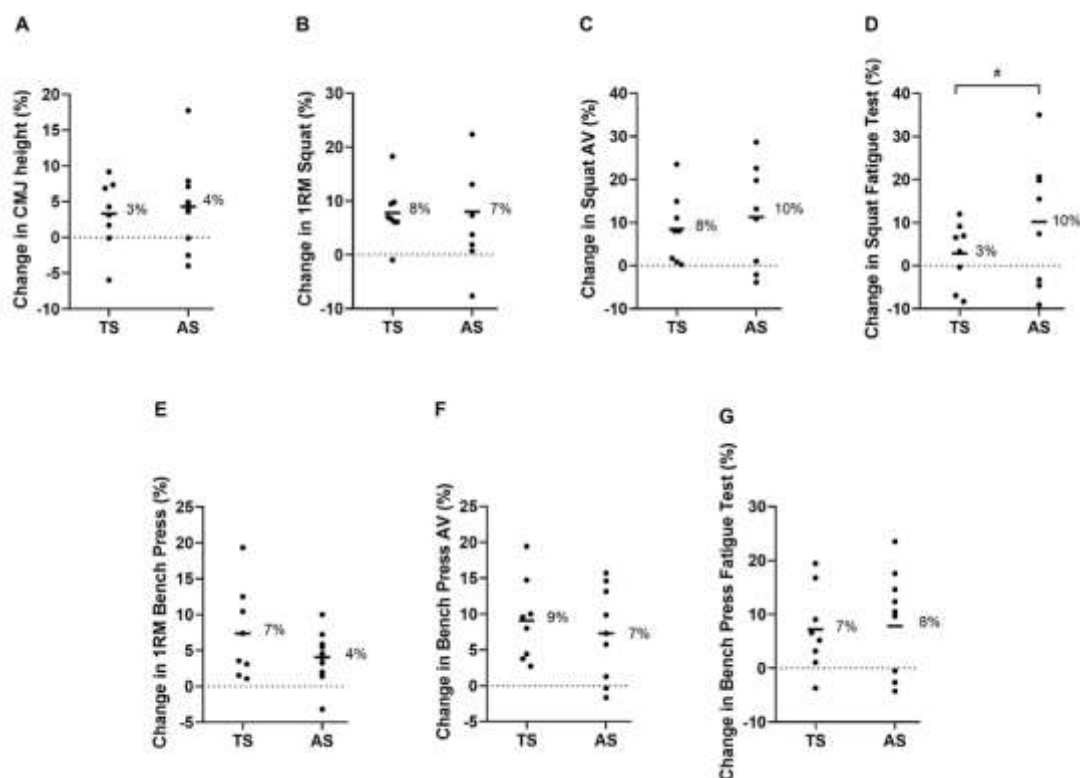
	ST			ES	SA			ES
	Pre	Post	Δ (%)		Pre	Post	Δ (%)	
<b>1RM (kg)</b>	71.00 ± 13.19	76.00 ± 13.06*	7.04 ± 6.38	0.36	72.70 ± 12.41	75.60 ± 12.62*	3.99 ± 3.58	0.22
<b>AV (m·s<sup>-1</sup>)</b>	0.78 ± 0.04	0.85 ± 0.05**	9.02 ± 5.75	1.47	0.79 ± 0.05	0.84 ± 0.06**	7.19 ± 6.16	0.86
<b>AV≥0.8 (m·s<sup>-1</sup>)</b>	1.06 ± 0.05	1.12 ± 0.05*	6.19 ± 6.26	1.14	1.06 ± 0.07	1.11 ± 0.10*	4.74 ± 5.33	0.55
<b>AV&lt;0.8 (m·s<sup>-1</sup>)</b>	0.53 ± 0.05	0.61 ± 0.06**	13.87 ± 9.40	1.38	0.57 ± 0.04	0.62 ± 0.05**	9.58 ± 8.00	1.05
<b>Test fatiga AV (m·s<sup>-1</sup>)</b>	0.65 ± 0.05	0.70 ± 0.08*	7.29 ± 7.76	0.71	0.64 ± 0.03	0.69 ± 0.06*	7.72 ± 9.73	1.00

*Nota:* Datos presentados en medias ± DT. Los grupos experimentales entrenaron con diferentes configuraciones de series: TS (n= 8), AS (n= 9). Interacción "tiempo x grupo" estadísticamente significativa: #*p* < 0.05. Diferencias estadísticamente significativas con respecto a TS #*p* < 0.05. Diferencias significativas intragrupo entre el pre- y el post-entrenamiento: \**p* < 0.05, \*\**p* < 0.01.

Abreviaturas: ST: Grupo experimental de series tradicionales; SA: Grupo experimental de series alternas; Pre: evaluación inicial; Post: evaluación final; ES: tamaño del efecto intragrupo (valores de Hedge: pequeño: <0.20; mediano: 0.21-0.50; grande: 0.51-0.80; muy grande: 0.81-1.30); 1RM: repetición máxima estimada en el ejercicio de press de banca; AV: VMP promedio frente a todas las cargas absolutas comunes a ambos tests (pre- y post) de cargas progresivas en press de banca; AV ≥ 0.80: VMP promedio frente a todas las cargas absolutas comunes a ambos tests levantadas a una velocidad igual o superior a 0.80 m·s<sup>-1</sup> en el test de cargas progresivas en press de banca; AV < 0.80: VMP promedio frente a todas las cargas comunes levantadas a una velocidad inferior a 0.80 m·s<sup>-1</sup> en el test de cargas progresivas en press de banca; Test de fatiga AV: VMP media alcanzada frente a la misma carga absoluta y número de repeticiones comunes al pre y post test de fatiga en press de banca.

Figura 10

Cambio porcentual promedio e individual en las variables de rendimiento neuromuscular



Nota: Salto con contra-movimiento, CMJ (A), 1RM estimada en sentadilla (B), velocidad promedio alcanzada con todas las cargas en el test de cargas progresivas en sentadilla (C), test de fatiga en sentadilla (D), 1RM estimada en press de banca (E), velocidad promedio alcanzada con todas las cargas en el test de cargas progresivas en press de banca (F), y velocidad promedio en el test de fatiga en press de banca (G). TS: Grupo de series tradicionales (n= 8); AS: Grupo de series alternadas (n= 9). Interacción "tiempo x grupo" estadísticamente significativa: # $p < 0.05$ . Diferencias estadísticamente significativas con respecto a TS # $p < 0.05$ . Diferencias significativas intragrupo entre pre- y post-entrenamiento: \* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ .

### 8.3. Discusión

El propósito del presente estudio fue comparar el efecto de dos programas VBRT con diferente configuración de las series (ST vs. SA) sobre el rendimiento neuromuscular. Hasta donde sabemos, este es el primer estudio que compara configuraciones de series tradicionales versus alternas: (1) utilizando un emparejamiento de ejercicios que involucran grupos musculares de las extremidades superiores e inferiores (ejercicio de SQ y PB) a través de una investigación longitudinal con un protocolo de entrenamiento idéntico, (2) ajustando e igualando la carga relativa (%1RM) y el volumen de entrenamiento (%PV en la serie) en cada sesión mediante la metodología VBRT para todos los sujetos, y (3) analizando el efecto del entrenamiento con una amplia variedad

## Estudio 2: Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus...

de variables de rendimiento físico. El principal hallazgo de la presente investigación fue que el grupo SA obtuvo mejoras similares en CMJ, fuerza y resistencia muscular en el ejercicio de SQ y PB que el grupo ST. Por lo tanto, considerando que la duración total del entrenamiento fue significativamente más corta (aproximadamente la mitad) para el grupo SA, los resultados del presente estudio sugieren que la configuración de SA constituye un método de entrenamiento más eficiente en cuanto al tiempo que la configuración de ST, ya que permite optimizar el tiempo de entrenamiento sin comprometer las ganancias de fuerza, al menos cuando ambos ejercicios combinados se realizan con las cargas relativas moderadas y el grado moderado de fatiga en la serie utilizado en nuestra investigación.

El programa de entrenamiento de la fuerza aplicado en este estudio resultó en mejoras significativas en la mayoría de las variables evaluadas de la fuerza en el ejercicio de SQ y PB para ambos grupos experimentales (**Tabla 16** y **Tabla 17**, respectivamente). Aunque no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los grupos, el grupo ST mostró mayores cambios porcentuales pre-post y ES en las variables evaluadas de la fuerza en PB que el grupo SA (**Tabla 17**). Estos resultados se obtuvieron a pesar de que ambos grupos completaron un número total similar de repeticiones durante el programa de entrenamiento (**Tabla 13** y **Tabla 15**). Esta ligera tendencia a obtener mejores resultados en las ganancias de fuerza con PB para ST podría deberse a que este ejercicio no se alternó/combinó con el ejercicio de SQ en la misma serie, lo que permitió realizar cada serie del ejercicio de PB prácticamente sin fatiga residual (Weakley et al., 2020). En relación con lo anterior, otro aspecto destacable fue que los sujetos del grupo ST realizaron significativamente ( $p < 0.05$ ) más repeticiones y a mayores velocidades que los realizados por el grupo SA en el ejercicio de SQ durante todo el período de entrenamiento (**Tabla 12** y **Tabla 14**). Nuevamente, este hecho podría explicarse por el menor grado de fatiga inducido en el grupo ST al no intercalar el ejercicio de PB durante los intervalos de recuperación entre series del ejercicio de SQ. Sin embargo, esa diferencia aparentemente no supuso una ventaja para la mejora del rendimiento en el ejercicio de SQ para el grupo ST en comparación con el grupo SA, ya que las ganancias obtenidas en 1RM, AV, AV  $\geq 1$  y AV  $< 1$  fueron prácticamente idénticas para ambos grupos (**Tabla 16**).

Con respecto al rendimiento en resistencia muscular en el ejercicio de SQ (evaluado mediante la VMP promedio en el test de fatiga), ninguno de los dos grupos experimentales mostró cambios significativos pre-post, aunque el grupo SA obtuvo un mayor cambio porcentual y ES que el grupo TS. Es probable que la alta variabilidad

inter-sujetos observada en ambos grupos experimentales en la VMP promedio en el test de fatiga tras el período de entrenamiento haya impedido encontrar cambios estadísticamente significativos en esta variable. Por tanto, a pesar del porcentaje de cambio positivo observado en el grupo SA (+10.2%) y mostrando una interacción "tiempo x grupo" significativa con respecto al grupo ST, parece difícil generalizar y extraer conclusiones definitivas con respecto a qué tipo de configuración de las series de entrenamiento mejora la resistencia muscular en mayor medida. Además, cuando se analizó la respuesta individual en este test, se observó que aquellos sujetos que no mejoraron su rendimiento en el test de fatiga tampoco mejoraron (o lo hicieron ligeramente) en otras variables obtenidas del test de cargas progresivas (AV, 1RM) (**Figura 10B, Figura 10C**). Este hecho parece estar respaldado por investigaciones previas que han demostrado que los incrementos en la resistencia muscular frente a cargas moderadas parecen estar relacionados principalmente con el incremento en la fuerza de 1RM (Rodríguez-Rosell et al., 2021a; Rodríguez-Rosell et al., 2020b).

Finalmente, ambos grupos mostraron incrementos pequeños y similares en el rendimiento en CMJ (**Tabla 16**). Estos resultados son sustancialmente menores ( $\Delta$ : ~3%; ES: 0.18-0.23) que los mostrados por estudios previos ( $\Delta$ : 5.3-12.3%; ES: 0.45-0.84) utilizando la metodología VBRT con magnitudes de carga similares (50-70% 1RM) y %PV (10-20%) en la serie (Rodríguez-Rosell et al., 2021a; Rodríguez-Rosell et al., 2021b). Sin embargo, la mayoría de estos estudios llevaron a cabo un programa de entrenamiento más largo (7-8 vs. 6 semanas de duración) (Rodríguez-Rosell et al., 2021a) o con una mayor frecuencia de entrenamiento mayor (3 vs. 2 sesiones por semana) (Pareja-Blanco et al., 2017b) en comparación con el presente estudio, lo que podría favorecer mayores cambios en la capacidad de salto vertical. Además, es importante señalar que en estos estudios previos el programa de entrenamiento estuvo compuesto únicamente por SQ, mientras que en el presente estudio se combinó el ejercicio de SQ con el ejercicio de PB (independientemente de que las series en ambos ejercicios se configurasen con un formato tradicional o alterno), por lo que probablemente se generó un menor grado de fatiga en las sesiones de entrenamiento. Así, el mayor grado de fatiga alcanzado en cada sesión de entrenamiento en el presente estudio, debido a la combinación de ambos ejercicios, podría ir en detrimento de las mejoras de las acciones ejecutadas a alta velocidad como el salto vertical, ya que las ganancias de fuerza máxima (1RM) fueron comparables a las mostradas en estudios previos (Pareja-Blanco et al., 2017b; Rodríguez-Rosell et al., 2021a).

## Estudio 2: Series alternas emparejadas entre extremidades opuestas versus...

Los efectos de la realización consecutiva de dos ejercicios diferentes dirigidos a los mismos grupos musculares o a grupos musculares antagonistas (llamado *super-set* o *paired set training*), seguido de un tiempo de recuperación, han sido previamente analizados en otros estudios (Robbins et al., 2010b; Robbins et al., 2010c; Robbins et al., 2010d). Sin embargo, la falta de estudios longitudinales que examinen el efecto de las series alternas entre ejercicios para extremidades opuestas (e.g., entre el ejercicio de SQ y PB) sobre el rendimiento neuromuscular imposibilitan una comparación directa con los resultados del presente estudio. En cualquier caso, teniendo en consideración los resultados obtenidos, parece que el presunto aumento de la fatiga inducida por la configuración de SA durante las sesiones de entrenamiento no afectó negativamente el desarrollo de la fuerza de las extremidades superiores o inferiores. Estos hallazgos parecen concordar con un estudio previo que mostró que un entrenamiento en circuito (3 ejercicios monoarticulares agrupados para la parte superior e inferior del cuerpo) no afectó negativamente a las adaptaciones de la fuerza (1RM, potencia pico en las extremidades superiores) en comparación con una estructuración tradicional de los mismos ejercicios, con el mismo orden de ejecución y la misma carga de entrenamiento (3–6 series x 6 RM, 3 min de recuperación entre series) (Alcaraz et al., 2011). Sin embargo, este estudio examinó el efecto sobre el rendimiento de combinar ejercicios monoarticulares, los cuales pueden no implicar la misma fatiga muscular periférica y competencia por el suministro de sangre que la de los ejercicios multiarticulares como los utilizados en nuestro estudio (i.e., ejercicio de SQ y PB) (Ciccione et al., 2014). Por otro lado, Robbins et al. (2009) compararon una metodología en super series versus tradicional en hombres entrenados durante un programa de entrenamiento periodizado (i.e., 6RM a 3RM) de 8 semanas utilizando la combinación del ejercicio de PB y remo en banco. Ambos grupos mostraron mejoras similares en la 1RM en el remo en banco y PB, la altura del lanzamiento en PB usando el 40% de la 1RM, la velocidad máxima y la potencia máxima en PB. Aunque este pionero estudio no examinara ejercicios emparejados que alternaran grupos musculares de las extremidades superiores e inferiores, sus resultados parecen estar en línea con los mostrados en el presente estudio.

### **8.4. Conclusión**

Según los resultados del presente estudio, los programas de entrenamiento que utilizaron configuraciones de SA y ST combinando los ejercicios de SQ y PB con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y alcanzando un bajo grado de fatiga en la serie (15-20% PV) en ambos ejercicios, dieron como resultado mejoras similares de salto vertical



y fuerza. Sin embargo, las SA resultaron ser una estrategia de entrenamiento más eficiente porque aproximadamente redujeron a la mitad la duración de las sesiones de entrenamiento en comparación con la condición de ST.



# **9. CONCLUSIONES**



## 9. CONCLUSIONES

### ESTUDIO 1 (efectos agudos)

Objetivo específico: Comparar la *velocidad de ejecución* de la barra entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series en los ejercicios de sentadilla completa y press de banca ante diferentes cargas relativas y un grado moderado-bajo de fatiga en la serie.

- No se observaron diferencias significativas entre una configuración tradicional y alterna de las series en el promedio entre las tres series de la VMP<sub>PRIMERA</sub> ante cargas relativas entre el 55-70% 1RM utilizando un moderado-bajo grado de fatiga en la serie (15 y 20% PV en el ejercicio de sentadilla completa y press de banca, respectivamente).
- No se observaron diferencias significativas entre una configuración tradicional y alterna de las series en la VMP<sub>PRIMERA</sub> (i.e., %1RM) entre cada una de las tres series ante ninguna carga relativa entre el 55-70% utilizando un moderado-bajo grado de fatiga en la serie (15 y 20% PV en el ejercicio de sentadilla completa y press de banca, respectivamente).

Objetivo específico: Comparar el *número de repeticiones por serie* entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series en el ejercicio de sentadilla completa ante diferentes cargas relativas y un grado moderado-bajo de fatiga en la serie.

- No se observaron diferencias significativas entre una configuración tradicional y alterna de las series en el número de repeticiones por serie (promediada entre las tres series) ante cargas relativas entre el 55-70% 1RM utilizando un moderado-bajo grado de fatiga en la serie (15% PV).
- Sin embargo, el grupo de series tradicionales (ST) realizó un número total de repeticiones por serie mayor, aunque no estadísticamente significativo, que el grupo de series alternas (SA) en el conjunto de todas las sesiones de evaluación entre el 55-70% 1RM.

## Conclusiones

---

- Parece haber existido una tendencia a que ante las cargas relativas menores (<65% 1RM) la diferencia en el número de repeticiones por serie fuera mayor, aunque no significativa, en el grupo ST que en el grupo SA.
- El grupo ST completó un número significativamente mayor de repeticiones que el grupo SA a velocidades más rápidas ( $VMP > 0.90-1.10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) así como de repeticiones totales en el espectro completo de rangos de velocidad (< 0.3 a > 1.1  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

Objetivo específico: Comparar el *número de repeticiones por serie* entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series en el ejercicio de press de banca ante diferentes cargas relativas y un grado moderado-bajo de fatiga en la serie.

- No se observaron diferencias significativas entre una configuración tradicional y alterna de las series en el número de repeticiones por serie (promediada entre las tres series) ante cargas relativas entre el 55-70% 1RM utilizando un moderado-bajo grado de fatiga en la serie (20% PV), como tampoco en el total de repeticiones del conjunto de todas las sesiones de evaluación.
- No hubo diferencias significativas entre ambos grupos (ST vs. SA) en el número de repeticiones realizadas a los distintos rangos de velocidad, excepto en el rango de 0.80-0.90  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , ni de repeticiones totales en el espectro completo de rangos de velocidad (< 0.3 a > 1.1  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).
- Se observaron diferencias significativas entre una configuración tradicional y alterna de las series en el número de repeticiones realizadas entre cada una de las tres series con las cargas correspondientes al 55% (primera serie), 60% (primera serie) y 65% (tercera serie) de la 1RM.

## ESTUDIO 2 (efectos crónicos)

Objetivo específico: Comparar el rendimiento de la *capacidad de salto vertical con contra-movimiento* entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series tras un programa de entrenamiento idéntico.

- Se obtuvieron mejoras pequeñas y similares entre la configuración de series tradicionales y series alternas emparejadas tras un programa de entrenamiento idéntico con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y alcanzando un moderado-bajo grado de fatiga en la serie (15 y 20% PV en sentadilla completa y press de banca, respectivamente).
- Solamente el grupo de series alternas mostró diferencias pre-post significativas.

Objetivo específico: Comparar el rendimiento en *fuerza muscular* en el ejercicio de sentadilla completa entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series tras un programa de entrenamiento idéntico.

- Se obtuvieron incrementos significativos pre-post en la mayoría de las variables de la fuerza analizadas a partir de la relación carga-velocidad ( $AV$ ,  $AV \geq 1$ ,  $AV < 1$ ) con ambos tipos de configuración de las series (ST y SA) tras un programa de entrenamiento idéntico con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y alcanzando un moderado-bajo grado de fatiga en cada serie (15% PV).
- No se observaron diferencias significativas entre la configuración de series tradicionales y series alternas emparejadas en las variables de la fuerza analizadas a partir de la relación carga-velocidad (1RM,  $AV$ ,  $AV \geq 1$ ,  $AV < 1$ ) tras un programa de entrenamiento idéntico con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y alcanzando un moderado-bajo grado de fatiga en cada serie (15% PV).

Objetivo específico: Comparar el rendimiento en *resistencia muscular* en el ejercicio de sentadilla completa entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series tras un programa de entrenamiento idéntico.

- Ninguno de los dos grupos (ST y SA) mostró diferencias significativas pre-post en el test de fatiga.
- No obstante, se obtuvo un incremento porcentual y tamaño del efecto mayor mediante la configuración de series alternas emparejadas que mediante la configuración tradicional en el test de fatiga.

Objetivo específico: Comparar el rendimiento en *fuerza muscular* en el ejercicio de press de banca entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series tras un programa de entrenamiento idéntico.

- Se obtuvieron incrementos significativos pre-post en todas las variables analizadas a partir de la relación carga-velocidad (1RM,  $AV$ ,  $AV \geq 0.8$ ,  $AV < 0.8$ ) con ambos tipos de configuración de las series (ST y SA) tras un programa de entrenamiento idéntico con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y alcanzando un moderado-bajo grado de fatiga en cada serie (20% PV).
- No se observaron diferencias significativas entre la configuración de series tradicionales y series alternas emparejadas en las variables de la fuerza analizadas a partir de la relación carga-velocidad (1RM,  $AV$ ,  $AV \geq 0.8$ ,  $AV < 0.8$ ) tras un

## Conclusiones

---

programa de entrenamiento idéntico con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y un moderado-bajo grado de fatiga en cada serie (20% PV).

- A pesar de las mejoras significativas pre-post y la ausencia de diferencias significativas entre ambas condiciones de entrenamiento (ST y SA) en las variables analizadas en este ejercicio (1RM, AV,  $AV \geq 0.8$ ,  $AV < 0.8$ ), los resultados mostraron mayores porcentajes de cambio y tamaños del efecto para el grupo de series tradicionales.

Objetivo específico: Comparar el rendimiento en *resistencia muscular* en el ejercicio de press de banca entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series tras un programa de entrenamiento idéntico.

- Ambos tipos de configuración de las series (ST y SA) mostraron incrementos significativos pre-post en el test de fatiga tras un programa de entrenamiento idéntico con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y alcanzando un moderado-bajo grado de fatiga en cada serie (20% PV).
- No se observaron diferencias significativas entre la configuración de series tradicionales y series alternas emparejadas en el test de fatiga tras un programa de entrenamiento idéntico con cargas relativas moderadas (55-70% 1RM) y un moderado-bajo grado de fatiga en cada serie (20% PV).

## ESTUDIO 1 y 2

Objetivo específico: Comparar el *tiempo invertido por sesión* ante un mismo volumen de entrenamiento realizado entre una configuración tradicional *versus* alterna de las series realizando los ejercicios de sentadilla completa y press de banca.

- Una configuración alterna de las series entre el ejercicio de sentadilla completa y press de banca permitió realizar el mismo volumen de entrenamiento (i.e., número de series por ejercicio) en casi la mitad de tiempo que mediante una configuración tradicional.
- Por tanto, el ahorro de tiempo que supuso una reducción significativa en la duración de la sesión para completar un mismo volumen fue la principal ventaja de realizar series alternas emparejadas con respecto a una configuración tradicional.



# **10. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**



## 10. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Para ambos estudios (Estudio 1 y Estudio 2) el tamaño muestral relativamente pequeño (9-11 sujetos por grupo) y la heterogeneidad en los niveles de fuerza entre los sujetos seleccionados es la principal limitación, no pudiendo descartar un *error tipo II*. No haber podido acceder a una muestra de sujetos suficientemente amplia y homogénea, con un nivel de entrenamiento/desarrollo de la fuerza similar, es la mayor limitación de los dos estudios. Por lo que, se han podido ver afectados la significatividad en el conjunto de los datos sobre las variables de rendimiento neuromuscular evaluadas, entre ambas condiciones de entrenamiento con sujetos moderadamente entrenados. Por otra parte, el hecho de haber utilizado una técnica de muestreo por conveniencia entre grupos, basada en el nivel de fuerza relativa de los sujetos, pudo minimizar el efecto de la propia heterogeneidad muestral sobre el efecto del entrenamiento. Otra probable limitación con respecto a los sujetos participantes es la posible realización de actividad física ajena a las sesiones de evaluación y/o entrenamiento programadas para cada estudio. Aunque se les solicitó que se abstuvieran de realizar ejercicio intenso y fatigante durante la duración de cada estudio experimental, resultó inevitable que como estudiantes del Grado en Ciencias de la Actividad Física y Deporte tuvieran que realizar prácticas deportivas de algunas asignaturas. No obstante, esta limitación queda en parte controlada por la alta probabilidad de que el grado de actividad ajeno al entrenamiento programado se distribuyera de manera equivalente en cada grupo.

Un aspecto logístico mejorable que podría haber facilitado el desarrollo de las sesiones con el grupo de series alternas emparejadas habría sido disponer de dos (2) máquinas Smith en paralelo, para de este modo no tener que estar cambiando las cargas e introduciendo y retirando el banco durante los intervalos entre la realización de cada ejercicio. No obstante, esta situación habría requerido instalar también dos (2) transductores lineales de velocidad independientes.

Otra limitación diferente y particular del Estudio 2 (efectos crónicos) está relacionada con la duración de la intervención de entrenamiento, ya que es posible que un período de entrenamiento superior a 6 semanas (i.e., 12 sesiones) pudiera haber producido mayores cambios y/o diferencias entre ambas condiciones de entrenamiento (i.e., ST vs. SA). Del mismo modo, haber podido analizar los cambios de rendimiento físico

### *Limitaciones de la Investigación*

---

durante la intervención (e.g., 1RM estimada y CMJ), y no solamente al finalizarla, podría haber aportado información sobre el curso en la evolución del rendimiento a lo largo del programa de entrenamiento entre ambas condiciones.

Finalmente, los hallazgos de los presentes estudios son aplicables a una población con un rendimiento y grado de entrenamiento similar a los sujetos utilizados en nuestros estudios (i.e., jóvenes varones moderadamente entrenados) y al programa de entrenamiento específico realizado. Por tanto, a pesar de la relevancia de los resultados obtenidos, es importante señalar que los resultados pueden variar, por ejemplo, con diferentes emparejamientos de ejercicios y/o orden de ejecución, diferentes cargas relativas y/o distribución de las mismas a lo largo del período de entrenamiento, un mayor nivel de fatiga (%PV intra-serie), una duración de la recuperación entre series diferente o una población distinta (i.e., sujetos altamente entrenados en fuerza). Consiguientemente, se necesitan más estudios para aclarar si los efectos observados serían similares ante diferentes propuestas de entrenamiento.

# **11. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**



## 11. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Los hallazgos de nuestros estudios nos incitan para continuar investigando sobre esta área de conocimiento, replicando esta clase de estudios ante distintas condiciones de entrenamiento (e.g., tipo ejercicios, cargas de entrenamiento, tipo de población, etc.) y plantearnos nuevas hipótesis. Por ejemplo, la hipótesis de que haya otras combinaciones de ejercicios diferentes a las utilizados, realizados con un moderado a bajo grado de fatiga en la serie (<25% PV), que pudieran proporcionar resultados similares a los encontrados es una suposición interesante. Esta y otras muchas ideas puramente especulativas evidencian la necesidad de realizar más investigaciones en este campo. En este sentido, los futuros estudios que continuaran con esta línea de investigación deberían diseñarse para resolver algunas de las siguientes cuestiones:

- Comparar el efecto agudo y crónico sobre el rendimiento neuromuscular de la realización de series tradicionales versus series alternas emparejadas entre 2 ejercicios diferentes a los utilizados en nuestros estudios pero que también se utilizan habitualmente en el entrenamiento de fuerza. Por ejemplo, emparejamientos entre ejercicios que involucren extremidades opuestas (e.g., sentadilla + jalón polea, sentadilla + remo prono en banco, sentadilla + press de hombro con barra, cargada de fuerza + press de banca, etc.) o las mismas extremidades realizando acciones motrices antagonistas (e.g., jalón polea + press de hombros, press de banca + remo prono en banco, dominadas + press de banca, etc.).
- Comparar el efecto agudo y crónico sobre el rendimiento neuromuscular de la realización de series tradicionales versus series alternas utilizando agrupamientos de 3 ejercicios que involucren grupos musculares agonistas diferentes entre sí. Por ejemplo: sentadilla + press de banca + remo prono en banco; cargada de fuerza + press de banca + jalón polea; sentadilla + jalón polea + ejercicio de estabilización raquídea (core).
- Comparar el efecto agudo y crónico sobre el rendimiento neuromuscular de la realización de series tradicionales versus series alternas emparejadas utilizando como muestra sujetos de distintas características, fundamentalmente franjas etarias (i.e., jóvenes vs. adultos mayores), niveles de entrenamiento (i.e., desentrenados vs. entrenados) y género (i.e., hombres vs. mujeres).
- Comparar el efecto agudo y crónico de la realización de series tradicionales versus series alternas emparejadas invirtiendo el orden de los ejercicios combinados o agrupados (2 ó 3 ejercicios). Es decir, en el caso del Estudio 1 y Estudio 2 realizar el ejercicio de press de banca en primer lugar (antes que el ejercicio de sentadilla).

### *Futuras Líneas de Investigación*

---

- Estudiar experimentalmente las situaciones anteriores ante un rango de intensidades relativas diferentes (e.g., del 70 al 85% 1RM), caso del Estudio 1 y 2, y/o ciclos de entrenamiento de mayor duración (e.g., 8-10 semanas), caso del Estudio 2. En relación con el Estudio 2, también podrían estudiarse estas situaciones ante ciclos de entrenamiento atendiendo a diferentes modelos de programación o estrategias para distribuir la carga relativa a lo largo de un mismo periodo de entrenamiento (e.g., modelo de intensidad estable vs. intensidad progresiva vs. ondulante).
- Estudiar experimentalmente las situaciones anteriores y replicar los estudios realizados (Estudio 1 y Estudio 2) ante diferentes grados de fatiga o %PV intra-serie (e.g., 25-35%) y/o utilizando un tiempo de recuperación entre series más largo (i.e., 4-5 min).

Por último, si bien todo este tipo de estudios se basan en analizar los cambios de rendimiento entre ambos tipos de configuración de las series a través de variables mecánicas (i.e., velocidad de ejecución, número de repeticiones), podría ser complementario poder utilizar también algunas variables relacionadas con el estrés fisiológico al ejercicio (i.e., concentración de lactato, RPE) para una mejor interpretación de los resultados.



# **12. APLICACIONES PRÁCTICAS**



## 12. APLICACIONES PRÁCTICAS

Los hallazgos de nuestras investigaciones pueden servir de guía práctica para implementar de manera efectiva configuraciones de series alternas en los programas de entrenamiento de la fuerza que, sin comprometer sustancialmente el rendimiento neuromuscular entre series (i.e., la velocidad de ejecución y las repeticiones por serie), tengan como propósito mejorar la fuerza muscular y la capacidad de salto. Esto puede ser especialmente útil para aquellas personas o grupos de deportistas con limitaciones de tiempo para realizar entrenamientos de fuerza donde se combinen ejercicios para extremidades superiores e inferiores en la misma sesión.

En base a los resultados encontrados, la realización de series alternas entre dos ejercicios de fuerza no debería acarrear un efecto perjudicial sustancial en el rendimiento neuromuscular entre series consecutivas ni sobre la mejora del rendimiento neuromuscular tras un programa de entrenamiento, en comparación con una configuración tradicional de las series, siempre que se respetaran ciertas reglas:

- i) Los ejercicios emparejados involucren diferentes segmentos corporales o músculos agonistas (i.e., grupos musculares de la parte superior e inferior del cuerpo),
- ii) el grado de fatiga alcanzado en cada serie sea de moderado a bajo en ambos ejercicios emparejados (<15-20% PV intra-serie), es decir, las series deben realizarse sustancialmente alejadas del fallo muscular, y
- iii) el tiempo de recuperación entre series para cada ejercicio sea lo suficientemente largo como para permitir una recuperación completa o casi completa del sistema neuromuscular (~3 a 5 min).

Asimismo, aunque no haya sido objeto de análisis en la presente tesis doctoral, sería posible que otro tipo de ventajas más allá de la optimización del tiempo de entrenamiento pudieran justificar la inclusión del entrenamiento de la fuerza mediante series alternas emparejadas. Por ejemplo, algunas reseñas científicas han mostrado un mayor gasto energético en la unidad de tiempo y un mayor exceso de consumo de oxígeno post-ejercicio que mediante series tradicionales, lo que podría supuestamente tener implicaciones favorables sobre el control del peso corporal (Kelleher et al., 2010; Realzola et al., 2021). Todos estos posibles beneficios y ventajas hacen que la configuración de series alternas emparejadas entre ejercicios diferentes sea una

estrategia potencialmente propicia para aquellos practicantes, deportistas, pacientes o clientes con un tiempo limitado para el entrenamiento en general y de fuerza en particular. Finalmente, aunque no haya sido estudiado directamente, es posible que una configuración de series alternas entre ejercicios diferentes pudiera ser percibida de manera menos monótona/más entretenida que la configuración tradicional durante los entrenamientos, favoreciendo así el cumplimiento del programa de entrenamiento para la mejora de la función muscular.

# **13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaraz, P. E., Sánchez-Lorente, J., y Blazevich, A. J. (2008). Physical performance and cardiovascular responses to an acute bout of heavy resistance circuit training versus traditional strength training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 667-671. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31816a588f>
- Alcaraz, P. E., Pérez-Gómez, J., Chavarrias, M., y Blazevich, A. J. (2011). Similarity in adaptations to high-resistance circuit vs. traditional strength training in resistance-trained men. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(9), 2519–2527. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182023a51>
- American College of Sports Medicine (ACSM) (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687–708. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19204579/>
- Antunes, L., Bezerra, E. S., Sakugawa, R. L., y Dal Pupo, J. (2018). Effect of cadence on volume and myoelectric activity during agonist-antagonist paired sets (supersets) in the lower body. *Sports Biomechanics*, 17(4), 502. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29370715/>
- Attia, A., Dhahbi, W., Chaouachi, A., Padulo, J., Wong, D. P., y Chamari, K. (2017). Measurement errors when estimating the vertical jump height with flight time using photocell devices: the example of Optojump. *Biology of Sport*, 34(1), 63-70. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28416900/>
- Augustsson, J., Thomeé, R., Hörnstedt, P., Lindblom, J., Karlsson, J., y Grimby, G. (2003). Effect of pre-exhaustion exercise on lower-extremity muscle activation during a leg press exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(2), 411–416. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12741886/>
- Azorín, F., y Sánchez-Crespo, J. L. (1994). *Métodos y aplicaciones de muestreo*. Editorial: Madrid: Alianza Universidad Textos.
- Baker, D., y Newton, R. U. (2005). Acute effect on power output of alternating an agonist and antagonist muscle exercise during complex training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(1), 202-205. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15705035/>
- Balsalobre-Fernández, C., Kuzdub, M., Poveda-Ortiz, P., y Campo-Vecino, J. D. (2016). Validity and reliability of the push wearable device to measure movement velocity during the back squat exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(7), 1968-1974. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26670993/>

- Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., Muñoz-López, M., Jiménez-Sainz, L., y Lorenzo, S. (2017a). Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1-RM on the bench-press exercise. *Journal of Sports Science*, 36(1), 64-70. <https://abacus.universidadeuropea.com/handle/11268/6435>
- Balsalobre-Fernández, C., García-Ramos, A. y Jiménez-Reyes, P. (2017b). Load-velocity profiling in the military press exercise: Effects of gender and training. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 13(5), 743–750. <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1747954117738243>
- Balsamo, S., Tibana, R. A., Nascimento, Dda. C., de Farias, G. L., Petrucelli, Z., de Santana, Fdos S., Martins, O. V., de Aguiar, F., Pereira, G. B., de Souza, J. C., y Prestes, J. (2012). Exercise order affects the total training volume and the ratings of perceived exertion in response to a super-set resistance training session. *International Journal of General Medicine*, 5(1), 123–127. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3282595/>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., y Haff, G. G. (2017). Reliability and validity of the load-velocity relationship to predict the 1RM back squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(7), 1897-1904. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27669192/>
- Banyard, H. G, Nosaka, K., Vernon, A. D., y Haff, G. G. (2018). The Reliability of Individualized Load-Velocity Profiles. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(6), 763-769. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29140148/>
- Bazuelo-Ruiz, B., Padial, P., García-Ramos, A., Morales-Artacho, A. J., Miranda, M. T., y Feriche, B. (2015). Predicting maximal dynamic strength from the load-velocity relationship in squat exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(7), 1999–2005. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25881572/>
- Benavides-Ubric, A., Díez-Fernández, D. M., Rodríguez-Pérez, M. A., Ortega-Becerra, M., y Pareja-Blanco, F. (2020). Analysis of the Load-Velocity Relationship in Deadlift Exercise. *Journal of Sports Science and Medicine*, 19(3), 452-459. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7429441/>
- Berlanga, V., y Rubio Hurtado, M. J. (2012). Clasificación de pruebas no paramétricas. Cómo aplicarlas en SPSS. REIRE. *Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 5(2), 101-113. <http://hdl.handle.net/2445/45283>
- Bosco, C., Belli, A., Astrua, M., Tihanyi, J., Pozzo, R., Kellis, S., Tsarpela, O., Foti, C., Manno, R., y Tranquilli, C. (1995). A dynamometer for evaluation of dynamic muscle work. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 70(5), 379-86. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/7671871/>



- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., y Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: A review of the acute programme variables. *Sports Medicine*, 35 (10), 841–851. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16180944/>
- Bobbert, M. F. (1985). Why is the force-velocity relationship in leg press tasks quasi-linear rather than hyperbolic? *Journal of Applied Physiology*, 112(12), 1975–1983. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22442026/>
- Brennecke, A., Guimaraes, T. M., Leone, R., Cadarci, M., Mochizuki, L., Simão, R., Amadio, A. C., y Serrão, J. C. (2009). Neuromuscular activity during bench press exercise performed with and without the preexhaustion method. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23, 1933–1940. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19855317/>
- Brentano, M. A., Umpierre, D., Santos, L. P., Lopes, A. L., Radaelli, R., Pinto, R. S., y Krueel, L. F. M. (2017). Muscle damage and muscle activity induced by strength training super-sets in physically active men. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(7), 1847–1858. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27243916/>
- Brzycki, M. (1993). Strength testing: prediction of one-rep max from repetitions to fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64(1), 88–90. <https://scholar.princeton.edu/brzycki/publications/strength-testing---predicting-one-rep-max-reps-fatigue>
- Carregaro, R. L., Gentil, P., Brown, L. E., Pinto, R. S., y Bottaro, M. (2011). Effects of antagonist pre-load on knee extensor isokinetic muscle performance. *Journal of Sports Science*, 29(3), 271-278. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21170798/>
- Carregaro, R. L., Cunha, R., Oliveira, C. G., Brown, L. E., y Bottaro, M. (2013). Muscle fatigue and metabolic responses following three different antagonist pre-load resistance exercises. *Journal of Electromyography & Kinesiology*, 23(5), 1090-1096. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23742915/>
- Cicccone, A. B., Brown, L. E., Coburn, J. W., y Galpin, A. J. (2014). Effects of traditional vs. alternating whole-body strength training on squat performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(9), 2569–2577. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24942175/>
- Comstock, B. A., Solomon-Hill, G., Flanagan, S. D., Earp, J. E., Luk, H-Y., Dobbins, K. A., Dunn-Lewis, C., Fragala, Maren, S., Ho, J. Y., Hatfield, D. L., Vingren, J. L., Denegar, C. R., Volek, J. S., Kupchak, Brian R., Maresh, C. M., y Kraemer, W. J. (2011). Validity of the myotest in measuring force and power production in the squat and bench press. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(8), 2293–2297. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21747293/>

## *Referencias Bibliográficas*

---

- Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J. J., y Jiménez-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of Sports Science*, 34(12), 1099–1106. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26395837/>
- Cormie, P., Deane, R., y McBride, J. M. (2007). Methodological concerns for determining power output in the jump squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 424-430. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17530961/>
- Courel-Ibáñez, J., Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Escribano-Peñas, P., Chavarren-Cabrero, J., González-Badillo, J. J., y Pallarés, J. G. (2019). Reproducibility and repeatability of five different technologies for bar velocity measurement in resistance training. *Annals of Biomedical Engineering*, 47(7), 1523-1538. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30980292/>
- Davies, T., Orr, R., Halaki, M., y Hackett, D. (2016). Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 46(4), 487-502. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26666744/>
- de Souza, J. A. A. A., Paz, G. A., y Miranda, H. (2017). Blood lactate concentration and strength performance between agonist-antagonist paired set, superset and traditional set training. *Archivos de Medicina del Deporte*, 34(3), 145-150. [https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/or04\\_souza-ABSTRACT.pdf](https://archivosdemedicinadeldeporte.com/articulos/upload/or04_souza-ABSTRACT.pdf)
- de Souza, J. A. A. A., Scudese, E., Paz, G. A., Salerno, V. P., Vigário, PdS, Miranda, H., y Willardson, J. M. (2020). Acute hormone responses subsequent to agonist-antagonist paired set vs. traditional straight set resistance training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(6), 1591-1599. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29979283/>
- de Hoyo, M., Núñez, F. J., Sañudo, B., Gonzalo-Skok, O., Muñoz-López, A., Romero-Boza, S., Otero-Esquina, C., Sánchez, H., y Nimphius, S. (2021). Predicting loading intensity measuring velocity in barbell hip thrust exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(8), 2075–2081. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31009439/>
- Franco-Márquez, F., Rodríguez-Rosell, D., González-Suarez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., y González-Badillo, J. J. (2015). Effects of combined resistance training and plyometrics on physical performance in young soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(11), 906-914. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26180903/>
- Fenn, W.O y Marsh, B.S (1935). Muscular force at different speeds of shortening. *Journal of Physiology*, 85(3), 277-297. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16994712/>

- Fernandes, J. F. T., Lamb, K. L., y Twist, C. A. (2018). Comparison of Load-Velocity and Load-Power Relationships Between Well-Trained Young and Middle-Aged Males During Three Popular Resistance Exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1440-1447. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28486338/>
- García-Ramos, A., Ulloa-Díaz, D., Barboza-González, P., Rodríguez-Perea, A., Martínez-García, D., Quidel-Catrilebún, M., Guede-Rojas, F., Cuevas-Aburto, J., Janicijevic, D., y Weakley J. (2019). Assessment of the load-velocity profile in the free-weight prone bench pull exercise through different velocity variables and regression models. *PLoS ONE*, 14(2), e0212085. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6392250/>
- García-Ramos A, Suzovic D, y Pérez-Castilla A. (2021). The load-velocity profiles of three upper-body pushing exercises in men and women. *Sports Biomechanics*, 20(6), 693-705. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31296136/>
- Garnacho-Castaño, M. V., Muñoz-González, A., Garnacho-Castaño, M. A., y Mate-Muñoz, J. L. (2018). Power– and velocity–load relationships to improve resistance exercise performance. *Journal of Sports Engineering and Technology*, 00(0). <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1754337118773587>
- Gentil, P., Oliveira, E., Rocha Júnior, V. A. do Carmo, J., y Bottaro, M. (2007). Effects of exercise order on upper-body muscle activation and exercise performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1082–1086. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18076251/>
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., y Maffiuletti, N. A. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(2), 556-560. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20647944/>
- Gołaś, A., Maszczyk, A., Pietraszewski, P., Stastny, P., Tufano, J. J., y Zajac, A. (2017). Effects of pre-exhaustion on the patterns of muscular activity in the flat bench press. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(7), 1919-1924. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27984499/>
- González-Badillo, J. J., y Ayestarán, E. G. (1995). Fundamentos del Entrenamiento de la Fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo. INDE publicaciones. Barcelona.
- González-Badillo, J. J. (1991). Halterofilia. Ed. Comité Olímpico Español.
- González-Badillo, J. J. (2000). Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento deportivo. *Infocoas*, 5(2), 3-14.
- González-Badillo, J. J. y Ribas-Serna, J. (2002). Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. INDE publicaciones. Barcelona (España).

## *Referencias Bibliográficas*

---

- González-Badillo, J. J., y Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347–352. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20180176/>
- González-Badillo, J. J., Marques, M. C., y Sánchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *Journal of Human Kinetics*, 29A, 15–19. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3588891/>
- González-Badillo, J. J. (2011b). Aplicaciones del control de la velocidad en la programación del entrenamiento de la fuerza. En: Jornada Internacional “Entrenamiento de la Fuerza”. Málaga; Instituto Andaluz del Deporte.
- González-Badillo, J. J., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J. L., Del Ojo-López, J. J., y Sánchez-Medina, L. (2015). Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1329-1338. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25486303/>
- González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., Pareja-Blanco, F., y Rodríguez-Rosell, D. (2017a). Fundamentals of velocity-based resistance training (1st ed). ERGOTECH Consulting.
- González-Badillo, J. J., Yáñez-García, J. M., Mora-Custodio, R., y Rodríguez-Rosell, D. (2017b). Velocity loss as a variable for monitoring resistance exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 38(3), 217-225. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28192832/>
- González-Badillo, J. J., y Ribas-Serna, J. (2019). Fuerza, velocidad y rendimiento físico y deportivo. Esteban Sanz.
- Grgic, J., Schoenfeld, B.J., Orazem, J., y Sabol, F. (2021). Effects of resistance training performed to repetition failure or non-failure on muscular strength and hypertrophy: a systematic review and meta-analysis. *Journal of Sport and Health Science*, XXX. [https://www.researchgate.net/publication/345597197\\_Effects\\_of\\_resistance\\_training\\_performed\\_to\\_repetition\\_failure\\_or\\_non-failure\\_on\\_muscular\\_strength\\_and\\_hypertrophy\\_A\\_systematic\\_review\\_and\\_meta-analysis](https://www.researchgate.net/publication/345597197_Effects_of_resistance_training_performed_to_repetition_failure_or_non-failure_on_muscular_strength_and_hypertrophy_A_systematic_review_and_meta-analysis)
- Haff, G. G. (2010). Quantifying workloads in resistance training: a brief review. *Prof Strength Conditioning*, 19, 31–40. <https://es.scribd.com/document/410564786/Quantifying-Workloads-in-Resistance-Training>

- Harris, N. K., Cronin, J., Kristie-Lee, T., Jidovtseff, B., y Sheppard, J. (2010). Understanding Position Transducer Technology for Strength and Conditioning Practitioners. *Strength Conditioning Journal*, 32(4), 66-79. [https://www.researchgate.net/publication/232197717\\_Understanding\\_Position\\_Transducer\\_Technology\\_for\\_Strength\\_and\\_Conditioning\\_Practitioners](https://www.researchgate.net/publication/232197717_Understanding_Position_Transducer_Technology_for_Strength_and_Conditioning_Practitioners)
- Helms, E. R., Storey, A., Cross, M.R., Brown, S. R., Lenetsky, S., Ramsay, H., Dillen, C., y Zourdos, M. C. (2017). RPE and velocity relationships for the back squat, bench press, and deadlift in powerlifters. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(2), 292–297. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27243918/>
- Hill, A. V. (1938). The heat and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London*, 126, 136-195. <https://doi.org/10.1098/rspb.1938.0050>
- Hedges, L. V., y Olkin, I. O. (1985). Estimation of a single effect size: parametric and nonparametric methods. In: *Statistical Methods for Meta-Analysis*. Vol Chapter 5. Orlando, FL: Academic Press, Inc..
- Heredia-Elvar, J. R., y Peña García-Orea, G. (2019). El entrenamiento de la fuerza para la mejora de la condición física y salud. *Círculo Rojo*.
- Herzog, W. (2000). Mechanical Properties and Performance in Skeletal Muscles. In: Zatsiorsky, V.M. (ed.) *Biomech in Sports*. Oxford: Blackwell Science.
- Hoeger, W. W., Hopkins, D. R., Barette, S. L., y Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4(2), 47–54. <https://paulogentil.com/pdf/TREINO%20DE%20FORÇA/Relationship%20between%20repetitions%20and%20selected%20percentages%20of%201RM%20%28male%20X%20female%29.pdf>
- Izquierdo, M., Ibáñez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X., y Gorostiaga, E. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology*, 100(5), 1647–1656. <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/jappphysiol.01400.2005>
- Izquierdo-Gabarren, M., González De Txabarri, E. R., García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., De Villarreal, E. S. S., y Izquierdo, M. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1191–1199. <https://europepmc.org/article/med/19997025>

## *Referencias Bibliográficas*

---

- Iversen, V. M., Norum, M., Schoenfeld, B. J., y Fimland, S. M. (2021). No Time to Lift? Designing Time-Efficient Training Programs for Strength and Hypertrophy: A Narrative Review. *Sports Medicine*, 51(10), 2079-2095. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34125411/>
- Jidovtseff, B., Harris, N.K., Crielaard, J. M., y Cronin, J. B. (2011). Using the load-velocity relationship for 1RM prediction. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 267-270. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19966589/>
- Júnior, V. A. R., Bottaro, M., Pereira, M. C. C., Andrade, M. M., Júnior, P. R. W. P., y Carmo, J. C. (2010). Electromyographic analyses of muscle preactivation induced by single joint exercise. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 14(2), 158–165. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20464166/>
- Kamimura, T., y Takenaka, T. (2007). Potentiation of knee extensor contraction by antagonist conditioning contraction at several intensities. *Journal of Physiological Anthropology*, 26(4), 443–447. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17704622/>
- Kamimura, T., Yoshioka, K., Ito, S., y Kusakabe, T. (2009). Increased rate of force development of elbow flexors by antagonist conditioning contraction. *Human Movement Science*, 28(4), 407-414. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19395107/>
- Kelleher, A. R., Hackney, K. J., Fairchild, T. J., Keslacy, S., y Ploutz-Snyder, L. L. (2010). The metabolic costs of reciprocal supersets vs. traditional resistance exercise in young recreationally active adults. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(4), 1043–1051. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20300020/>
- Kraemer, W. J., y Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(4), 674–688. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15064596/>
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J., y Deschenes, M. (1988). A review: factors in exercise prescription of resistance training. *National Strength Conditioning Association Journal*, 10(5), 36–41. [https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=A%20review%3A%20factors%20in%20exercise%20prescription%20of%20resistance%20training&journal=Natl%20Strength%20Conditioning%20Assoc%20J&volume=10&issue=5&pages=36-41&publication\\_year=1988&author=Kraemer%20W.J.&author=Fleck%20S.J.&author=Deschenes%20M.](https://scholar.google.com/scholar_lookup?title=A%20review%3A%20factors%20in%20exercise%20prescription%20of%20resistance%20training&journal=Natl%20Strength%20Conditioning%20Assoc%20J&volume=10&issue=5&pages=36-41&publication_year=1988&author=Kraemer%20W.J.&author=Fleck%20S.J.&author=Deschenes%20M.)
- Loturco, I., Pereira, L. A., Cal Abad, C. C., Gil, S., Kitamura, K., Kobal, R., y Nakamura, F. Y. (2016). Using Bar Velocity to Predict the Maximum Dynamic Strength in the Half-Squat Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(5), 697-700. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26457921/>

- Loturco, I., Kobal, R., Moraes, J.E., Kitamura, K., Cal Abad, C. C., Pereira, L.A., y Nakamura, F. Y. (2017). Predicting the Maximum Dynamic Strength in Bench Press: The High Precision of the Bar Velocity Approach. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(4), 1127-1131. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28328719/>
- Loturco, I., Suchomel, T., Kobal, R., Arruda, A. F. S., Guerriero, A., Pereira, L. A, y Pai, C. N. (2021). Force-Velocity relationship in three different variations of prone row exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 35(2), 300-309. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29489715/>
- Maia, M. F, Paz, G. A., Souza, J., y Miranda, H. (2015). Strength performance parameters when adopting different exercise sequences during agonist-antagonist paired sets. *Apunts: Medicina de l'esport*, 50(187), 83-120. [https://redib.org/Record/oai\\_articulo738655-strength-performance-parameters-when-adopting-different-exercise-sequences-during-agonist-antagonist-paired-sets](https://redib.org/Record/oai_articulo738655-strength-performance-parameters-when-adopting-different-exercise-sequences-during-agonist-antagonist-paired-sets)
- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., y Pallarés, J. G. (2020). Reliability of technologies to measure the barbell velocity: implications for monitoring resistance training. *PLoS One*, 15(6), e0232465. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0232465>
- Maynard, J., y Ebben, W. P. (2003). The effects of antagonist pre-fatigue on agonist torque and electromyography. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(3), 469–474. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12930171/>
- Merrigan, J.M., Jones, M.T., y White, J.B. (2019). A Comparison of compound set and traditional set resistance training in women: Changes in muscle strength, endurance, quantity, and architecture. *Journal of Science in Sport and Exercise*, 1, 264–272. [http://instituteofmotion.com/wp-content/uploads/2020/09/A\\_Comparison\\_of\\_Compound\\_Set\\_and\\_Traditional\\_Set.pdf](http://instituteofmotion.com/wp-content/uploads/2020/09/A_Comparison_of_Compound_Set_and_Traditional_Set.pdf)
- Miranda, H., Figueiredo, T., Rodrigues, B., Paz, G. A., y Simão, R. (2013). Influence of exercise order on repetition performance among all possible combinations on resistance training. *Research in Sports Medicine*, 21(4), 355-366. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24067121/>
- Miranda, H., Scudese, E., Paz, G. A., Salerno, V.P., Vigarío, P. D. S., de Souza, J., y Willardson, J. M. (2020). Acute hormone responses subsequent to agonist-antagonist paired set vs. traditional straight set resistance training. *Journal of*

- Strength & Conditioning Research*, 34(6), 1591–1599. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29979283/>
- Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., Escribano-Peñas, P. y Courel-Ibáñez, J. (2021). Load-velocity relationship of the deadlift exercise. *European Journal of Sport and Science*, 21(5), 678-684. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32552373/>
- Moreno-Villanueva, A., Pino-Ortega, J., y Rico-González M. (2021). Validity and reliability of linear position transducers and linear velocity transducers: a systematic review. *Sports Biomechanics*, 1-30. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34726576/>
- Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., Chicharro, J. L., y Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load, Force and Power-Velocity Relationships in the Prone Pull-Up Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1249–1255. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28253041/>
- Naclerio, F. (2005). Entrenamiento de fuerza y prescripción del ejercicio (pp. 118-19). En: Jiménez A. Entrenamiento personal: bases, fundamentos y aplicaciones. INDE.
- Naclerio, F., y Larumbe-Zabala, E. (2017a). Loading Intensity Prediction by Velocity and the OMNI-RES 0-10 Scale in Bench Press. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(2), 323–329. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28129278/>
- Naclerio, F., y Larumbe-Zabala, E. (2017b). Relative Load Prediction by Velocity and the OMNI-RES 0-10 Scale in Parallel Squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(6), 1585-1591. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28538309/>
- Pallarés, J. G., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., De La Cruz-Sánchez, E., y Mora-Rodríguez, R. (2014). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *Journal of Sports Science*, 32(12), 1165–1175. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24575723/>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., y González-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International Journal of Sports Medicine*, 35(11), 916-924. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24886926/>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchís-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suarez, I., Calbet, J. A., y González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 724-735. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27038416/>



- Pareja-Blanco, F., Sanchez-Medina, L., Suárez-Arrones, L., y Gonzalez-Badillo, J. J. (2017b). Effects of velocity loss during resistance training on performance in professional soccer players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(4), 512-519. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27618386/>
- Pareja-Blanco, F., Walker, S., y Hakkinen, K. (2020). Validity of Using Velocity to Estimate Intensity in Resistance Exercises in Men and Women. *Sports Medicine*, 41(14), 1047-1055. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32688415/>
- Pareja-Blanco, F., y Loturco, I. (2022). Velocity-Based Training for Monitoring Training Load and Assessing Training Effects. In: Muñoz-López, A., Tajar, R., Sañudo, B. (eds) *Resistance Training Methods. Lecture Notes in Bioengineering*. Springer, Cham.
- Paz, G. A., Willardson, J. M., Simão, R., y Miranda, R. (2013). Effects of different antagonist protocols on repetition performance and muscle activation. *Medicina Sportiva*, 17(3), 106-112. [https://www.researchgate.net/publication/265381797\\_Effects\\_of\\_different\\_antagonist\\_protocols\\_on\\_repetition\\_performance\\_and\\_muscle\\_activation](https://www.researchgate.net/publication/265381797_Effects_of_different_antagonist_protocols_on_repetition_performance_and_muscle_activation)
- Paz, G. A., Maia, M.F., Farias, D. A., y Miranda, H. (2016). Maximal repetition performance and muscle activation of biceps brachii and triceps brachii during agonist-antagonist paired set adopting different exercise order. *Gazzeta Medica Italiana*, 175(1-2), 1-9. <https://www.minervamedica.it/en/journals/gazzeta-medica-italiana/article.php?cod=R22Y2016N01A0001>
- Paz, G. A., Robbins, D. W., de Oliveira, C. G., Bottaro, M., y Miranda, H. (2017). Volume Load and Neuromuscular Fatigue During an Acute Bout of Agonist-Antagonist Paired-Set vs. Traditional-Set Training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 31(10), 2777-2784. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28933712/>
- Paz, G. A., Maia, M. F., Salermo, V. P., Coburn, J., Willardson, J. M., y Miranda, H. (2019). Neuromuscular responses for resistance training sessions adopting traditional, superset, paired set and circuit methods. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 59(12), 1991-2002. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31113178/>
- Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A., y Feriche, B. (2020). Load-Velocity Relationship in Variations of the Half-Squat Exercise: Influence of Execution Technique. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(4), 1024-1031. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28885389/>
- Phibbs, P, Jones, B., Roe, G., Read, D., Darrall-Jones, J., Weakley, J., Rock, A., y Till, K. (2018). Organized chaos in late specialization team sports: Weekly training

- loads of elite adolescent rugby union players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(5), 1316-1323. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29683915/>
- Picerno, P., Iannetta, D., Comotto, S., Donati, M., Pecoraro, F., Zok, M., Tollis, G., Figura, M., Varalda, C., Di Muzio, D., Patrizio, F., y Piacentini, M.F. (2016). 1RM prediction: a novel methodology based on the force-velocity and load-velocity relationships. *European Journal of Applied Physiology*, 116(10), 2035-2043. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27577950/>
- Pirauá, A. L., Beltrão, N. B., Santos, C. X., Pintangui, A. C. R., y Araújo, R. C. (2017). Analysis of muscle activity during the bench press exercise performed with the pre-activation method on stable and unstable surfaces. *Kinesiology*, 49(2), 161–168. <https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis-of-muscle-activity-during-the-bench-press-Pirauá-Beltrão/80611164126b813caadc933ffe265b3ddb40b3ff>
- Realzola, R. A., Mang, Z. A., Millender, D. J., Beam, J. R., Bellovary, B. N., Wells, A. D., Houck, J.M., y Kravitz, L. (2021). Metabolic profile of reciprocal supersets in young, recreationally active females and males. *Journal of Strength & Conditioning Research*, ahead of print. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33927111/>
- Rey, E., Barcala-Furelos, R., y Padrón-Cabo, A. (2016). Liza Plus for neuromuscular assessment and training: mobile app user guide. *British Journal of Sports Medicine*, 51(13), 1-2. [https://www.researchgate.net/publication/290219819\\_Liza\\_Plus\\_for\\_neuromuscular\\_assessment\\_and\\_training\\_Mobile\\_app\\_user\\_guide](https://www.researchgate.net/publication/290219819_Liza_Plus_for_neuromuscular_assessment_and_training_Mobile_app_user_guide)
- Ribeiro, A. S., Nunes, J. P., Cunha, P. M., Aguiar, A. F., y Schoenfeld, B. J. (2019). Potential Role of Pre-Exhaustion Training in Maximizing Muscle Hypertrophy: A Review of the Literature. *Strength Conditioning Journal*, 41(1), 75-80. [https://elementssystem.com/wp-content/uploads/2019/02/Potential\\_Role\\_of\\_Pre\\_Exhaustion\\_Training\\_in.7.pdf](https://elementssystem.com/wp-content/uploads/2019/02/Potential_Role_of_Pre_Exhaustion_Training_in.7.pdf)
- Richens, B., y Cleather, D. J. (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biology of Sport*, 31(2), 157-161. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24899782/>
- Richmond, S. R., y Godard, M. P. (2004). The effects of varied rest periods between sets to failure using the bench press in recreationally trained men. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 846-849. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15574093/>
- Robbins, D. W., Young, W. B., Behm, D. G., y Payne, W. R. (2009). Effects of agonist-antagonist complex resistance training on upper body strength and power

- development. *Journal of Sports Science*, 27(14), 1617-1625.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19967584/>
- Robbins, D. W., Young, W. B., Behm, D. G., y Payne, W. R. (2010a). Agonist–antagonist paired set resistance training: A brief review. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2873–2882. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20733520/>
- Robbins, D. W., Young, W. B., Behm, D. G., Payne, W. R., y Klimstra, M. D. (2010b). Physical performance and electromyographic responses to an acute bout of paired set strength training versus traditional strength training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(5), 1237-1245.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20440121/>
- Robbins, D. W., Young, W. B., Behm, D. G., y Payne, W. R. (2010c). The effect of a complex agonist and antagonist resistance training protocol on volume load, power output, electromyographic responses, and efficiency. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1782-1789.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20555283/>
- Robbins, D. W., Young, W. B., y Behm, D. G. (2010d). The effect of an upper-body agonist antagonist resistance training protocol on volume load and efficiency. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10), 2632-2640.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20847705/>
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Torres-Torrel, J., Mora-Custodio, R., Marques, M. C., y González-Badillo, J. J. (2018). Effort index as a novel variable for monitoring the level of effort during resistance exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(8), 2139-53.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29781942/>
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Sánchez-Medina, L., Mora-Custodio, R., y González-Badillo, J. J. (2020a). Relationship between velocity loss and repetitions in reserve in the bench press and back squat exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(9), 2537-2547.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31045753/>
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Mora-Custodio, R., Pareja-Blanco, F., Ravelo-García, A. G., Ribas-Serna, S., y González-Badillo, J. J. (2020b). Velocity-based resistance training: impact of velocity loss in the set on neuromuscular performance and hormonal response. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(8), 817-828.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32017598/>
- Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Mora-Custodio, R., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., y Gonzalez-Badillo J. J. (2021a). Effect of velocity loss during

- squat training on neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 31(8), 1621-1635. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33829679/>
- Rodríguez-Rosell, D., Martínez-Cava, A., Yáñez-García, J. M., Hernández-Belmonte, A., Mora-Custodio, R., Morán-Navarro, R., Pallarés, J. G., y González-Badillo, J. J. (2021b). Linear programming produces greater, earlier and uninterrupted neuromuscular and functional adaptations than daily-undulating programming after velocity-based resistance training. *Physiology & Behavior*, 233, 113337. [https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031938421000299?dgcid=rss\\_sd\\_all](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0031938421000299?dgcid=rss_sd_all)
- Ruf, L., Chéry, C., y Taylor, K. L. (2018). Validity and reliability of the load velocity relationship to predict the 1RM in deadlift. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(3), 681–689. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29466270/>
- Sakamoto, A., y Sinclair, P. J. (2006). Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 523–527. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16937964/>
- Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., y González-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 123-129. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20222005/>
- Sánchez-Medina, L., y González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43, 1725–1734. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21311352/>
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., Pérez, C. E., y Pallarés, J. G. (2104). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(3), 209–216. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23900903/>
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J. G., Pérez, C. E., Morán-Navarro, R., y González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Medicine International Open*, 1(02), E80-E88. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6226068/>
- Sánchez-Moreno, M., Rodríguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., y González-Badillo, J. J. (2017). Movement Velocity as Indicator of Relative Intensity and Level of Effort Attained During the Set in Pull-Up Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(10), 1378-1384. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28338365/>

- Sánchez-Moreno, M., Rendeiro-Pinho, G., Mil-Homens, P. V., y Pareja-Blanco, F. (2021). Monitoring Training Volume Through Maximal Number of Repetitions or Velocity-Based Approach. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(4), 527-534. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33406485/>
- Sánchez-Pay, A., Courel-Ibáñez, J., Martínez-Cava, A., Conesa-Ros, E., Morán-Navarro, R., y Pallarés, J. G. (2019). Is the high-speed camera-based method a plausible option for bar velocity assessment during resistance training? *Measurement*, 137, 355-361. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224119300065>
- Sato, K., Smith, S. L., y Sands, W. A. (2009). Validation of an accelerometer for measuring sport performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(1), 341-347. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19050652/>
- Scott, B. R., Duthei, G. M., Thornton, H. R., y Dascombe, B. J. (2016). Training Monitoring for Resistance Exercise: Theory and Applications. *Sports Medicine*, 46(5), 687-698. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26780346/>
- Sforzo, G. A., y Touey, P. R. (1996). Manipulating exercise order affects muscular performance during a resistance exercise training session. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 10(1), 20-24. [https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/1996/02000/manipulating\\_exercise\\_order\\_affects\\_muscular.4.aspx](https://journals.lww.com/nsca-jscr/abstract/1996/02000/manipulating_exercise_order_affects_muscular.4.aspx)
- Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., Vingren, J. L., Fragala, M. S., Maresh, C. M., Fleck, S. J., Newton, R. U., Spreuwenberg, L. P., y 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. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 819-823. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17194239/>
- Silva, G., Guimarães, M., Campos, Y., Moreira, O., y da Silva, S. (2018). Neuromuscular and metabolic responses of the pre-exhaustion method in highly-trained individuals. *Journal of Human Sport & Exercise*, in press. [https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/77874/6/JHSE\\_14-1\\_09.pdf](https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/77874/6/JHSE_14-1_09.pdf)
- Simão, R., de Salles, B. F., Figueiredo, T., Dias, I., y Willardson, J. M. (2012). Exercise order in resistance training. *Sports Medicine*, 42(3), 251-265. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22292516/>
- Soares, E. G., Brown, L. E., Gomes, W. A., Corrêa, D. A., Serpa, É. P., da Silva, J. J., Vilela Júnior, G. B., Zorzi Fioravanti, G., Saldanha Aoki, M., Loper, C. R., y Marchetti, P. E. (2016). Comparison between Pre-Exhaustion and Traditional Exercise Order on Muscle Activation and Performance in Trained Men. *Journal*

- of Sports Science and Medicine*, 15(1), 111-117.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26957933/>
- Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Nindl, B. C., Volek, J. S., y Maresh, C. M. (2008). Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Medicine*, 38(7), 527-540.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18557656/>
- Steinskog, D. J., Tjøstheim, D. B., y Kvamstø, N. G. (2007). A cautionary note on the use of the Kolmogorov–Smirnov test for normality. *Monthly Weather Review*, 135(3), 1151-1157. <https://doi.org/10.1175/MWR3326.1>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., y Stone, M. H. (2018). The importance of muscular strength: training considerations. *Sports Medicine*, 48(4), 765-785.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29372481/>
- Terzis, G., Spengos, K., Manta, P., Sarris, N., y Georgiadis, G. (2008). Fiber type composition and capillary density in relation to submaximal number of repetitions in resistance exercise. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 845-850. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18438231/>
- Tidow, G. (1995). Muscular adaptations induced by training and detraining: a review of biopsy studies. *New Studies in Athletics*, 10(2), 47-56.  
<https://www.google.com/url?sa=>
- Torrejón, A., Balsalobre-Fernández, C., Haff, G. G., y García-Ramos, A. (2019). The load-velocity profile differs more between men and women than between individuals with different strength levels. *Sports Biomechanics*, 18(3), 245-255.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29558855/>
- Wallace, W., Ugrinowitsch, C., Stefan, M., Rauch, J., Barakat, C., Shields, K., Barninger, A., Barroso, R., y O De Souza, E. (2019). Repeated Bouts of Advanced Strength Training Techniques: Effects on Volume Load, Metabolic Responses, and Muscle Activation in Trained Individuals. *Sports*, 7(1), 14.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30621334/>
- Weakley, J. J. S., Till, K., Read, D. B., Roe, G. A. B., Darrall-Jones, J., Phibbs, P. J., y Jones, B. (2017). The effects of traditional, superset, and tri-set resistance training structures on perceived intensity and physiological responses. *European Journal of Applied Physiology*, 117(9), 1877–89.  
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28698987/>
- Weakley, J. J. S., Till, K., Read, D. B., Phibbs, P. J., Roe, G., Darrall-Jones, J., y Jones, B.L. (2020). The effects of superset configuration on kinetic, kinematic, and

- perceived exertion in the barbell bench press. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(1), 65-72. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28796130/>
- Weider, J. y Reynolds, B. (1989). *Ultimate bodybuilding: Principles of training and nutrition*: McGraw-Hill.
- Wolfe, B. L., LeMura, L. M., y Cole, P. J. (2004). Quantitative analysis of single- vs. multiple-set programs in resistance training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(1), 35-47. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14971985/>
- Zatsiorsky, V. (1995). *Science and practice of strength training*. Champaign. Human Kinetics.





# **GLOSARIO DE ACRÓNIMOS**



## GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

Acrónimo	Significado
<b>AV</b>	Velocidad media propulsiva promedio ante todas las cargas absolutas comunes al pre- y postest de cargas progresivas
<b>AV ≥ 1</b>	Velocidad media propulsiva promedio ante todas las cargas absolutas comunes al pre- y postest de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla levantadas a una velocidad igual o superior a $1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
<b>AV &lt; 1</b>	Velocidad media propulsiva promedio ante todas las cargas absolutas comunes al pre- y postest de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla levantadas a una velocidad inferior a $1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
<b>AV ≥ 0.8</b>	Velocidad media propulsiva promedio ante todas las cargas absolutas comunes al pre- y postest de cargas progresivas en el ejercicio de press de banca levantadas a una velocidad igual o superior a $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
<b>AV &lt; 0.8</b>	Velocidad media propulsiva promedio ante todas las cargas absolutas comunes al pre- y postest de cargas progresivas en el ejercicio de press de banca levantadas a una velocidad inferior a $0.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
<b>1RM</b>	Una repetición máxima
<b>%PV</b>	Magnitud (porcentaje) de pérdida de velocidad en la serie
<b>cm</b>	Centímetros
<b>CMJ</b>	Salto vertical con contra-movimiento
<b>CCI</b>	Coeficiente de correlación intraclase
<b>CV</b>	Coeficiente de variación
<b>DT</b>	Desviación típica
<b>kg</b>	Kilogramos
<b>min</b>	Minutos
<b>PB</b>	Press de banca
<b>Pre</b>	Pre-ejercicio o pre-entrenamiento
<b>Post</b>	Post-ejercicio o post-entrenamiento
<b>SQ</b>	Sentadilla completa

## Glosario de Acrónimos

---

<b>RPE</b>	Escala de percepción subjetiva del esfuerzo
<b>rep/reps</b>	Repetición/repeticiones
<b>s</b>	Segundos
<b>SA</b>	Grupo experimental de series alternas emparejadas
<b>ST</b>	Grupo experimental de series tradicionales
<b>VBRT</b>	Entrenamiento basado en el control de la velocidad de ejecución
<b>VMP</b>	Velocidad Media Propulsiva
<b>VMP<sub>PRIMERA</sub></b>	Velocidad media propulsiva de la mejor (normalmente la primera) repetición de la serie
<b>vs.</b>	Versus (en oposición a)

# **RELACIÓN DE TABLAS**



## RELACIÓN DE TABLAS

Nº de Tabla	Título	Página
1	Definición de los componentes o variables relacionadas con la carga (estímulo) de entrenamiento necesarias para el diseño de programas de entrenamiento	20
2	Índice de esfuerzo de intensidades entre el 40 y el 95% con distintas pérdidas de velocidad (10 al 55%) en el ejercicio de sentadilla completa. Puede observarse cómo una intensidad de entrenamiento baja (por ejemplo, el 45%) supone siempre un índice de esfuerzo mayor que una intensidad moderada (por ejemplo, el 70%) para misma pérdida de velocidad	29
3	Dispositivos para la medición de la velocidad de ejecución	57
4	Promedios y desviación típica de los datos descriptivos de la muestra de población de estudio (Estudio 1)	83
5	Características descriptivas del protocolo de evaluación basado en el control de la velocidad en sentadilla realizado por ambos grupos experimentales (Estudio 1)	89
6	Características descriptivas del protocolo de evaluación basado en el control de la velocidad en press de banca realizado por ambos grupos experimentales (Estudio 1)	89
7	Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de sentadilla (Estudio 1)	93
8	Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de press de banca (Estudio 1)	93
9	Velocidad de ejecución y número de repeticiones por serie realizadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de sentadilla completa	94
10	Velocidad de ejecución y número de repeticiones por serie realizadas por ambos grupos experimentales en el ejercicio de press de banca	95

## Relación de Tablas

<b>11</b>	Promedios y desviación típica de los datos descriptivos de la muestra de población de estudio (Estudio 2)	102
<b>12</b>	Características descriptivas del programa de entrenamiento para sentadilla basado en el control de la velocidad realizado por ambos grupos experimentales (Estudio 2)	108
<b>13</b>	Características descriptivas del programa de entrenamiento para press de banca basado en el control de la velocidad realizado por ambos grupos experimentales (Estudio 2)	109
<b>14</b>	Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos de entrenamiento en el ejercicio de sentadilla (Estudio 2)	113
<b>15</b>	Número de repeticiones realizadas en cada rango de velocidad y número total de repeticiones completadas por ambos grupos de entrenamiento en el ejercicio de press de banca (Estudio 2)	114
<b>16</b>	Cambios en las variables neuromusculares seleccionadas entre el pre- y el post-entrenamiento de cada grupo en CMJ y en el ejercicio de sentadilla	115
<b>17</b>	Cambios en las variables neuromusculares seleccionadas entre el pre- y el post-entrenamiento de cada grupo en el ejercicio de press de banca	116



# **RELACIÓN DE FIGURAS**



## RELACIÓN DE FIGURAS

Nº de Figura	Título	Página
<b>1</b>	Primer libro monográfico publicado sobre Fundamentos del entrenamiento de la fuerza basado en el control de la velocidad traducido al inglés	30
<b>2</b>	Extracto de cita del libro “Halterofilia. Ed. Comité Olímpico Español” (1991)	32
<b>3</b>	Relación entre fuerza aplicada, carga (%1RM) y velocidad ante distintas cargas absolutas	38
<b>4</b>	Relación entre la carga relativa (%1RM) y la velocidad media propulsiva en el ejercicio de press de banca	39
<b>5</b>	Representación esquemática del protocolo de entrenamiento para series alternas (panel superior) y series tradicionales (panel inferior).	82
<b>6</b>	Máquina Smith (Multipower, Technogym)	85
<b>7</b>	Transductor lineal de velocidad por cable (T-Force Dynamic Measurement System)	86
<b>8</b>	Diseño del estudio (Estudio 2)	101
<b>9</b>	Plataforma de salto óptica por infrarrojos (Optojump Next)	104
<b>10</b>	Cambio porcentual promedio e individual en las variables de rendimiento neuromuscular analizadas tras 6 semanas de entrenamiento basado en el control de la velocidad.	117



# **ANEXOS**

# ANEXO I: CONSENTIMIENTO INFORMADO

## DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

D./D<sup>a</sup> ....., mayor de edad y con  
D.N.I ..... domicilio  
en ..... y número de  
teléfono .....

DECLARO que (marcar con una X la casilla):

- Estoy en conocimiento de que D. Guillermo Peña García-Orea, doctorando de la Universidad de Murcia, es el investigador principal de este estudio y supervisa su realización bajo la tutela de la Directora D<sup>a</sup> Noelia Belando Pedreño (noelia.belando@universidadeuropea.es). Además, dicho proyecto de investigación ha sido aprobado por el Comité Ético correspondiente de la Universidad de Murcia. No obstante, todo el desarrollo experimental, registro y tratamiento de muestras se realizará en las instalaciones correspondientes al Centro de Investigación del Deporte de la Universidad Miguel Hernández de Elche (Alicante).
- He sido favorablemente informado por el investigador principal sobre las posibles molestias y riesgos potenciales que podrían derivarse de la realización de las pruebas físicas para cubrir los objetivos del estudio vinculado a la Tesis Doctoral titulada “Efecto agudo y crónico de la realización consecutiva de diferentes ejercicios de fuerza para una misma serie sobre el rendimiento neuromuscular”.
- Me ofrezco a participar voluntariamente en este estudio, habiéndome sido explicado el propósito, naturaleza, beneficios y posibles riesgos de tomar parte en el mismo al haber leído la hoja de información al participante sobre el estudio citado.
- Tengo conocimiento de mi derecho a interrumpir mi participación en este estudio en cualquier momento sin dar explicaciones y sin que ello me suponga perjuicio alguno.
- Informaré al investigador de cualquier malestar que sienta.
- He sido informado/a de que mis datos personales serán sometidos a tratamiento en virtud de su consentimiento con fines de investigación científica por la Universidad de Murcia. El plazo de conservación de los datos será el mínimo indispensable para asegurar la realización del estudio o proyecto. No obstante, mis datos identificativos, para garantizar condiciones óptimas de privacidad, y cuando el procedimiento del estudio lo permita, podrían ser sometidos a anonimización o seudoanonimización. En todo caso, la información identificativa que se pudiese recabar será eliminada cuando no sea necesaria.
- Autorizo al investigador principal para que almacene y realice el análisis de los resultados obtenidos de mi evaluación de forma anónima y confidencial.

- Autorizo al investigador principal para difundir y publicar los datos derivados de las pruebas físicas realizadas respetando la confidencialidad de los mismos y mi anonimato.
- He tenido la oportunidad de hacer todas las preguntas que he creído conveniente, respondiéndome el investigador principal a todas ellas de manera satisfactoria y comprensible para mí.
- He leído esta información, la considero suficientemente clara, y estoy de acuerdo en participar en el estudio.
- Se me ha entregado una “hoja de información al participante” y una copia de esta Declaración de Consentimiento informado, fechado y firmado.

Por tanto, y estando conforme con todo lo anterior, otorgo mi consentimiento firmando la presente Declaración de Consentimiento Informado para cubrir los objetivos especificados en el proyecto:

Sujeto experimental

Guillermo Peña García-Orea  
Responsable del estudio

En                    a                    de                    de



**ANEXO II:  
Hoja de registros de las  
pruebas físicas  
(Estudio 2)**

Nombre y apellidos	Grupo:	Hora:	PC (kg):	SERIE 1	SERIE 2	SERIE 3	SERIE 4	SERIE 5	SERIE 6	SERIE 7	SERIE 8	SERIE 9	SERIE 10	1RM/pc	Promedio
TEST 1 CMJ	FECHA:	24-03-21													
	Salto	1	2	3	4	5	Promedio							1RM estimada	
	cm														
	cargas (kg)	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115			68	
	VMP (m/s)													<0,33	
	%1RM													100%	
	carga (kg)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110			63	
	VMP (m/s)													<0,18	
	%1RM													100%	
	carga (kg)														
%1RM		11,7%													
Nº rep.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		Promedio	
VMP (m/s)														#DIV/0!	
PV (%)	20,4%														
carga (kg)															
%1RM		11,2%													
Nº rep.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		Promedio	
VMP (m/s)														#DIV/0!	
PV (%)	31,2%														
TEST 2 CMJ	FECHA:	28-05-21													
	Salto	1	2	3	4	5	Promedio							1RM estimada	
	cm														
	cargas (kg)	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115			73	
	VMP (m/s)	1,24	1,02	0,87	0,75									<0,33	
	%1RM	45,0%	59,1%	68,4%	75,6%									100%	
	cargas (kg)	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110			61	
	VMP (m/s)	1,09	0,90	0,64	0,44									<0,18	
	%1RM	42,2%	53,0%	68,7%	81,6%									100%	
	carga (kg)														
Nº rep.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		Promedio	
VMP (m/s)														0,97	
PV (%)														62,0%	
carga (kg)															
Nº rep.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		Promedio	
VMP (m/s)														0,77	
PV (%)														61,40%	
carga (kg)															
Nº rep.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		Promedio	
VMP (m/s)															
PV (%)															
carga (kg)															
Nº rep.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		Promedio	
VMP (m/s)															
PV (%)															



