



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE
DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD
Programa de Doctorado en Psicología de la Salud

**“RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO DE
FUERZA BASADO EN LA VELOCIDAD:
Eje Hipotalámico-Hipofisario-
Adrenal y Función Neuromuscular”**

Tesis Doctoral

Realizada por:
ADRIÁN GARCÍA VALVERDE

Elche, 2017



El Dr. D. Juan Carlos Marzo Campos, director del Departamento de Psicología de la Salud de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

AUTORIZA:

Que el trabajo de investigación titulado: “RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO DE FUERZA BASADO EN LA VELOCIDAD: EJE HIPOTALÁMICO-HIPOFISARIO-ADRENAL Y FUNCIÓN NEUROMUSCULAR” realizado por D. Adrián García Valverde bajo la dirección de Dr. D. Manuel Moya Ramón sea depositado en el departamento y posteriormente defendido como Tesis Doctoral en esta universidad ante el tribunal correspondiente.

Lo que firmo para los efectos oportunos en

Elche a 31 de mayo de 2017

Fdo. Juan Carlos Marzo Campos

Director del Departamento de Psicología de la Salud

Universidad Miguel Hernández de Elche

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

Departamento: Psicología de la Salud

Programa de doctorado: Psicología de la Salud

Título de la Tesis:

“Respuesta al Entrenamiento de Fuerza Basado en la
Velocidad: Eje Hipotalámico-Hipofisario-Adrenal y
Función Neuromuscular.”

Tesis Doctoral presentada por:

D. Adrián García Valverde

Dirigida por el Dr. D. Manuel Moya Ramón

EL DIRECTOR

EL DOCTORANDO

Elche, Mayo de 2017

**UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE
ELCHE**

DEPARTAMENTO DE PSICOLOGÍA DE LA SALUD

Programa de Doctorado Psicología de la Salud

**“RESPUESTA AL ENTRENAMIENTO DE
FUERZA BASADO EN LA VELOCIDAD:
Eje Hipotalámico-Hipofisario-
Adrenal y Función Neuromuscular”**

Tesis Doctoral

Doctorando:

Adrián García Valverde

Director:

Manuel Moya Ramón

Elche, 2017

“Estudia y conviértete en un hombre de bien el día de mañana, con un buen coche y una buena mujer.”

A Francisco Valverde Moya, mi abuelo.

D. E. P.



Agradecimientos

Nos gusta el salseo, ¿eh? Sin duda este es el Capitulo Estrella. Se podría haber empezado a leer por las conclusiones finales, qué se ha avanzado en este tiempo, qué es lo realmente importante de este trabajo. Pero nos atrae el marujeo... a ver si conoces a alguien de cuantos se han incluido, de quienes han sido y son importantes para mí... Dicen que la parte más difícil de escribir es la introducción de un artículo, pero no sé... Diría que esta es la parte más difícil de escribir con diferencia... Porque... ¿Por dónde empezar? No quiero extenderme en exceso, ni tampoco me gustaría olvidarme de nadie, habéis sido tantos durante estos años que podría escribir una tesis sólo de agradecimiento, y eso que me caracterizan como hombre de pocas palabras.

En primer lugar, quiero agradecer a mi familia, que sois la base de todo y habéis hecho posible que esté escribiendo esta tesis después de todas las dificultades. Pero en especial a mi Padre, Madre y Hermana que siempre han estado apoyándome, incluso cuando no servía para estudiar... A ver cómo le explicamos esto a más de uno... No sé cómo agradecer todo lo que habéis hecho, todo el tiempo que os he robado, las vacaciones ausentes... Mira que no quería venir a Elche, que tenía que ser Granada, ni Sevilla siquiera, y me trajisteis a regañadientes. Tiene guasa que acabe haciendo una Tesis y encima con referencia principal a uno de los profesores de la Pablo de Olavide. Esto creo que no lo sabíais...

La verdad es que el primer año que pasé en Elche fue de los mejores que he vivido. Tuve la enorme fortuna de conocer a un gran grupo de amigos (en whatsapp: "familia/gentuzza de elche") de entre los que hoy aún seguimos disfrutando de grandes momentos. Félix, quién nos diría que acabaríamos aquí leyendo tesis 7 años después. Pocos sabrán lo que han sido y significan todos estos años, sobre todo cuando compartimos el piso de la Phackin con Evaristo ("el dómine") y su risotto con guindilla para 20. De este mismo grupo, a mi gran amiga María ("monilla") que tanto me ha aguantado y apoyado en los mejores y peores momentos. Esos cafés/tés eternos de una tarde y parte de la noche de charra, y como no... las sesiones maratonianas de un fin de semana de series, pegados a un portátil y con 1 kg de palomitas convirtiéndote en una okupa del sofá.

A mis compañeros de laboratorio (Artur, Alicia, Choche, Java, Iván...) y en extensión a todos los compañeros del CID, qué difícil habría sido aguantar todo este trabajo sin vosotros, sin el tapeo, sin desayunos de media mañana... En especial tengo que agradecerle a Diego, su paciencia con *"esa basura de tesis y*

las tontás que hacéis” haciendo las veces de seguidor de placas. Sin ti esta tesis no hubiera visto la luz. A David por su apoyo técnico con el desarrollo de las aplicaciones. Y, a Rafa, por darme la oportunidad de trabajar con el equipo Senior del Balonmano Elche, a quienes también les estoy agradecido por su participación en el último estudio de esta tesis y permitirme crecer como profesional del deporte. A Fito, debo agradecerle esos almuerzos-tutorías constructivos que, entre chiste y chiste de los que sólo a él y a Arguiñano les caracteriza, fue modelando cierto pensamiento sobre los “no-respondedores” que al final parece confirmarse y cómo no agradecer tu apoyo en los momentos más complicados.

Al grupo de Bailongos de la UMH, en el que me introdujo Belén Irlles e Irene. Laura, José Alberto, Susi, Ana, Rubén, Fio, Alvarito, Marta, Dani, Alexis, Esmeralda... (espero no dejarme a nadie) habéis sido, sobre todo en este último año, un gran apoyo para desconectar de mi día a día, disfrutar de los fines de semana y retomar fuerzas.

No puedo olvidarme de ese grupo de amigos de la UAL, Josito, Fran Bello, Miguel, Fran García, Samuel seguís ahí como en el primer curso. Aunque sólo nos veamos 2 días al año no dejamos que pase el tiempo.

A ti también, que de seguro sabrás quién eres. Y, aunque vuelves a estar distante, callada, como ausente, el hecho de estar escribiendo y acordarme del 13 de diciembre tras el congreso de la NSCA en Madrid me parece motivo suficiente para incluirte, como lo es también la “guerra de bolas de arena o visitas sorpresa” cuando éramos críos o las “llamadas de mil horas”. Se mantiene tu estilo fugaz e intermitente como siempre, al que todavía creo no acostumbrarme. Aun así, con tan poco tiempo para disfrutar de tu compañía, es increíble la fuerza, ánimos y ganas de continuar que eres capaz de despertarme.

Y, por último, pero no por eso menos importante, sólo por no extenderme más. Agradecer a Manuel Moya la oportunidad de haber trabajado con él en esta tesis. Al final se pudo. No sé qué deparará el futuro, pero trabajemos juntos o no, está claro que todo lo que me has enseñado seguirá aplicándose en mí día a día. Me enorgullece saber que parto de la mano de una persona fuerte ante la vida, muy profesional y para quien la frase: *“si no te gustan mis principios, no tengo otros”* es la mejor descripción. Gracias por todo Manolo.

Índice de Abreviaturas

1RM	One Repetition Maximum / Una Repetición Máxima
ACTH	Adrenocorticotropic Hormone / Adrenocorticotropina
cAMP	Cyclic Adenosine Monophosphate / Adenosín Monofostato Cíclico
CFR	Corticotropin Factor Releasing / Factor Liberador de Corticotropina
CMJ	Countermovement Jump / Salto con Contramovimiento.
CSA	Cross section area / Sección transversal
CV	Coefficient of Variation / Coeficiente de Variación
EMG	Electromyography / Electromiografía
fNIR	Functional Near-Infrared Spectroscopy / Spectroscopia Funcional Cercana al Infrarrojo.
HHA	Hypothalamo-Hypophyseal-Adrenal / Hipotalámico-Hipofisario-Adrenal
ICC	Intraclass Correlation Coefficient / Índice de Correlación Intraclass
MDS	Maximal Dynamic Strength / Fuerza Dinámica Máxima
MPV	Mean Propulsive Velocity / Velocidad Media Propulsiva
MU's	Motor Units / Unidades Motoras
MVC	Maximal Voluntary Contraction / Contracción Máxima Voluntaria
PP	Peak Power / Pico de Potencia
RFD	Rate Force Development / Ratio de desarrollo de fuerza
RT	Resistance Training / Entrenamiento de Fuerza (o con sobrecargas)
Sal-C	Salivary Cortisol / Cortisol Salival
SmO₂	Muscle Oxygen Saturation / Saturación Muscular de Oxígeno
SSC	Strength-Short Cycle / Ciclo estiramiento-acortamiento
VBRT	Velocity-Based Resistance Training / Entrenamiento de Fuerza basado en la Velocidad

Tabla de Contenidos

Lista de Figuras	17
Lista de Tablas	19
Introducción General	25
<i>Producción de fuerza.</i>	25
Bases biológicas de la producción de fuerza.....	25
Mecánica muscular.	25
Morfología muscular.	26
Factores neurales.	27
Entorno muscular.	27
Consideraciones neuromusculares en el desarrollo de fuerza rápida.	28
Patrones de movimientos específicos.....	28
Cargas específicas.	29
Velocidad específica.....	30
Ventana de adaptación.	30
<i>Fatiga neuromuscular y estrés metabólico.</i>	30
La fatiga neuromuscular y su manifestación.	31
Especificidad de la fatiga.	31
Manifestación mioeléctrica de la fatiga.	32
Glucocorticoides en respuesta al ejercicio físico	33
Rol de los glucocorticoides.....	34
Secreción de hidrocortisona.	35
Respuesta de la hidrocortisona al entrenamiento de fuerza	36
<i>El entrenamiento de fuerza basado en la velocidad.</i>	37
Velocidad de ejecución como indicador de fatiga muscular.	38
Adaptaciones del entrenamiento de fuerza basado en la velocidad.	41
<i>Objetivos de la tesis y formulación de hipótesis.</i>	43
<u>Estudio 1: Influencia de la intensidad de entrenamiento en la concentración salival de cortisol</u>.....	49

<i>Introducción.</i>	49
<i>Método.</i>	51
<i>Resultados.</i>	56
<i>Discusión.</i>	60
<i>Conclusión.</i>	62

Estudio 2: Fatiga neural y fluctuación de cortisol salival en dos programas de entrenamiento de fuerza: Potencia e Hipertrofia.....67

<i>Introducción</i>	67
<i>Método</i>	71
<i>Resultados</i>	80
<i>Discusión</i>	90
<i>Conclusión</i>	93

Estudio 3: Efectos del proceso de entrenamiento en la respuesta neural y hormonal en press de banca lanzado y velocidad de lanzamiento en jugadores de balonmano97

<i>Introducción</i>	97
<i>Método</i>	100
<i>Resultados</i>	109
<i>Discusión</i>	118
<i>Conclusión</i>	122

Conclusiones finales.125

Principales Aportaciones129

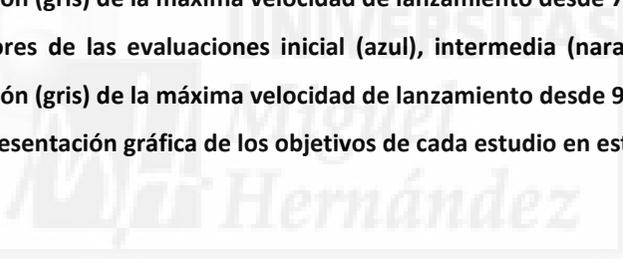
Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación132

Referencias Bibliográficas137

Lista de Figuras

Figura 1. Relación entre la pérdida de velocidad media de la fase propulsiva sobre tres series y la pérdida de la velocidad media de la fase propulsiva pre-post en relación a la velocidad inicial en sentadillas (Adaptado de Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).	39
Figura 2. Relación entre la pérdida relativa de altura en CMJ pre-post ejercicios y pérdida de MPV en tres series (A), pérdida de MPV pre-post ejercicio (B), Lactato (C) y Amonio (D) en sentadillas (Adaptado de Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).	40
Figura 3. Efectos de entrenar a máxima velocidad de ejecución en comparación con moderada velocidad de ejecución en sentadillas sobre variables representantes del rendimiento neuromuscular en acciones dinámicas (Cedido por Pareja-Blanco, 2014).	42
Figura 4. Protocolo de intervención de siete semanas para la valoración de la relación intensidad-concentración de cortisol salival.	53
Figura 5. Gráfico descriptivo de las repeticiones óptimas totales y pico de potencia en cada porcentaje de 1RM ($p < 0.05$).	58
Figura 6. Tiempo de esfuerzo y descenso en la concentración de cortisol salival en cada uno de los porcentajes.	59
Figura 7. Protocolo de intervención.	73
Figura 8. Agrupación y número de sujetos en cada grupo según respuesta hormonal.	79
Figura 9. Evolución del área bajo la curva de la saturación de oxígeno ($M \pm ET$) en unidades aleatorias de área (uaa) por grupos 1 (a), 3 (b) y 4 (c).	88
Figura 10. Sesiones de evaluación.	101
Figura 11. Distribución de cargas según entrenamiento. Para le entrenamiento VBRT las masas movilizadas correspondieron a los pesos dónde se obtuvo el pico de potencia.	102
Figura 12. Resultados, en cada valoración, de la variable 1RM agrupada por respuesta hormonal (R = Respondedores; NR = No respondedores) y tipo de entrenamiento (G10 y G30) ($*p < 0.05$).	110

Figura 13. Resultados, en cada valoración, de la variable vatios en el pico de potencia agrupada por respuesta hormonal (R = Respondedores; NR = No respondedores) y tipo de entrenamiento (G10 y G30) (* $p < 0.05$).	111
Figura 14. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de la variable 1RM (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).	114
Figura 15. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) del porcentaje del pico de potencia (** $p < 0.01$).	114
Figura 16. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de los vatios en el pico de potencia (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).	114
Figura 17. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de las repeticiones óptimas.	115
Figura 18. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de la máxima velocidad de lanzamiento desde 7 m.	115
Figura 19. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de la máxima velocidad de lanzamiento desde 9 m.	116
Figura 20. Representación gráfica de los objetivos de cada estudio en esta tesis.	129



Lista de Tablas

Tabla 1. Cambios ($M \pm SD$) en el rendimiento neuromuscular en sentadillas para dos criterios de pérdida de velocidad en el entrenamiento de fuerza (Adaptado de Pareja-Blanco, 2016).....	42
Tabla 2. Datos descriptivos de las variables hormonales y mecánicas analizadas en cada porcentaje de 1RM ($M \pm ET$).	56
Tabla 3. Datos descriptivos de la potencia media propulsiva (MPP) y repeticiones óptimas (Rep. Opt.) en cada serie por porcentaje ($M \pm ET$).	57
Tabla 4. Concentración de Cortisol Salival ($M \pm ET$) en las condiciones pre y post entrenamiento.	58
Tabla 5. Diferencias en el pico de potencia ($M \pm ET$) entre porcentajes de cargas movilizadas durante la sesión de fuerza.	59
Tabla 6. Datos descriptivos de la muestra. ($M \pm ET$).	80
Tabla 7. Datos descriptivos de las variables en el protocolo VBRT ($M \pm ET$).	81
Tabla 8. Datos descriptivos de las variables en el protocolo FM ($M \pm ET$).	81
Tabla 9. Descriptivos variables mecánicas ($M \pm ET$) por grupos de secreción hormonal.....	82
Tabla 10. Pérdida de velocidad máxima normalizada (%) por grupos ($M \pm ET$).	83
Tabla 11. Tiempo de esfuerzo (s) por grupos ($M \pm ET$).	84
Tabla 12. Concentración Sal-C ($\mu\text{g/dL}$) del grupo 1 en cada protocolo.....	85
Tabla 13. Concentración Sal-C ($\mu\text{g/dL}$) del grupo 3 en cada protocolo.....	86
Tabla 14. Concentración Sal-C ($\mu\text{g/dL}$) del grupo 4 en cada protocolo.....	86
Tabla 15. Concentración de lactato en sangre (mmol/dL) por grupos ($M \pm ET$).	87
Tabla 16. Porcentaje de activación muscular (%MVC) en las tareas isométricas antes y después del entrenamiento VBRT ($M \pm ET$).	89
Tabla 17. Porcentaje de activación muscular (%MVC) en las tareas isométricas antes y después del entrenamiento FM ($M \pm ET$).	89
Tabla 18. Ejercicios de entrenamiento en hipertrofia y potencia.	103
Tabla 19. Datos descriptivos de la evolución de los grupos en cada evaluación ($M \pm ET$).	109

Tabla 20. Evolución de la respuesta hormonal al entrenamiento (número de sujetos).
..... 110

Tabla 21. Concentraciones de Sal-C ($\mu\text{g}/\text{dL}$) por grupo y serie..... 112

Tabla 22. Concentraciones de Lactato (mmol/dL) por grupo y serie ($M \pm ET$). 113

**Tabla 23. Porcentaje de activación muscular (%MVC) en las tareas isométricas antes
y después del test ($M \pm ET$). 117**



Resumen

Los objetivos de esta tesis son examinar la influencia de la intensidad y el volumen del entrenamiento de fuerza, en la metodología basada en la velocidad, sobre la respuesta hormonal y actividad neuromuscular, además de determinar sus efectos en el rendimiento en un ambiente ecológico de un equipo senior masculino de balonmano semi-profesional. A continuación, se presentan las principales aportaciones de esta tesis. La respuesta hormonal parece ser independiente de la intensidad y volumen del entrenamiento siendo específica de cada individuo. Aunque no parece que esta respuesta individual tenga relación alguna con la fatiga en el entrenamiento de fuerza ni con la función neuromuscular, podría perfilarse en función de la tendencia a incrementar o disminuir la concentración hormonal de cortisol salival en cada sujeto, presentando dichos perfiles tímidas diferencias, no significativas, en la concentración de lactato, función neuromuscular y saturación de oxígeno en el tejido muscular. No obstante, estos perfiles parecen modificarse tras un entrenamiento de fuerza orientado a la hipertrofia siendo la tendencia general a disminuir la concentración hormonal de cortisol ante un mismo estímulo. En cualquier caso, el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad con un criterio de pérdida de velocidad del 10% es suficiente para promover adaptaciones que mejoren la carga levantada en una repetición máxima, vatios generados en el pico de potencia y, aunque no significativo, las repeticiones óptimas realizadas en el pico de potencia y la velocidad de lanzamiento a portería en jugadores de balonmano.

Palabras Clave: Entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, Cortisol Salival, Electromiografía, Balonmano, Press de banca.



Introducción

Introducción General

La mayoría de los deportistas tienen escaso tiempo de entrenamiento debido al régimen de competición (ligas o torneos sucesivos), por lo que requieren de nuevas metodologías de entrenamiento que les permitan maximizar los resultados reduciendo el tiempo de recuperación. Recientemente, el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad ('Velocity-Based Resistance Training', VBRT) con movimientos pliométricos y balísticos ha comenzado a tomar relevancia en los entrenamientos. Este tipo de entrenamiento orientado a la mejora de la producción rápida de la fuerza, podría posibilitar adaptaciones con mayor transferencia a un gran número de deportes, que los ejercicios tradicionales en el entrenamiento de fuerza ('Resistance Training', RT). Sin embargo, la producción de fatiga, principal causante de largos periodos de recuperación (>48-72h) en la metodología tradicional, está aún por explorar en el entrenamiento VBRT. Por ello, comprender los mecanismos de producción de fuerza y el comportamiento de la fatiga, relacionada con la pérdida de velocidad desde la actividad neuromuscular y la secreción de glucocorticoides, resulta necesario para optimizar el entrenamiento.

Producción de fuerza.

Bases biológicas de la producción de fuerza.

Mecánica muscular.

La fuerza generada por el músculo varía ampliamente según la velocidad de contracción (Knudson, 2009). Debido a que la capacidad muscular de producción de fuerza depende fundamentalmente de la cantidad de puentes cruzados, la producción de fuerza disminuye cuando la velocidad se incrementa pues el tiempo para realizar puentes cruzados se reduce (Edman, 1966; Lieber, Loren, y Friden, 1994). Asimismo, la mayor producción de fuerza ocurre cuando los sarcómeros se encuentran en una longitud óptima que

permita el mayor número de enlaces entre actina y miosina (MacIntosh y Holash, 2000).

Por otro lado, factores relacionados con el tipo de acción muscular condicionan la formación de puentes cruzados. El tiempo disponible para el desarrollo de fuerza en un ciclo estiramiento-acortamiento ('stretch-shortening cycle', SSC) permite a la musculatura agonista desarrollar una considerable fuerza previa a la acción concéntrica (Bobbert y Casius, 2005; Bosco et al., 1987). Esta mayor producción de fuerza del SSC está relacionada con la interacción entre el componente elástico y el componente contráctil del músculo (Fukashiro, Kurokawa, Hay, y Nagano, 2005) y el reflejo miotático que potencia la fuerza durante la fase contráctil (Trimble, Kukulka, y Thomas, 2000).

Morfología muscular.

La capacidad de generar fuerza durante un movimiento está supeditada a la capacidad contráctil, la cual es influenciada por factores morfológicos y la arquitectura muscular. De modo que, el tipo de fibra muscular y el ángulo de peneación van a determinar la producción de fuerza de un músculo (Aagaard, Magnusson, Larsson, Kjær, y Krstrup, 2007; Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, y Dyhre-Poulsen, 2002a). Sin embargo, para un músculo dado, independientemente del tipo de fibra, la producción de fuerza será directamente proporcional a su sección transversal ('Cross Section Area', CSA) (Malisoux, Francaux, Nielens, y Theisen, 2006). Además, la rigidez del tendón influye en la producción de fuerza, ya que afectaría al desplazamiento de las fascias, habiéndose demostrado que una menor rigidez está asociada con un peor rendimiento en acciones explosivas (Bojsen-Møller, Magnusson, Rasmussen, Kjaer, y Aagaard, 2005).

Factores neurales.

La capacidad de generar fuerza de forma rápida también está condicionada por la activación muscular desarrollada por parte del Sistema Nervioso Central, ya que está relacionado con el reclutamiento de unidades motoras ('Motor Units', MU's), frecuencia de impulsos, sincronización y coordinación inter-muscular (Cormie, McGuigan, y Newton, 2011).

Se ha sugerido que las mejoras en la producción de fuerza, relacionadas con las MU's reclutadas, vendrían producidas por una mejora del impulso neural, incremento de excitabilidad de las moto-neuronas e inhibición pre-sináptica (Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, y Dyhre-Poulsen, 2002b), una preferencia de activación de fibras tipo II (Enoka y Fuglevand, 2001) y un descenso del umbral de reclutamiento (Cutsem, Duchateau, y Hainaut, 1998). Además, un incremento de la frecuencia de impulsos provocaría una mayor producción de fuerza durante la contracción (Enoka, 1995), e incrementaría el ratio de desarrollo de fuerza ('Rate Force Development', RFD) (Moritani, 2008).

Aunque aún no está completamente demostrado, se cree que la sincronización entre MU's aumentaría la producción de fuerza e influiría positivamente sobre el RFD (Semmler, 2002). Por último, es necesaria una correcta activación (en magnitud y tiempo) de la musculatura agonista, sinergista y antagonista para maximizar la producción de fuerza (Folland y Williams, 2007).

Entorno muscular.

Los cambios agudos en el entorno del músculo (p.e. alteraciones resultantes de la fatiga, como la acumulación de potasio extracelular en la depresión de la excitabilidad de la motoneurona) influyen en el rendimiento y por lo tanto en la capacidad del músculo de generar fuerza (Allen, Lamb, y Westerblad, 2008; Fitts, 2008). Mientras la influencia de factores endocrinos en los procesos

adaptativos en el musculo y en la mejora de la función muscular han sido ampliamente estudiadas (Kraemer y Ratamess, 2005), los cambios hormonales agudos parece que podrían afectar a la capacidad de producción de fuerza de forma inmediata, ya que se ha sugerido que aquellos sujetos con mayores incrementos en la secreción hormonal como respuesta a un determinado estímulo son capaces de mejorar los valores de potencia generados al comparar pretest-postest de una medición aguda (Hamdi y Mutungi, 2010; Viru et al., 2001).

Consideraciones neuromusculares en el desarrollo de fuerza rápida.

Patrones de movimientos específicos.

La capacidad para generar la mayor cantidad de fuerza, y consecuentemente mayor aceleración, en movimientos dinámicos y multi-articulares depende de la naturaleza del movimiento, por lo que es necesario la correcta selección de ejercicios. Los movimientos balísticos permiten adaptaciones con mayor transferencia que los ejercicios tradicionales, ya que la aceleración es continua durante todo el movimiento y, la velocidad concéntrica, fuerza y activación muscular son mayores (Cormie, McCaulley, Triplett, y McBride, 2007). Los ejercicios pliométricos, caracterizados por un rápido SSC en la contracción muscular y ejecución sin carga externa (de Villarreal, Kellis, Kraemer, y Izquierdo, 2009), han mostrado mejoras significativas en la producción de fuerza rápida durante movimientos específicos de los deportes (Booth y Orr, 2016; Ramírez-Campillo et al., 2014). Sin embargo, para los movimientos balísticos y pliométricos, no se conoce con exactitud los mecanismos que dirigen las adaptaciones con este tipo de ejercicios, pero se cree que contribuyen al incremento del RFD (Kyröläinen et al., 2005).

Por otro lado, los movimientos olímpicos como el Snatch o Clean & Jerck y sus variaciones son normalmente incluidos en programas de entrenamiento de diferentes deportes (Ebben, Carroll, y Simenz, 2004; Ebben, Hintz, y Simenz,

2005; Simenz, Dugan, y Ebben, 2005). Al igual que en los movimientos balísticos, la aceleración es continua durante toda la fase propulsiva, provocando una proyección de la barra, aunque la principal diferencia reside en la desaceleración voluntaria en la última fase del movimiento (Korkmaz y Harbili, 2016). Se cree que los patrones de movimiento requeridos para este tipo de ejercicios son comunes a muchos deportes relacionándolos con el salto y el sprint (Teo, Newton, Newton, Dempsey, y Fairchild, 2016)

Cargas específicas.

También la producción de fuerza y capacidad de aceleración se ve drásticamente modificada en función de la carga a movilizar (Comfort, Fletcher, y McMahon, 2012; Cormie et al., 2007; Kawamori y Haff, 2004) De hecho, un amplio rango de condiciones han sido descritas para propiciar mejoras en la producción de fuerza, incluyendo altas cargas ($\geq 80\%$ de 1RM), cargas ligeras (0-60% de 1RM), cargas óptimas así como su combinación (Cormie, McGuigan, y Newton, 2011).

Estas cargas óptimas han sido definidas como aquellas que permiten una mayor aceleración en movimientos específicos, sin embargo están altamente influenciadas por la naturaleza de dicho movimiento (Soriano, Jiménez-Reyes, Rhea, y Marín, 2015). Aunque los mecanismos que subyacen en las adaptaciones tras el entrenamiento con estas cargas están por identificar, se cree que están relacionadas con el ratio de activación neural (McBride, Triplett-McBride, Davie, y Newton, 2002).

No obstante, usar cargas livianas mejora el rendimiento muscular en la zona de alta velocidad de la curva fuerza-velocidad, así como las altas cargas incrementan el rendimiento en la zona de alta fuerza (Jones, Bishop, Hunter, y Fleisig, 2001). De modo que, la combinación de todas las cargas incrementará toda el área bajo la curva fuerza-velocidad.

Velocidad específica.

La teoría de la velocidad específica sostiene que las adaptaciones en el RT son maximizadas en las velocidades de movimiento utilizadas durante el entrenamiento (Kaneko, Fuchimoto, Toji, y Suei, 1983; Narici, Roi, Landoni, Minetti, y Cerretelli, 1989). Sin embargo, existe otra teoría que postula la “intención de movimiento” como determinante de las adaptaciones de la velocidad específica (Behm y Sale, 1993), es decir, que las mejoras están condicionadas por las características de un alto grado de activación neural asociado a una contracción balística intencionada y a un alto requerimiento del RFD. Así, para maximizar la transferencia del rendimiento, los entrenamientos deberían incluir cargas que permitan una velocidad similar al encontrado en su deporte y, además los deportistas deberían tratar de realizar esos ejercicios lo más explosivo que puedan.

Ventana de adaptación.

La capacidad de acelerar una masa es influenciada por una multitud de factores (neuromusculares, mecánicos, morfológicos...) los cuales necesitan de variedad en los estímulos de entrenamiento para su desarrollo. Sin embargo, no todos los sujetos evolucionarán de la misma manera, ya que el potencial o ventana de adaptación está muy influenciado por las características de cada individuo, en este caso, su nivel de entrenamiento (Newton y Kraemer, 1994)

Fatiga neuromuscular y estrés metabólico.

Una de las características del sistema neuromuscular es la capacidad de adaptación ante cualquier tipo de estímulo, ya sea crónico o agudo. La adaptación aguda más conocida es la fatiga muscular, concepto entendido como un descenso agudo de la capacidad de rendimiento que atañe a un incremento de la percepción del esfuerzo y una incapacidad para producir fuerza (Enoka y Stuart, 1985; Williams y Ratel, 2009). Sin embargo, este

fenómeno no trata un único factor, sino que el concepto fatiga refiere a un conjunto de efectos que disminuyen el rendimiento. Estos efectos parecen tener cierta dependencia con la tarea, determinando los mecanismos y lugares que se asocian a la fatiga, de modo que cuando las características de la tarea varían, parece que los mecanismos causantes de la fatiga también lo hacen (Asmussen, 1979; Enoka y Stuart, 1992).

La fatiga neuromuscular y su manifestación.

Especificidad de la fatiga.

A modo de ejemplo, algunos autores han propuesto la edad como un factor que predispone a la fatiga. Baudry, Klass, Pasquet, y Duchateau (2007) encontraron que las personas mayores se fatigaban más rápido que los jóvenes en tareas de flexo-extensión. Sin embargo, Hunter, Critchlow, y Enoka (2005) demostraron que ocurría todo lo contrario cuando la actividad era isométrica. La diferencia de género también ha sido objeto de estudio, no habiéndose encontrado diferencias en el mantenimiento de la contracción y descenso de fuerza entre mujeres y hombres cuando se agrupaban por similares valores de fuerza (Clark, Collier, Manini, y Ploutz-Snyder, 2005), a pesar de que las mujeres, en general, son más resistentes ante contracciones de baja intensidad (Hicks, Kent-Braun, y Ditor, 2001; Hunter, Butler, Todd, Gandevia, y Taylor, 2006) pero no en contracciones máximas (Baudry et al., 2007).

Por otro lado, la contribución al descenso de fuerza derivado de una reducción en la activación muscular por parte del sistema nervioso puede ser influenciado por ambientes calurosos o descensos en los niveles de glucosa (Nybo, 2003; Nybo y Nielsen, 2001; Todd, Butler, Taylor, y Gandevia, 2005). Además, puede verse influenciada por el tipo de actividad, ya que al comparar tareas isométricas y anisométricas se ha observado, para un mismo nivel de

pérdida de fuerza, mayor descenso de la activación muscular en las tareas isométricas (Babault, Desbrosses, Fabre, Michaut, y Pousson, 2006).

Por último, además de las diferencias en las propiedades contráctiles de las fibras y la clasificación basada en su fatigabilidad (Buller, Eccles, y Eccles, 1960; Burke, Levine, Tsairis, y Zajac III, 1973), hay otros factores musculares que pueden influir en la contracción. La contribución al desarrollo de fatiga de los grupos aferentes III-IV, los cuales son activados por los desechos metabólicos derivados de la contracción muscular, puede variar dependiendo del músculo. Martin, Smith, Butler, Gandevia, y Taylor (2006) demostraron que los grupos aferentes III-IV reducían la excitabilidad de las moto-neuronas del tríceps braquial, pero facilitaban la innervación del bíceps braquial en estado de fatiga.

Estos casos enfatizan la especificidad de las disfunciones que contribuye al desarrollo de la fatiga muscular y por tanto hace imposible identificar qué mecanismos causan la fatiga (Enoka y Duchateau, 2008). Además, la amplia literatura al respecto demuestra que es posible deprimir cualquier proceso fisiológico que interviene en la activación de las proteínas contráctiles y, por lo tanto, en la fuerza que estas pueden producir.

Manifestación mioeléctrica de la fatiga.

Para que tenga lugar una contracción voluntaria se debe activar un conjunto de moto-neuronas mediante impulsos sinápticos que son proporcionados por las vías descendentes, inter-neuronas espinales y retroalimentación periférica aferente. Después de que estos impulsos hayan sido integrados por la moto neurona, la señal de activación envía trenes de potenciales de acción desde la médula espinal al músculo para las MU's que previamente han sido reclutadas para la acción. La actividad de esta red de MU's, es reflejo de la magnitud de la señal enviada por la médula espinal y puede ser relacionada con la producción de fuerza muscular (Enoka, 2012).

Consecuentemente, determinadas propiedades de la señal electromiográfica ('electromyography', EMG) pueden ser usadas como un índice de fatiga asociada a la actividad de las MU's durante la contracción muscular (Watanabe y Akima, 2010). En este sentido, se ha descrito que incrementos de la amplitud y descensos de la frecuencia de la señal EMG correspondería con dicho estado (Georgakis, Stergioulas, y Giakas, 2003; Masuda, Masuda, Sadoyama, Inaki, y Katsuta, 1999). Considerando que la fuerza muscular puede variar debido a diversos factores mecánicos sin que se produzcan cambios en la amplitud de la señal EMG (Carpentier, Duchateau, y Hainaut, 2001; Dideriksen, Enoka, y Farina, 2011), y que dicha amplitud puede ser modulada por cambios en la forma y velocidad de propagación de los potenciales de acción sin producir cambios en la producción de fuerza (Dideriksen, Farina, y Enoka, 2010; Keenan, Farina, Maluf, Merletti, y Enoka, 2005).

Glucocorticoides en respuesta al ejercicio físico

Se ha demostrado que en situaciones de fatiga derivada del entrenamiento, la concentración de cortisol incrementa de forma significativa. El cortisol, también llamado hidrocortisona ($C_{21}H_{30}O_5$), es el principal miembro de la familia de las hormonas esteroideas conocidas como glucocorticoides, representando aproximadamente el 95% de toda la actividad glucocorticoide (Hall y Guyton, 2006). La propiedad catabólica de esta hormona ha sido relacionada con atenuaciones de las hormonas anabólicas (testosterona y hormona del crecimiento) (Deschenes y Kraemer, 2002). De forma crónica altos niveles de cortisol han sido relacionados con diferentes agentes estresores como la depresión, un traumatismo o sobreentrenamiento (Sapolsky, Romero, y Munck, 2000). En suero, cerca del 90-95% de su concentración está unido a la transcortina (globulina fijadora del cortisol) y en menor medida a la albúmina (Virus y Virus, 2001), siendo de un 5-10% el cortisol biológicamente activo. En cambio, en saliva la concentración es de sólo un 50-60% de la concentración libre en suero (Gatti y De Palo, 2011). Sin embargo,

existe correlación significativa cuando se compara las fluctuaciones entre la concentración en saliva y suero total o concentración libre (Wood, 2009).

Rol de los glucocorticoides.

La función de los glucocorticoides sobre diferentes procesos metabólicos ha sido ampliamente descrita en la literatura médica (Hall y Guyton, 2006).

Primero, sobre el metabolismo de los hidratos de carbono, estimula la gluconeogenia debido a dos efectos: 1) El cortisol aumenta las enzimas que convierten los aminoácidos en glucosa dentro de los hepatocitos y, 2) moviliza los aminoácidos de los tejidos extrahepáticos (sobre todo del músculo). Este efecto del cortisol permite a otras hormonas glucolíticas movilizar la glucosa en periodos de necesidad. También disminuye la utilización celular de la glucosa y aunque se desconoce las causas de este descenso, Hall y Guyton (2006) hipotetizaron que el cortisol retrasaba directamente la velocidad de utilización de la glucosa en algún lugar comprendido entre el punto de entrada de la glucosa en la célula y su descomposición final. Además, produce un incremento de la glucemia y “diabetes suprarrenal” debido a los efectos anteriormente descritos.

Segundo, sobre el metabolismo de las proteínas. Reduce las proteínas celulares extrahepáticas (músculo y tejido linfático) y aumenta las proteínas del hígado y el plasma, estimulando el transporte a los hepatocitos. Sin embargo, no suele movilizar las proteínas funcionales básicas de la célula, tales como las proteínas contráctiles musculares o las proteínas neuronales, hasta que casi todas las demás proteínas se han liberado. Este efecto preferente en la movilización de las proteínas hábiles podría suministrar aminoácidos a las células que lo necesitaran para sintetizar sustancias necesarias para la vida.

Tercero, sobre el metabolismo de las grasas. Moviliza los ácidos grasos del tejido adiposo incrementando la concentración de estos en el plasma, y aumentando su utilización con fines energéticos. Este efecto es consecuencia de la reducción de α -glicerofosfato, derivado de la glucosa, el cual es necesario para el depósito y mantenimiento de los triglicéridos en las células.

Cuarto, sobre la resistencia al estrés y procesos inflamatorios. Prácticamente ante cualquier tipo de estrés, físico o neurógeno, provoca un aumento considerable de cortisol tras 4 min aproximadamente de producirse el estrés. Cuando se secretan grandes cantidades de cortisol, este ejerce dos efectos antiinflamatorios: 1) impidiendo la inflamación mediante la estabilización de las membranas lisosómicas, la reducción de la permeabilidad de los capilares, la emigración de los leucocitos a la zona inflamada y fagocitosis de las células dañadas, la inhibición del sistema inmunitario y reducción de la multiplicación de linfocitos y el descenso de la temperatura para la reducción de la interleucina-1; 2) si la inflamación ya se ha iniciado, favorecerá la desaparición rápida de ésta y acelerará la cicatrización.

Secreción de hidrocortisona.

Siguiendo a Hall y Guyton (2006), la liberación de las hormonas hipofisarias tienen un mismo patrón. Comienza con la secreción, por parte del hipotálamo, de la corticoliberina o factor liberador de corticotropina ('corticotropin-releasing factor', CFR) que controla la secreción de la corticotropina ('adrenocorticotropic hormone', ACTH). El CFR se secreta hacia el plexo capilar primario del sistema hipofisario portal en la eminencia media del hipotálamo para ser transportado a la adenohipófisis, donde induce la secreción de ACTH. Esta activa la adenilato ciclasa de la membrana celular de las células corticosuprarrenales y a su vez induce la formación de monofosfato de adenosina cíclico ('cyclic adenosine monophosphate', cAMP) en el citoplasma;

el efecto máximo se alcanza a los 3 min. El cAMP activa las enzimas intracelulares que sintetizan las hormonas corticosuprarrenales.

Además, la ACTH controla la activación de la enzima proteína cinasa A de la que depende la conversión inicial de colesterol en pregnenolona, paso “limitante de la velocidad” de síntesis de las hormonas corticosuprarrenales.

Respuesta de la hidrocortisona al entrenamiento de fuerza.

La respuesta del cortisol al ejercicio físico ha sido ampliamente estudiada con diferentes intensidades, volúmenes y tipos de entrenamiento. Se ha sugerido una relación lineal de la concentración de cortisol con la alta intensidad del ejercicio y la larga duración (Jacks, Sowash, Anning, McGloughlin, y Andres, 2002).

Crewther, Cronin, Keogh, y Cook (2008) examinaron la respuesta del cortisol libre en saliva ('salivary cortisol', Sal-C) a tres programas diferentes de entrenamiento equiparados en duración y carga. Estos autores encontraron un incremento de Sal-C tras el entrenamiento de hipertrofia que alcanzó hasta un 290% respecto al basal mientras que los programas de entrenamiento de “potencia” y fuerza máxima produjeron ligeros cambios o ninguno, al igual que referencian otros autores (Kraemer y Ratamess, 2005; McGuigan, Egan, y Foster, 2004).

Después de múltiples series de RT con una duración total de 25 min, Cadore et al. (2008) encontró un incremento significativo de Sal-C respecto al inicio tanto en hombres entrenados como no entrenados.

También se ha examinado la relación entre el rendimiento neuromuscular (velocidad, “potencia” y fuerza máxima) y la concentración hormonal en saliva en deportistas de élite, confirmándose una relación entre el rendimiento neuromuscular y los patrones de secreción hormonal durante 5 días (Crewther, Lowe, Weatherby, Gill, y Keogh, 2009).

El entrenamiento de fuerza basado en la velocidad.

Las evidencias descritas anteriormente están sustentadas en una visión tradicional, es decir, en el RT basado en la capacidad de realizar el mayor número de repeticiones posibles con altos porcentajes de 1 repetición máxima ('one repetition maximum', 1RM) ya que se ha considerado el más efectivo para el desarrollo de Fuerza Dinámica Máxima ('maximal dynamic strength', MDS) con el suficiente volumen de entrenamiento (Fleck, 1999; Fry y Kraemer, 1997; Fry, Kraemer, Lynch, Triplett, y Koziris, 1994; Fry, Kraemer, van Borselen, et al., 1994; González-Badillo, Gorostiaga, Arellano, y Izquierdo, 2005). Esto supone alcanzar el fallo muscular, definido como el momento en el que el músculo no puede producir la fuerza necesaria para movilizar de forma concéntrica una carga (Schoenfeld, 2010). Se ha sugerido que esta situación es necesaria para aumentar la activación de un mayor número de MU's (Willardson, 2007), provocar un mayor estrés metabólico (Kouzaki, Yoshihisa, y Fukunaga, 1997) y mayor daño muscular (Evans, 2002; Hill y Goldspink, 2003) que en definitiva van a contribuir a un incremento de la CSA (Gonzalez, Hoffman, Stout, Fukuda, y Willoughby, 2016; Schoenfeld, 2010) altamente relacionada con la fuerza muscular (Maughan, Watson, y Weir, 1983).

Sin embargo, varios autores argumentan que el entrenamiento al fallo no es necesario para una ganancia óptima de fuerza (Folland, Irish, Roberts, Tarr, y Jones, 2002; Izquierdo, Ibanez, et al., 2006; Kramer et al., 1997; Sampson y Groeller, 2015; Sanborn et al., 2000) y que además alcanzar el fallo muscular incrementa potencialmente el riesgo de sobre-entrenamiento (Borst et al., 2001; Elloumi et al., 2005; Izquierdo, Ibanez, et al., 2006).

No obstante, existe un amplio consenso respecto a que las adaptaciones al RT depende en gran medida de la configuración del estímulo de entrenamiento, el cual está mediado por la magnitud de la carga, número de repeticiones y series, tipo de ejercicio y orden, tiempo de recuperación y velocidad de

ejecución (Kraemer y Ratamess, 2004; Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011; Schoenfeld, 2010; Schoenfeld, Ogborn, y Krieger, 2015; Spiering et al., 2008). Estas variables han sido ampliamente estudiadas habiéndose prestado menos atención a los cambios en la velocidad en respuesta a diferentes RT como consecuencia de la fatiga (Abdessemed, Duche, Hautier, Poumarat, y Bedu, 1999; Izquierdo, González-Badillo, et al., 2006; Izquierdo et al., 2009; Lawton, Cronin, y Lindsell, 2006).

Velocidad de ejecución como indicador de fatiga muscular.

La fatiga muscular se puede referir a un déficit motor, una percepción o una disminución en la función mental, se puede describir la disminución gradual en la capacidad de fuerza de los músculos o del punto final de una actividad sostenida, y se puede medir como una reducción en la fuerza muscular, un cambio en la actividad electromiográfica o un agotamiento de la función contráctil (Enoka y Duchateau, 2008). Estas reducciones son acompañada por un incremento del nivel de esfuerzo requerido para mantener el rendimiento (Enoka y Stuart, 1992; Williams y Ratel, 2009), un aumento en la concentración de sustratos como el lactato y amonio, una pérdida en la velocidad media de la fase propulsiva ('mean propulsive velocity', MPV) y una disminución de la altura de salto en un Salto con contra-movimiento ('Countermovement jump', CMJ) (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011; Smilios, 1998)

Tal y como se muestra en la figura 1, los porcentajes de pérdida de MPV después de tres series y en el pre-post de la primera serie, se incrementan progresivamente y de forma significativa ($P \leq 0.001$), conforme las repeticiones realizadas se aproximan a las máximas que se podrían realizar con una carga determinada. Por lo tanto, ya que se ha considerado la fatiga como un continuo hasta el punto de fallo muscular (Cairns, Knicker, Thompson, y Sjøgaard, 2005), la pérdida de velocidad durante un ejercicio dinámico puede

ser interpretado como una evidencia del debilitamiento de la función neuromuscular.

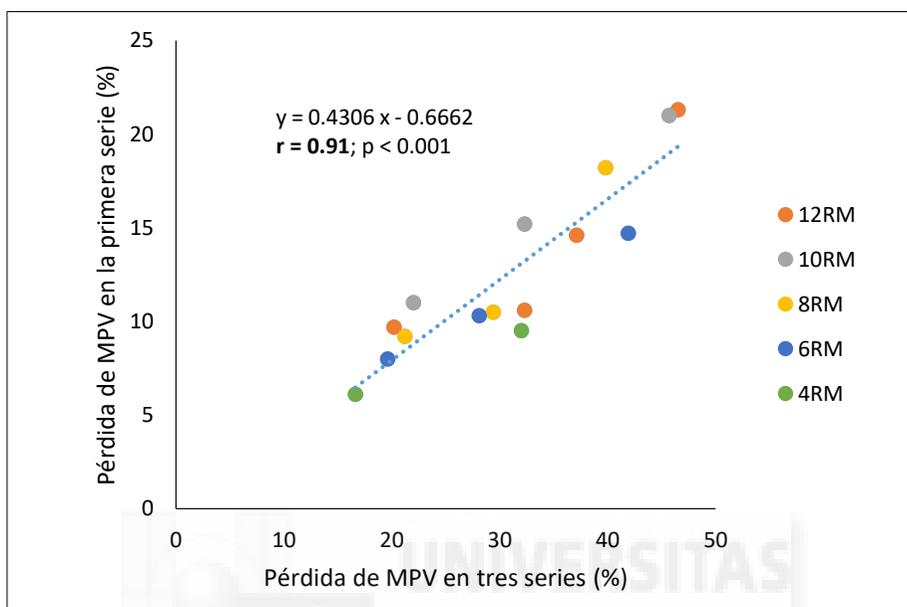


Figura 1. Relación entre la pérdida de velocidad media de la fase propulsiva sobre tres series y la pérdida de la velocidad media de la fase propulsiva pre-post en relación a la velocidad inicial en sentadillas (Adaptado de Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

Sánchez-Medina y González-Badillo (2011) encontraron una fuerte correlación entre la pérdida relativa de MPV después de tres series y la pérdida de MPV pre-post de la primera serie (Figura 1), con similares correlaciones cuando relacionaron estas variables con el rendimiento en CMJ (Figura 2 A y B), evidenciando la utilidad de la monitorización del RT mediante el porcentaje de pérdida de velocidad como un indicador de fatiga neuromuscular.

Dicha evidencia es también soportada por la relación entre las variables mecánicas y los sustratos metabólicos (lactato y amonio). La lactacidemia incrementa de forma lineal conforme las repeticiones realizadas se acercan a las máximas que se podrían realizar, mostrando una fuerte correlación con la pérdida de velocidad después de tres series ($r=0.97$), la pérdida de velocidad pre-post en la primera serie ($r=0.93$) y la pérdida de altura en el CMJ (Figura 2 C). Sin embargo, el Amonio no presenta esta relación sugiriendo los autores la

existencia de un “umbral de esfuerzo” (Figura 2 D) (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011).

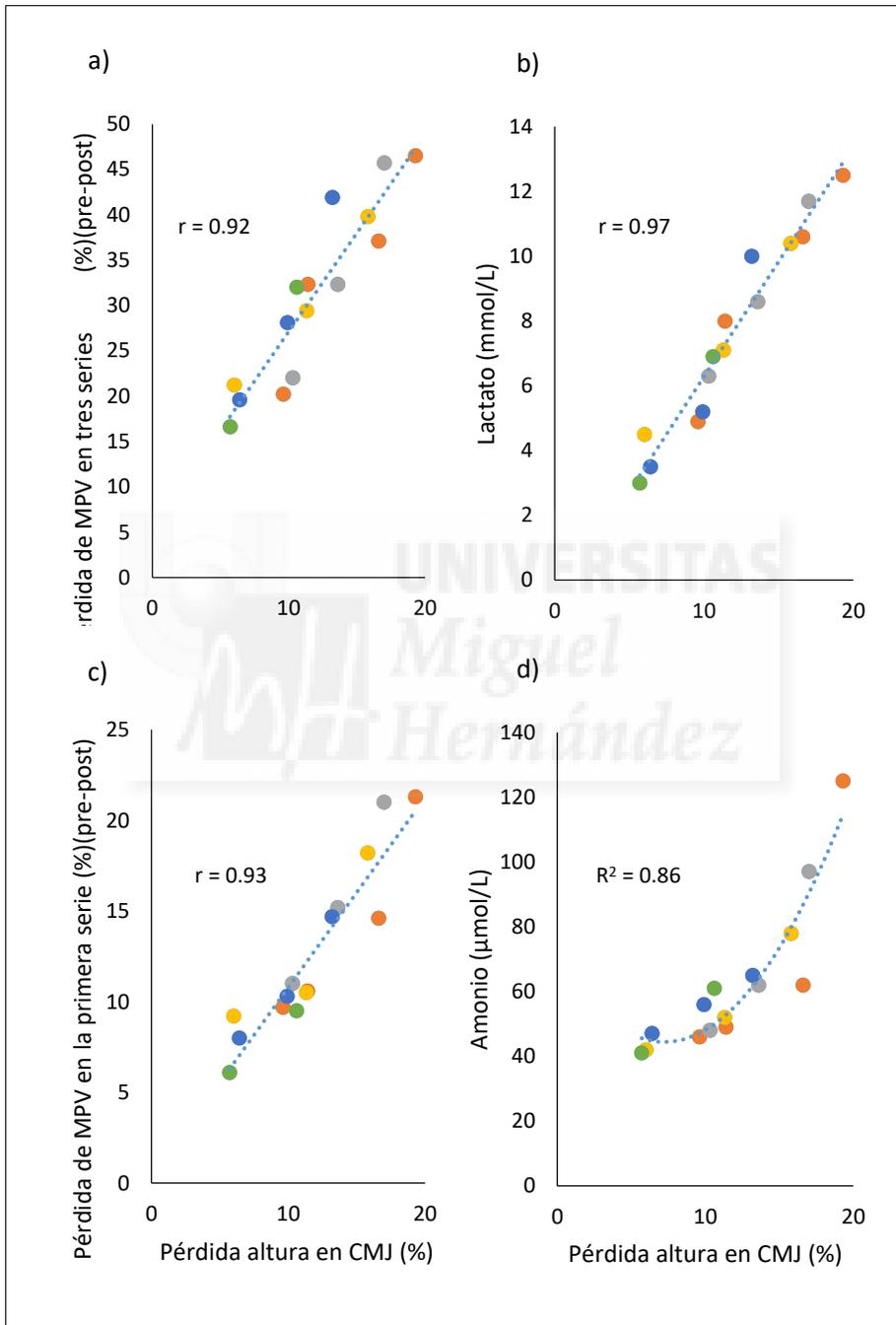


Figura 2. Relación entre la pérdida relativa de altura en CMJ pre-post ejercicios y pérdida de MPV en tres series (A), pérdida de MPV pre-post ejercicio (B), Lactato (C) y Amonio (D) en sentadillas (Adaptado de Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

Adaptaciones del entrenamiento de fuerza basado en la velocidad.

Dado que la pérdida de MPV correlaciona con variables fisiológicas que determinan el rendimiento, parece sensato utilizar dichas reducciones para monitorizar la orientación de las cargas de entrenamiento.

Pareja-Blanco et al. (2016) han contrastado los efectos sobre el rendimiento neuromuscular, las ganancias de fuerza y las adaptaciones musculares relacionados con el entrenamiento VBRT. Estos autores observaron que, cuando la pérdida de velocidad durante los entrenamientos era del 20% de la MPV, la MDS y la velocidad de ejecución ante cargas altas y ligeras obtuvieron resultados ligeramente superiores respecto al entrenamiento con un descenso del 40% de la MPV (Tabla 1). Sin embargo, este último presentaba un mayor grado de hipertrofia muscular con una importante reducción de las fibras rápidas, lo que podría explicar el detrimento del rendimiento en acciones explosivas.

Además, la velocidad de ejecución durante el entrenamiento parece ser determinante en la consecución de estas adaptaciones (Figura 3), de modo que estos resultados serían posibles cuando se realizaran las repeticiones a máxima velocidad en la fase concéntrica, siendo más eficaz para crear adaptaciones favorables a aquellas acciones que requieran de una alta producción de fuerza en un breve periodo de tiempo (Blazevich y Jenkins, 2002; Jones et al., 2001; Pareja-Blanco, Rodríguez-Rosell, Sánchez-Medina, Gorostiaga, y González-Badillo, 2014).

Tabla 1. Cambios (M ± SD) en el rendimiento neuromuscular en sentadillas para dos criterios de pérdida de velocidad en el entrenamiento de fuerza (Adaptado de Pareja-Blanco, 2016).

	Pérdida MPV 40%			Pérdida MPV 20%			p efecto*tiempo
	Pre	Post	p	Pre	Post	p	
1RM (kg)	104.5 ± 15.1	118.6 ± 20.4	<0.001	106.5 ± 12.2	125.2 ± 12.3	<0.001	<0.001
VM (m/s)	0.95 ± 0.06	1.01 ± 0.09	0.03	0.95 ± 0.06	1.06 ± 0.06	<0.001	<0.001
VM>1 (m/s)	1.22 ± 0.03	1.23 ± 0.08	0.62	1.21 ± 0.05	1.29 ± 0.07	0.005	0.02
VM<1 (m/s)	0.72 ± 0.04	0.81 ± 0.07	0.001	0.72 ± 0.04	0.87 ± 0.07	<0.001	<0.001
CMJ (cm)	41.0 ± 4.3	42.5 ± 5.8	0.06	40.5 ± 6.0	44.2 ± 6.0	<0.001	<0.001
Sp20m (s)	2.99 ± 0.09	3.02 ± 0.08	0.25	3.00 ± 0.11	2.99 ± 0.10	0.45	0.73

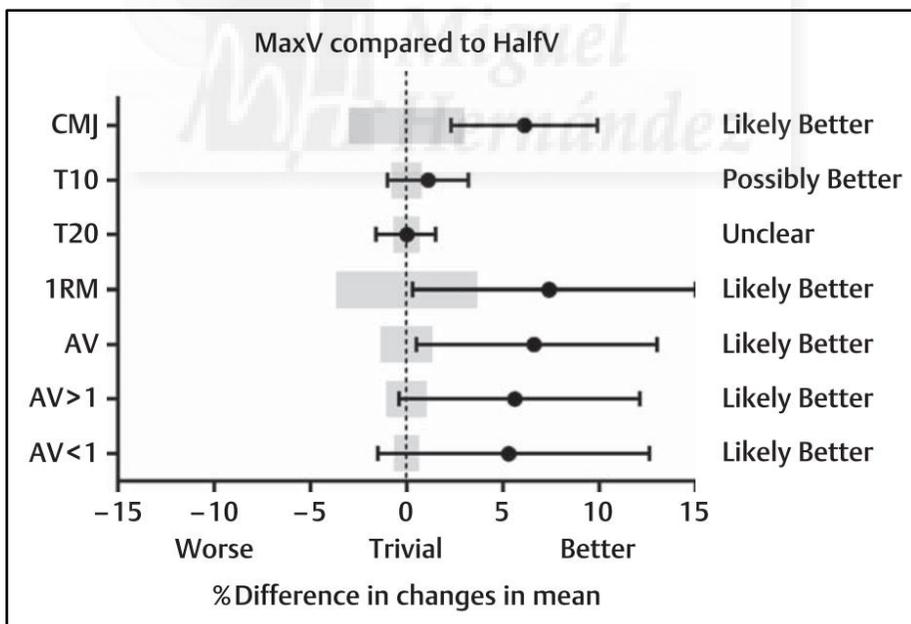


Figura 3. Efectos de entrenar a máxima velocidad de ejecución en comparación con moderada velocidad de ejecución en sentadillas sobre variables representantes del rendimiento neuromuscular en acciones dinámicas (Cedido por Pareja-Blanco, 2014).

Objetivos de la tesis y formulación de hipótesis.

El objetivo de esta tesis fue identificar las causas específicas de la fatiga en el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, mediante variables biológicas y neurológicas, y determinar los efectos sobre el rendimiento cuando se entrena con una pérdida del 10% y 30% de la MPV.

Se propusieron tres estudios para el desarrollo de este proyecto:

Estudio 1. *Influencia de la intensidad del entrenamiento en la concentración de cortisol salival en press de banca lanzado.* El objetivo de este estudio fue explorar la relación entre la respuesta de la concentración de cortisol salival y diferentes porcentajes de 1RM en entrenamientos de fuerza basado en la velocidad monitorizando la pérdida de velocidad durante la fase propulsiva.

Estudio 2. *Fatiga neural y fluctuación de cortisol salival en dos programas de entrenamiento de fuerza: Potencia e Hipertrofia.* El objetivo de este estudio fue describir los cambios en la concentración hormonal de cortisol en saliva, función muscular en el pectoral mayor, porción anterior del deltoides y tríceps braquial y la oxigenación del tejido muscular en el pectoral mayor durante dos tipos de entrenamientos (VBRT e hipertrofia) en el ejercicio de press de banca.

Estudio 3. *Efectos del proceso de entrenamiento en la respuesta neural y hormonal en press de banca lanzado.* El objetivo de este estudio fue identificar qué criterio de rendimiento, en un programa de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad dentro de un ciclo real de entrenamiento de fuerza en jugadores semiprofesionales de balonmano, es el idóneo para maximizar los resultados, minimizando la fatiga e identificando los cambios que se produciría en la respuesta endocrina, activación muscular y rendimiento en la velocidad de

lanzamiento a portería para posibilitar la optimización de los recursos materiales y tiempo disponible.

Las hipótesis iniciales fueron las siguientes:

- H1.** El uso de altos porcentajes de 1RM (70-90%) producirá un mayor aumento de la concentración salival de cortisol (Jacks et al., 2002; McGuigan et al., 2004).
- H2.** La curva de concentración salival de cortisol permitirá confirmar la existencia de un umbral hormonal en respuesta al esfuerzo (Hill et al., 2008).
- H3.** La respuesta hormonal aguda es característica de cada individuo y puede perfilarse en función del esfuerzo realizado (Viru et al., 2001).
- H4.** El volumen del entrenamiento, entendido como tiempo bajo tensión mecánica, aumentará los niveles de cortisol salival cuanto mayor sea la exposición del sujeto al esfuerzo físico (Goto et al., 2009).
- H5.** Los cambios en la respuesta neuromuscular serán proporcionales a la repuesta hormonal al ejercicio, incrementándose la activación muscular cuando también lo haga la secreción de cortisol (Viru et al., 2001).
- H6.** Entrenar con una pérdida del 10% de la velocidad producirá mayores ganancias de fuerza en el ejercicio de press de banca lanzado, mayor número de repeticiones óptimas y mejor rendimiento en lanzamiento de 7 y 9 m de balonmano en comparación con una pérdida del 30% (Pareja-Blanco et al., 2016).
- H7.** Entrenar con una pérdida del 30% de velocidad producirá una menor tasa de producción de lactato y menor fatiga neuromuscular en

comparación con una pérdida del 10%. (Callewaert, Boone, Celie, De Clercq, y Bourgois, 2013; Messonnier et al., 2013).

- H8.** Entrenar con una pérdida del 30% de la velocidad producirá una menor respuesta hormonal aguda ante un mismo estímulo de entrenamiento en comparación con una pérdida del 10%. (Schwarz, Rigby, La Bounty, Shelmadine, y Bowden, 2011).





Estudio 1

Influencia de la intensidad de entrenamiento en la concentración salival de cortisol

Introducción.

El entrenamiento de fuerza es una forma segura y efectiva de mejorar el rendimiento físico en adultos sanos cuando es apropiadamente prescrito y supervisado (Peterson, Rhea, y Alvar, 2005). Esta mejora del rendimiento es consecuencia de la respuesta fisiológica aguda y su posterior adaptación crónica (Kraemer y Ratamess, 2000). La fatiga es la respuesta aguda más conocida (Enoka y Stuart, 1992), la cual implica, entre otras modificaciones, cambios en los niveles de concentración hormonal (McGuigan et al., 2004) y en la capacidad de mantener la velocidad de movimiento en el ejercicio (Gonzalez-Badillo, Marques, y Sanchez-Medina, 2011).

De los parámetros hormonales que afectan a las adaptaciones del entrenamiento de fuerza, el cortisol ha sido descrito como un buen indicador de estrés psicobiológico (Hellhammer, Wust, y Kudielka, 2009), ya que es sensible al estrés físico inclusive, a pesar de la gran variabilidad de la concentración hormonal entre individuos (Crewther et al., 2013; Papacosta y Nassis, 2011). El cortisol en saliva (Sal-C) como marcador del cortisol libre, ha sido propuesto como una alternativa al serum por ser una técnica no invasiva, evitando además el incremento de sus valores asociado a la respuesta anticipada del organismo a la punción venosa (Gatti y De Palo, 2011).

Se han comparado las concentraciones de Sal-C producidas por el entrenamiento de fuerza con intensidades altas y bajas, encontrando que sólo las primeras provocaban incrementos significativos en la concentración de cortisol (McGuigan et al., 2004). Este hecho fue reproducido posteriormente constatándose similares resultados cuando al comparar un entrenamiento de

hipertrofia, el cual incrementaba significativamente la concentración de Sal-C, y uno de potencia, que no mostró cambios significativos (McCaulley et al., 2009). En cambio, un reciente estudio parece contradecir estos resultados (Stokes, Gilbert, Hall, Andrews, y Thompson, 2013), ya que no encontró diferencias en la concentración de cortisol comparando programas de entrenamiento de fuerza de diferentes intensidades. Uno de los motivos que pueden explicar lo contradictorio de los resultados puede ser la falta de estandarización en los programas de entrenamiento analizados. Dichos programas difieren en la cantidad de repeticiones e intensidades utilizadas dificultando la generalización de los datos. Por tanto, puesto que se ha considerado la fatiga como un continuo hasta el fallo muscular (Cairns et al., 2005), es necesario estandarizar el nivel de esfuerzo para conseguir una mejor determinación de la relación entre la fatiga y la respuesta hormonal al ejercicio.

Se han identificado una gran gama de mecanismos desencadenantes de la fatiga, pero todavía no es posible asegurar cuál de ellos y en qué grado contribuyen según las características del esfuerzo (Allen et al., 2008). Sin embargo, independientemente de los mecanismos subyacentes participantes, se ha comprobado que la consecuencia de los mismos derivan en un detrimento de la velocidad de ejecución (Jones, 2010).

Esta velocidad de ejecución ha sido propuesta como un componente fundamental para maximizar las ganancias de fuerza tras el entrenamiento. Estudios recientes han observado que la movilización de cargas a máxima velocidad en fase concéntrica durante los entrenamientos maximiza las ganancias en 1RM y producción rápida de fuerza en comparación con movilizaciones de las mismas cargas a menores velocidades (González-Badillo, Rodríguez-Rosell, Sánchez-Medina, Gorostiaga, y Pareja-Blanco, 2014; Pareja-Blanco et al., 2014). Por lo tanto, la reducción de la velocidad de ejecución

puede tener consecuencias no deseables sobre las adaptaciones de fuerza al entrenamiento contra resistencias.

Sánchez-Medina y González-Badillo (2011) demostraron que la pérdida de velocidad y el estrés metabólico están altamente relacionadas con el carácter del esfuerzo. Observaron que MPV difería en función de las repeticiones realizadas sobre las repeticiones posibles, y además, correlacionaba con el detrimento de variables mecánicas (velocidad y altura de salto en CMJ) y aumento de sustrato metabólicos (lactato y amonio). Bajo estos resultados, el uso de la pérdida de velocidad se puede considerar un método válido para la cuantificación objetiva de la fatiga neuromuscular durante el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, a pesar de estos hallazgos, se desconoce las características de la respuesta hormonal aguda en función de la reducción de la velocidad producida por el entrenamiento de fuerza.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue explorar la relación entre la respuesta de la concentración de cortisol salival y diferentes porcentajes de 1RM en entrenamientos de fuerza basado en la velocidad, monitorizando la pérdida de velocidad durante la fase propulsiva.

Método.

Participantes.

Quince varones estudiantes de ciencias del deporte participaron en este estudio (26.4 ± 4.3 años; 178.6 ± 6.2 cm; 76.7 ± 10.7 kg). Se requirió a todos los participantes que no realizaran ejercicio físico ni tomaran suplementación nutricional durante las semanas que duró el estudio. Además, completaron un cuestionario de salud dónde documentaron que estaban exentos de alteraciones endocrinas y metabólicas, cardiopatías, lesión en tren superior, recibir tratamiento médico y padecer caries u heridas bucales.

La totalidad de este estudio fue avalado por el Órgano Evaluador de Proyecto de la Universidad Miguel Hernández de Elche, ajustándose al Código Ético de la Asociación Médica Mundial. Los participantes dieron su consentimiento por escrito antes de la participación.

Aproximación experimental al problema.

El estudio siguió un diseño factorial intra-sujeto donde la variable independiente, porcentaje de carga respecto al 1RM, fue contrabalanceada de forma incompleta entre sujetos para controlar el efecto del orden. Cada participante realizó un total de 14 sesiones en 7 semanas. La primera sesión consistió en la realización de una antropometría y un test de 1RM en press de banca. En las sucesivas sesiones se alternó en la semana una sesión de entrenamiento en ayunas entre las 8 a.m. y 9 a.m. y una sesión de re-test para 1RM. La sesión de entrenamiento consistió en 6 series con repeticiones hasta alcanzar una pérdida del 10% de la velocidad media en la fase propulsiva, con intensidad comprendida entre el 30 - 90% de 1RM según semana y grupo (Figura 4) con 5 min de recuperación entre series (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, Kraemer, y Kkinen, 2005). En esta sesión se registró la concentración de Sal-C al inicio e inmediatamente al finalizar el entrenamiento. Los sujetos disponían de 48 h de recuperación entre ambas sesiones.

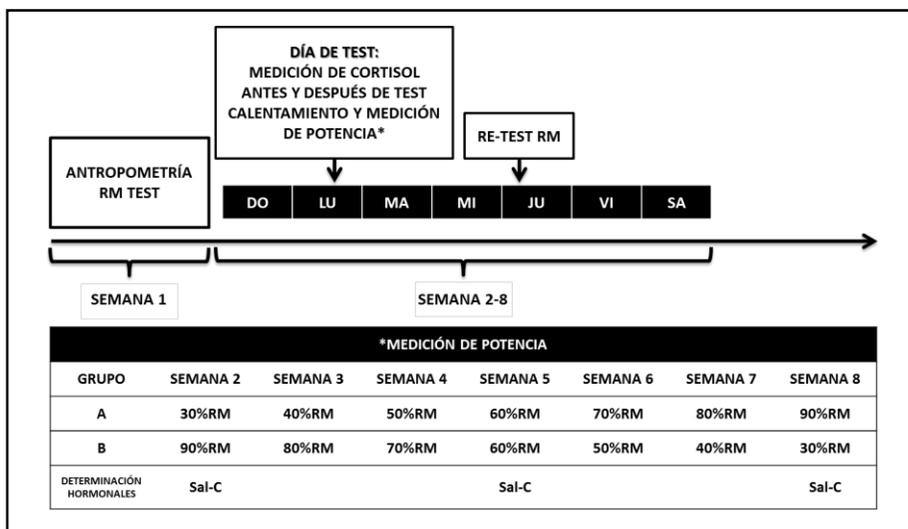


Figura 4. Protocolo de intervención de siete semanas para la valoración de la relación intensidad-concentración de cortisol salival.

Procedimientos.

Evaluación de la fuerza dinámica máxima.

El test de 1RM para press de banca fue realizado usando una Smith Machine (Multipower M953; Technogym, Italy). El 1RM fue evaluado mediante un test de carga incremental (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). La carga inicial fue de 20 kg para todos los sujetos y se incrementó 10 kg en cada serie hasta alcanzar una velocidad media de la fase propulsiva de 0.5 m/s. Entonces, la carga fue ajustada con menores incrementos (de 5 a 2,5 kg) hasta alcanzar la masa más elevada que el sujeto podía movilizar con un rango completo de movimiento. Los periodos de descanso entre intentos eran de 5 min. Los participantes se tumbaron en horizontal con la cabeza, espalda, glúteos y piernas apoyadas firmemente en el banco, y los codos completamente extendidos y aprehendiendo la barra. Fueron instruidos de manera que en cada repetición la barra fuera bajada al pecho hasta aproximadamente 3 cm de la zona superior de la xifoides esternal, los codos debían extenderse por igual manteniendo la cabeza y cadera en contacto con el banco y los pies en contacto con el suelo durante el levantamiento. No se permitían rebotes ni

arqueados de espalda. Las pruebas se realizaron por el mismo investigador y todas las condiciones ambientales fueron estandarizadas.

Calentamiento.

Antes de cada sesión los participantes realizaron 30 s de movilidad articular (McMillian, Moore, Hatler, y Taylor, 2006) más tres series de 10 repeticiones en press de banca lanzado con carga incremental (sólo barra, barra + 10 kg y barra +20 kg) con 2 min de recuperación entre series (Borgenvik, Apró, y Blomstrand, 2012).

Medición de la velocidad de ejecución y potencia.

Durante los entrenamientos se monitorizó la velocidad de movimiento mediante un encoder lineal con frecuencia de registro de 1000 Hz (T-Force System, Ergotech; Murcia, Spain), el cual fue programado para aportar feedback acústico cuando la repetición fuera menor que el 90% de la velocidad máxima lograda por cada participante en cada serie. El error medio relativo del sistema T-Force es $<0.25\%$, mientras que el error absoluto en el desplazamiento es inferior a ± 0.5 mm. Posee un coeficiente de correlación intraclase ('index correlation intraclass', ICC) de 1.00 (95% de intervalo de confianza = 1.00 - 1.00) y un coeficiente de variación ('coefficient of variation', CV) de 0.57% en la medida de velocidad media de la fase propulsiva. Para la velocidad máxima el encoder lineal muestra un ICC de 1.00 (95% CI: 0.99 - 1.00) y un CV de 1.75%. Para el análisis de los resultados se extrajeron los datos correspondientes a la potencia máxima y velocidad máxima en cada porcentaje, potencia media de la fase propulsiva en cada serie, repeticiones óptimas y tiempo de esfuerzo.

Respuesta hormonal en saliva.

Las muestras de saliva fueron obtenidas inmediatamente antes del ejercicio y después de la última serie. Los sujetos fueron instruidos para evitar la ingesta de alimentos, bebidas y cepillado de dientes 2 h antes de la evaluación y

fueron sentados 15 min previos para la obtención de los valores de referencia. En cada caso, se depositaron 5-10 ml de saliva dentro de un tubo de plástico esterilizado (Salivette®, Sarstedt, France) y congelado a -20° hasta el final del estudio para realizar su análisis (Sarabia et al., 2015). Se analizó en duplicado la concentración de cortisol en saliva usando un kit específico de inmunoensayo para Cortisol (Salimetrics, State College, PA) con una sensibilidad de $0.007 \mu\text{g/dl}$ y un CV intra e inter sujeto del 4% para el análisis con muestras duplicadas. Sólo se aportan datos de los ensayos de 30%, 60% y 90% de 1RM ya que la relación entre ellos se consideró representativa de la influencia de la intensidad en la secreción hormonal.

Análisis estadístico.

Los datos fueron procesados con el software PASW Statistics 18 (Chicago, IL, EE.UU.). Se realizó una prueba Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de la distribución de los datos. Posteriormente se realizó una prueba ANCOVA para confirmar que la carga óptima usada para maximizar la producción de potencia no era influenciada por las diferencias individuales de 1RM. Seguidamente, una prueba ANOVA de medidas repetidas con Post hoc Bonferroni se utilizó para determinar las diferencias de las variables mecánicas, cuyo factor intrasujeto fue los porcentajes de carga (7 niveles: 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% y 90%), y hormonales, cuyos factores intrasujeto fueron los porcentajes de carga (3 niveles para: 30%, 60% y 90%) y el instante de medición (2 niveles: pre y post entreno). Todos los datos se presentan como media (M) \pm error típico (ET). La significación estadística fue considerada para $p \leq 0.05$. Para calcular los tamaños del efecto (ES) en las diferencias entre grupos se usó el índice “g” de Hedges (Hedges y Olkin, 1985). Este índice está basado en la “d” de Cohen pero provee estimaciones del tamaños del efecto reduciendo las limitaciones causadas por un bajo tamaño muestral ($n < 20$). De acuerdo con Rhea (2004), se consideraron como

magnitudes que determinan un efecto trivial (<0.35); pequeño (0.35-0.80); moderado (0.80-1.50) y elevado (>1.50).

Resultados.

Los estadísticos descriptivos de cada una de las variables en la prueba de press de banca lanzado se muestran en la tabla 2, para cada uno de los porcentajes y, en la tabla 3 para cada una de las series dentro de cada porcentaje. En la figura 5 están representadas las repeticiones óptimas y los picos de potencia en cada porcentaje.

Tabla 2. Datos descriptivos de las variables hormonales y mecánicas analizadas en cada porcentaje de 1RM (M ± ET).

	Sal-C (µg/dL)		Vmax (m/s)	Pmax (W)	Tiempo esfuerzo (s)
	Pre	Post			
30%	0.58 ± 0.04	0.37 ± 0.03	1.11 ± 0.02	505 ± 30.35	21.16 ± 1.35
40%			0.98 ± 0.01	547 ± 30.10	23.08 ± 1.03
50%			0.85 ± 0.02	562 ± 28.64	24.04 ± 1.19
60%	0.53 ± 0.05	0.37 ± 0.03	0.70 ± 0.02	558 ± 25.98	25.01 ± 1.52
70%			0.60 ± 0.02	543 ± 33.4	25.14 ± 1.24
80%			0.48 ± 0.02	475 ± 23.16	25.26 ± 1.51
90%	0.48 ± 0.03	0.35 ± 0.03	0.37 ± 0.03	417 ± 22.82	25.38 ± 1.96

Vmax = Velocidad Máxima; Pmax = Potencia máxima; Sal-C = Cortisol en saliva. Nota: Dado los resultados en Sal-C se decidió asumir el 30%, 60% y 90% de 1RM como ensayos representativos de la influencia de la intensidad en la secreción hormonal.

Tabla 3. Datos descriptivos de la potencia media propulsiva (MPP) y repeticiones óptimas (Rep. Opt.) en cada serie por porcentaje (M \pm ET).

	MPP (W)	Rep. Opt.		MPP (W)	Rep. Opt.
30% 1RM			40% 1RM		
serie 1	497 \pm 30.71	3.93 \pm 0.43	serie 1	533 \pm 27.91	2.60 \pm 0.31
serie 2	499 \pm 30.12	3.80 \pm 0.51	serie 2	531 \pm 30.47	3.00 \pm 0.35
serie 3	492 \pm 32.07	3.13 \pm 0.49	serie 3	523 \pm 30.50	2.13 \pm 0.39
serie 4	483 \pm 29.12	2.53 \pm 0.41	serie 4	510 \pm 28.13	1.60 \pm 0.31
serie 5	488 \pm 30.66	3.00 \pm 0.57	serie 5	505 \pm 27.91	1.60 \pm 0.32
serie 6	484 \pm 30.49	2.53 \pm 0.48	serie 6	507 \pm 28.06	1.60 \pm 0.40
50% 1RM			60% 1RM		
serie 1	545 \pm 28.36	2.67 \pm 0.56	serie 1	537 \pm 25.78	2.00 \pm 0.28
serie 2	544 \pm 26.55	2.93 \pm 0.41	serie 2	538 \pm 25.85	1.80 \pm 0.30
serie 3	542 \pm 27.67	2.53 \pm 0.34	serie 3	530 \pm 25.79	2.13 \pm 0.36
serie 4	531 \pm 24.98	1.73 \pm 0.33	serie 4	525 \pm 25.03	1.47 \pm 0.26
serie 5	520 \pm 25.85	1.33 \pm 0.30	serie 5	521 \pm 27.04	1.27 \pm 0.25
serie 6	526 \pm 29.48	1.67 \pm 0.35	serie 6	499 \pm 24.87	0.73 \pm 0.28
70% 1RM			80% 1RM		
serie 1	516 \pm 28.09	1.54 \pm 0.31	serie 1	461 \pm 21.51	2.20 \pm 0.28
serie 2	524 \pm 34.99	2.00 \pm 0.34	serie 2	444 \pm 21.52	1.53 \pm 0.27
serie 3	502 \pm 28.49	1.36 \pm 0.30	serie 3	436 \pm 26.85	1.07 \pm 0.30
serie 4	500 \pm 33.38	1.07 \pm 0.29	serie 4	391 \pm 26.51	0.47 \pm 0.24
serie 5	489 \pm 32.45	0.57 \pm 0.20	serie 5	386 \pm 27.51	0.47 \pm 0.29
serie 6	489 \pm 33.30	0.79 \pm 0.29	serie 6	385 \pm 28.42	0.33 \pm 0.16
90% 1RM					
serie 1	401 \pm 24.13	1.53 \pm 0.26			
serie 2	375 \pm 21.14	0.93 \pm 0.28			
serie 3	376 \pm 23.62	0.87 \pm 0.19			
serie 4	334 \pm 24.72	0.40 \pm 0.16			
serie 5	316 \pm 25.68	0.13 \pm 0.09			
serie 6	314 \pm 28.13	0.07 \pm 0.07			

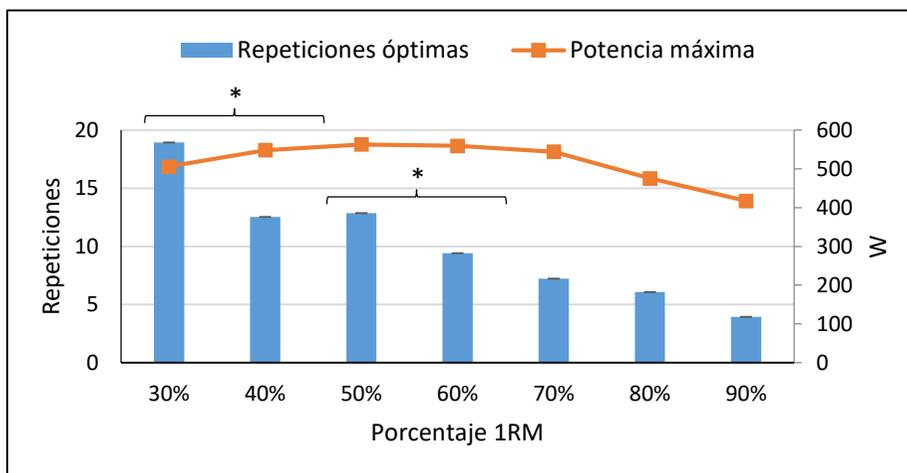


Figura 5. Gráfico descriptivo de las repeticiones óptimas totales y pico de potencia en cada porcentaje de 1RM ($p < 0.05$).

Tal como se puede observar en las tablas 2 y 4, la concentración de cortisol descendió de forma significativa en todos los porcentajes. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre porcentajes.

Tabla 4. Concentración de Cortisol Salival ($M \pm ET$) en las condiciones pre y post entrenamiento.

	Pre	Post	p	ES
30% 1RM	$0.58 \pm 0.04 \mu\text{g/dL}$	$0.37 \pm 0.03 \mu\text{g/dL}$	0.000	1.61
60% 1RM	$0.52 \pm 0.05 \mu\text{g/dL}$	$0.37 \pm 0.03 \mu\text{g/dL}$	0.001	0.95
90% 1RM	$0.48 \pm 0.03 \mu\text{g/dL}$	$0.35 \pm 0.03 \mu\text{g/dL}$	0.001	1.00

ANOVA de medidas repetidas de dos vías con dos (Pre-Post) y tres (porcentaje 1RM) niveles.

Además, la concentración de cortisol mostró un menor descenso ante tiempos de esfuerzos mayores y ante las cargas elevadas, pero esta diferencia no fue significativa. Se realizó un análisis de correlación bivariada entre estas dos variables, sin embargo no se encontró significación alguna en esta tendencia (Figura 6.).

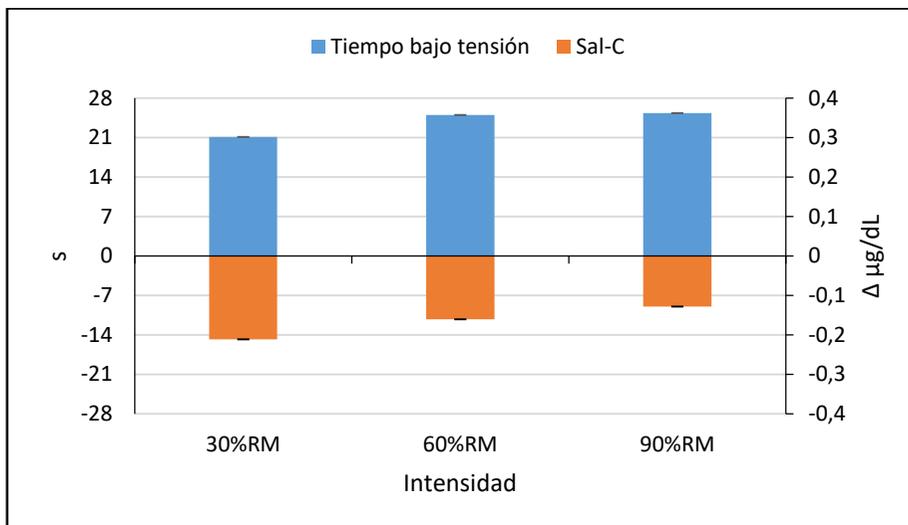


Figura 6. Tiempo de esfuerzo y descenso en la concentración de cortisol salival en cada uno de los porcentajes.

Por otro lado, los datos de potencia pico ('peak power', PP) mostrados entre el 40% y 70% de 1RM fueron mayores comparados con otros porcentajes. Así, los PP logrados fueron significativamente menores con cargas inferiores al 40% 1RM y superiores al 70% 1RM (Tabla 5).

Tabla 5. Diferencias en el pico de potencia (M ± ET) entre porcentajes de cargas movilizadas durante la sesión de fuerza.

	Peak Power (W)
30 % 1RM	505.6 ± 30.35
40% 1RM	547.9 ± 30.10 ^a
50% 1RM	562.7 ± 28.64 ^a
60% 1RM	558.8 ± 25.98 ^a
70% 1RM	543.9 ± 33.40
80% 1RM	475.2 ± 23.16 ^{bCDe}
90% 1RM	417.1 ± 22.82 ^{cde}

ANOVA de medidas repetidas de una vía. ^a= $p < 0.05$ comparado con 30% 1RM; ^b= $p < 0.05$ comparado con 40% 1RM; ^c= $p < 0.05$ comparado con 50% 1RM; ^c= $p < 0.01$ comparado con 50% 1RM; ^d= $p < 0.05$ comparado con 60% 1RM, ^D= $p < 0.01$ comparado con 60% 1RM, ^e= $p < 0.05$ comparado con 70% 1RM.

Discusión.

Se han realizado muchos estudios sobre la respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza, sin embargo, pocos autores han examinado la respuesta del cortisol en métodos de entrenamiento usualmente utilizados para optimizar la fuerza máxima y explosiva (Crewther, Keogh, Cronin, y Cook, 2006). Además, los resultados parecen ser contradictorios ya que los estudios contemplan diferentes periodos y/o momentos de obtención de muestras biológicas después del ejercicio (McCaulley et al., 2009; McGuigan et al., 2004; Stokes et al., 2013). Por lo tanto, en este estudio nos hemos centrado en los efectos del uso de diferentes porcentajes de 1RM sobre la concentración salival de cortisol y la pérdida de velocidad de ejecución.

Al igual que Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez, y Pallarés (2014) encontramos que las velocidades máximas alcanzadas en la fase propulsiva son características de cada porcentaje de 1RM. Aunque nuestros datos muestran velocidades inferiores que los aportados por Sánchez-Medina et al. (2014), esto podría ser debido a las características de la máquina empleada. No obstante, la tendencia se mantiene y puesto que la velocidad de ejecución es una variable independiente, y su modificación es el criterio de rendimiento para estandarizar el protocolo, creemos oportuno discutir los resultados en relación a la potencia desarrollada por los sujetos.

En relación a la concentración salival de cortisol libre no observamos ninguna vinculación con la producción de potencia. Las concentraciones de cortisol encontradas en este estudio no están acorde con lo referido por otros autores (McGuigan et al., 2004; Stokes et al., 2013), ya que esta hormona ha reducido su concentración en todos los porcentajes en relación a la medición inicial. Este descenso podría ser explicado por un menor nivel de glucosa en sangre, lo cual podría influenciar en la secreción de cortisol (Gesto et al., 2014; Kirschbaum et al., 1997) como resultado del ayuno, o también verse

influenciado por la carga total de la sesión. Además, las diferencias significativas en la concentración de cortisol no fueron encontradas entre porcentajes a pesar de existir un menor descenso de esta hormona ante mayores intensidades. Por lo tanto, esto podría ser un indicador de que el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad tiene un bajo impacto metabólico sobre el organismo. Sin embargo, debemos ser prudentes debido a que aún no se conoce la respuesta en la secreción de cortisol intra-sesión cuando se trata de altos o bajos volúmenes de entrenamiento (p.e. mayor número de series).

Es conocido que el tiempo de esfuerzo influye en la síntesis proteica (Burd et al., 2012) pero no se conoce cómo es la respuesta hormonal en una sesión de entrenamiento con diferentes tiempos bajo tensión en el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, aunque se sabe que sesiones agudas con altos volúmenes de entrenamiento produciría un incremento de los niveles hormonales en sangre (Gotshalk et al., 1997). Estos cambios hormonales son necesarios para estimular las adaptaciones neuromusculares y endocrinas (Kraemer y Ratamess, 2005; McCaulley et al., 2009). En comparación de los resultados de nuestro estudio con el realizado por Goto, Takahashi, Yamamoto, y Takamatsu (2008) se podría plantear que un tiempo prolongado de tensión muscular incrementaría la concentración de cortisol, ya que en un ejercicio hasta la extenuación con bajas intensidades, se producirían mayores incrementos de cortisol cuando aumentara el tiempo de tensión muscular por modulación de la velocidad de ejecución. Quizás, por esta razón algunos autores han referenciado que la secreción de cortisol es mayor en protocolos de hipertrofia, ya que estos entrenamientos tienen un mayor volumen que los diseños de potencia (McCaulley et al., 2009; McGuigan et al., 2004). Sin embargo, esto no está suficientemente contrastado en el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, y por lo tanto, han de ser demostrados en futuras investigaciones comparando las concentraciones de cortisol pre-post

ejercicio ante diferentes porcentajes de pérdidas de velocidad como criterio de rendimiento.

Nuestros datos muestran que en sujetos no entrenados los picos de potencia se obtienen en un amplio rango de intensidades medias-altas (40% - 70%) de 1RM, lo cual está acorde con los datos reportados en la literatura (Baker, Nance, y Moore, 2001; Cronin, McNair, y Marshall, 2001; Stock, Beck, Defreitas, y Dillon, 2010). Además, nuestros resultados muestran que en el porcentaje del pico máximo de potencia se mostraron que las repeticiones óptimas fueron menores respecto a porcentajes inferiores del 1RM (Allen et al., 2008; Sánchez-Medina et al., 2014). Del mismo modo, la potencia media propulsiva por serie, dentro de cada intensidad, cambió durante el ejercicio, aunque la pérdida de potencia fue mínima en todas las series y no mostraron diferencias significativas entre el pico máximo de potencia por porcentaje y las repeticiones óptimas en cada serie, las cuales se mostraron constantes en toda la sesión. Por lo tanto, las repeticiones óptimas podrían ser un parámetro efectivo para el entrenamiento. Aunque encontramos discrepancias entre nuestros resultados y la bibliografía tradicional respecto al número de repeticiones útiles para optimizar el entrenamiento de potencia (Legaz-Arrese, Reverter-Masia, Munguia-Izquierdo, y Ceballos-Gurrola, 2007), constatándose que sólo era necesario realizar menos de la mitad de las repeticiones necesarias para alcanzar el fallo mecánico en cada carga. Además, no se encontraron cambios significativos en los patrones de pérdida de potencia entre las diferentes series, por lo que se podría pensar que el número óptimo de series totales por porcentaje podría alcanzar incluso las 6 series.

Conclusión.

La concentración de Sal-C parece no ser sensible a las intensidades de entrenamiento, ya que muestra similares descensos (25-35%) en todos los

porcentajes del 1RM. Probablemente, la secreción de cortisol estaría influenciada por el volumen, ya que mayores tiempos de tensión muscular en cada repetición fue acompañada por menores descensos en la concentración salivar. Por otro lado, debido a la pérdida de potencia mostrada entre serie, parece ser necesario cuantificar el volumen óptimo del entrenamiento. Así, sería posible llevar a cabo una sesión de entrenamiento de la potencia evitando la fatiga significativa (expresada como perdida de potencia).





Estudio 2

Fatiga neural y fluctuación de cortisol salival en dos programas de entrenamiento de fuerza: Potencia e Hipertrofia

Introducción

El entrenamiento de VBRT ha alcanzado un gran interés entre entrenadores e investigadores en los últimos años. Al compararse los resultados de esta metodología de entrenamiento con otras que buscan producir el fallo mecánico, se ha observado que pueden alcanzar similares o mayores ganancias de fuerza (Folland et al., 2002; Izquierdo, Exposito, Garcia-Pallare, Medina, y Villareal, 2010; Kramer et al., 1997; Sanborn et al., 2000), evitando el potencial riesgo de sobreentrenamiento (Borst et al., 2001; Elloumi et al., 2005; Izquierdo, Ibanez, et al., 2006).

Además, el entrenamiento VBRT tiene relación con la producción de determinados sustratos metabólicos que inciden sobre el rendimiento, de manera que, monitorizando la capacidad de rendimiento de forma objetiva mediante la pérdida de velocidad durante la fase propulsiva del movimiento, se puede conocer el estado de fatiga del deportista (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Sin embargo, el origen de esta fatiga no está completamente descrito en cuanto a parámetros hormonales y activación muscular se refiere.

Dicha fatiga ha sido definida como una reducción en la fuerza muscular, un cambio en la actividad electromiográfica o un agotamiento de la función contráctil (Enoka y Duchateau, 2008). Sin embargo, para conocer cómo se desarrolla y afecta al rendimiento con exactitud debe ser estudiada en cada caso para determinar los mecanismos y lugares asociados a ésta, puesto que

parece tener cierta dependencia con el tipo de tarea desarrollada (Enoka y Stuart, 1992). En este sentido, se ha referenciado que determinados cambios de la actividad eléctrica muscular pueden interpretarse como un síntoma de fatiga (Watanabe y Akima, 2010) y que cambios hormonales agudos podrían afectar a la producción de fuerza (Hamdi y Mutungi, 2010).

La relación entre el sistema nervioso y el sistema endocrino, en el desarrollo de la fatiga durante entrenamientos de fuerza, no ha sido completamente descrita. La mayoría de los estudios sobre la respuesta hormonal al entrenamiento de fuerza se han centrado en los primeros momentos de la recuperación (McCaulley et al., 2009; Smilios, Pilianidis, Karamouzis, y Tokmakidis, 2003; Walker, Taipale, Nyman, Kraemer, y Häkkinen, 2011), mientras que la respuesta neuromuscular ha sido muy estudiada durante la ejecución del entrenamiento para determinar el reclutamiento de MU's durante el mismo (Hernandez, 2016; Schoenfeld, Contreras, Willardson, Fontana, y Tiryaki-Sonmez, 2014; van den Tillaar y Ettema, 2013).

La actividad eléctrica muscular juega un papel fundamental en la producción de fuerza, al permitir la interacción física de las proteínas contráctiles del sarcómero para producir las fuerzas necesarias en las respuestas reflejas, comportamientos automáticos y acciones voluntarias (Duchateau y Enoka, 2011). Los cambios en la activación de las MU's puede ser medida con electromiografía de superficie, de modo que pueden ser usados para monitorizar la aparición de la fatiga neuromuscular (Cifrek, Medved, Tonković, y Ostojić, 2009; Petrofsky, Glaser, Phillips, Lind, y Williams, 1982). De hecho, se ha propuesto que la reducción de la frecuencia media, así como el incremento de la amplitud de la señal EMG son algunas de las variables que permitirían indicar la aparición de fatiga (Borgenvik et al., 2012; Georgakis et al., 2003). Aunque no siempre una mayor actividad eléctrica (mayor amplitud) está asociada con una mayor producción de fuerza (Enoka y Duchateau, 2015).

Así, durante diferentes tipos de contracciones musculares mantenidas o repetidas en cortos intervalos de tiempo se producen cambios en la excitación y activación de la fibra muscular que se manifestarían en incrementos de amplitud del EMG, los cuales podrían afectar a la capacidad de producción de fuerza (Babault et al., 2006; Enoka, 2012).

Por su parte, el sistema endocrino también juega un papel importante en el desarrollo de la fuerza y potencia mediante la remodelación de las proteínas musculares (Tipton y Wolfe, 2001). Concretamente, el eje Hipotalámico-Hipofisario-Adrenal ('Hypothalamo-hypophyseal-adrenal axis', HHA) regula la secreción de glucocorticoides, de los cuales, el cortisol libre ha sido estudiado tanto en sangre como en saliva. Si bien la concentración de cortisol en saliva es menor que en sangre (Gatti y De Palo, 2011), la correlación entre ambos fluidos es alta (Lippi et al., 2009), existiendo, por tanto, evidencias de que el Sal-C representa la concentración biológicamente activa de la hormona (Gozansky, Lynn, Laudenslager, y Kohrt, 2005). Por lo tanto, el Sal-C puede aportar información rápida y fiable para la evaluación de la actividad fluctuante del HHA (Papacosta y Nassis, 2011), siendo además, un procedimiento sencillo y no invasivo (Kudielka, Gierens, Hellhammer, Wüst, y Schlotz, 2012).

Los principales efectos atribuidos a esta hormona son la degradación y disminución de la síntesis proteica (Kraemer y Ratamess, 2005). Además, esta propiedad catabólica también está relacionada con la atenuación de otras hormonas anabólicas vinculadas con la producción de fuerza (Deschenes y Kraemer, 2002). Aunque no hay estudios que hayan explorado cambios agudos en la concentración libre de cortisol durante entrenamiento de fuerza (Crewther et al., 2006), se han identificado varios perfiles de rendimiento en los que se asocia la capacidad de mantener diferentes niveles de producción de potencia a distintas concentraciones de dicha hormona, consiguiendo

mayor rendimiento cuanto mayor es la secreción hormonal ante un determinado estímulo (Virus et al., 2001).

Sin embargo, la secreción hormonal es sólo uno de muchos agentes fisiológicos que puede influir en la producción de fuerza. Se ha sugerido que el daño muscular y las respuestas inflamatorias ocasionados por el ejercicio parecen tener relación con la atenuación de los valores alcanzados en contracciones máximas voluntarias ('maximal voluntary contraction', MVC), y con el incremento de la oxigenación muscular (Muthalib, Lee, Millet, Ferrari, y Nosaka, 2010), aunque un incremento de la concentración de oxígeno en el músculo puede suponer una perfusión no nutritiva o reflejar desajustes entre la demanda y la aportación de oxígeno (Kalliokoski, Laaksonen, Takala, Knuuti, y Nuutila, 2003). No obstante, la contracción muscular parece estar condicionada por el mantenimiento de una concentración de oxígeno mínima, ya que en el momento de la extenuación, al final del ejercicio, se ha observado que los valores de saturación de oxígeno en el músculo son los más bajos (Azuma, Homma, y Kagaya, 2000; Ušaj, Jereb, Robi, y von Duvillard, 2007). El reciente desarrollo de la espectroscopia cercana al infrarrojo ('functional near-infrared spectroscopy', fNIR) (Hamaoka, McCully, Quaresima, Yamamoto, y Chance, 2007), que mide la relación entre la concentración total de oxihemoglobina y la concentración total de hemoglobina en el músculo en tiempo real, reportándolo como un porcentaje del total, permite estimar la saturación de oxígeno en el músculo u oxigenación muscular ('muscle oxygen saturation', SmO_2) (Ferrari, Mottola, y Quaresima, 2004; Quaresima, Lepanto, y Ferrari, 2003).

Los cambios fisiológicos inducidos por el entrenamiento han sido ampliamente estudiados en la literatura científica (Gatti y De Palo, 2011; Neary, 2004), referenciándose, diferentes respuestas en la secreción hormonal, función muscular y SmO_2 al comparar por niveles de

entrenamiento, exigencias del esfuerzo y/o modalidades deportivas (Bae et al., 1996; Chance, Dait, Zhang, Hamaoka, y Hagerman, 1992; Hoffman et al., 2003; Linnamo et al., 2000; Minetto et al., 2007; Paccotti et al., 2005). La mayoría de las investigaciones se han centrado en la comparación entre sujetos entrenados y no entrenados. Sin embargo, pocos autores han agrupado a los sujetos en función de la respuesta fisiológica al entrenamiento (Viru et al., 2001), proponiéndose la posibilidad de una respuesta electromiográfica y hormonal diferenciada entre los sujetos independientemente de su nivel de entrenamiento.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue describir los cambios en la concentración hormonal de cortisol en saliva, función neuromuscular en el pectoral mayor, porción anterior del deltoides y tríceps braquial y la oxigenación del tejido muscular en el pectoral mayor durante el entrenamiento en el ejercicio de press de banca, con un mismo criterio de rendimiento (pérdida de velocidad). Los cambios en estas variables se recogieron en el desarrollo de dos protocolos de diferente exigencia: a) uno hasta llegar al fallo mecánico (FM); y b) otro hasta alcanzar una pérdida del 10% de la velocidad respecto a las tres primeras repeticiones de la primera serie (VBRT).

Método

Participantes.

Dieciocho varones estudiantes de ciencias del deporte participaron en este estudio (22.4 ± 3.4 años; 176.5 ± 7.15 cm; 76.7 ± 10.08 kg). Se requirió a todos los participantes que no realizaran ejercicio físico durante 48 h previas a los días de intervención. Además, completaron un cuestionario de salud dónde documentaron que estaban exentos de alteraciones endocrinas y metabólicas, cardiopatías, lesión en tren superior, recibir tratamiento médico y padecer caries u heridas bucales.

La totalidad de este estudio fue avalado por el Órgano Evaluador de Proyecto de la Universidad Miguel Hernández de Elche, ajustándose al Código Ético de la Asociación Médica Mundial. Los sujetos dieron su consentimiento por escrito antes de la participación.

Aproximación experimental al problema.

El estudio siguió un diseño experimental intrasujeto con una variable independiente (protocolo de intervención) de dos niveles (VBRT y FM). Para llevar a cabo el estudio los participantes asistieron a un total de 3 sesiones separadas por 7 días entre ellas. Con objeto de poder ajustar las cargas de cada sesión de entrenamiento de acuerdo a las características de cada participante, se realizó una primera sesión para determinar el máximo peso movilizado en una repetición (1RM), la carga a la cual cada participante generaba la máxima potencia mecánica y la máxima carga movilizada en 10 repeticiones (10RM). Para la segunda y tercera sesión, entrenamientos de potencia e hipertrofia respectivamente, con objeto de analizar los posibles cambios en la función muscular tras la aplicación de los entrenamientos, se registró la función muscular de los grupos musculares: Deltoides, Pectoral Mayor y tríceps braquial. Para ello, tras el calentamiento se realizaron dos pruebas isométricas de 8 s de máxima contracción voluntaria para normalizar la señal y una isométrica de 30 s con el 20% del RM para conocer la fatigabilidad muscular. Una vez finalizado el entrenamiento, fue repetida la tarea inicial de 30 s. Además, para conocer los cambios metabólicos durante el entrenamiento, se obtuvieron muestras de cortisol salival y lactacidemia capilar periférica antes del calentamiento y después de cada serie par de cada protocolo, así como el registro de la oxigenación en el tejido mediante espectroscopia cercana al infrarrojo durante todo el entrenamiento de forma ininterrumpida (Figura 7).

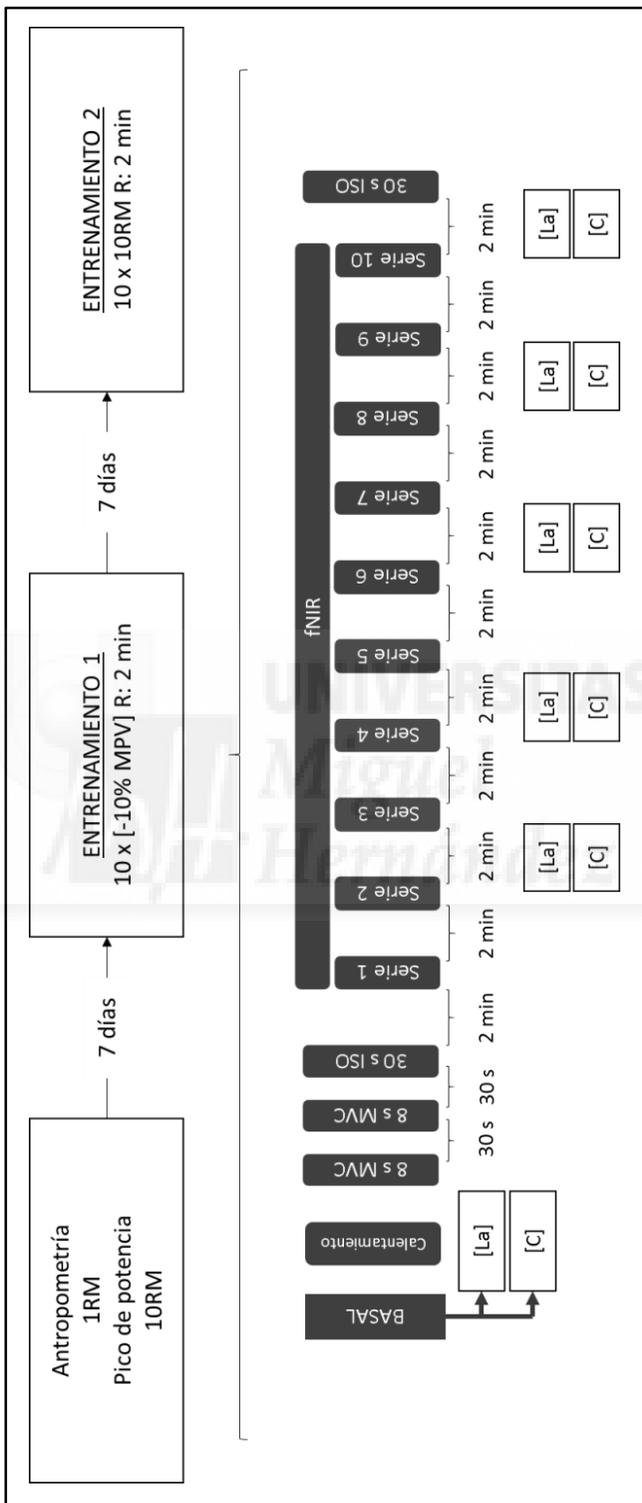


Figura 7. Protocolo de intervención.

Los protocolos de entrenamiento no fueron contrabalanceados, debido principalmente al riesgo de muerte experimental tras el protocolo de hipertrofia. Para el entrenamiento con objetivo potencia, los sujetos realizaron 10 series con repeticiones hasta alcanzar una pérdida del 10% de la MPV (fase concéntrica del movimiento) respecto a las tres primeras, con intensidad correspondiente a la obtención del mayor pico de potencia y 2 min de recuperación entre series en el ejercicio de press de banca lanzado. En la tercera sesión, entrenamiento con objetivo hipertrofia, los participantes completaron 10 series de 10RM con 2 min de recuperación entre series en el ejercicio de press de banca.

Para el análisis de los datos, los sujetos fueron agrupados en función de la tendencia de la respuesta hormonal en los dos protocolos.

Procedimientos.

Evaluación de la fuerza dinámica máxima y pico de potencia

Todas las ejecuciones de press de banca fueron realizadas con el soporte de una Smith Machine (Multipower M953, Technogym, Italy) para la realización de los test y entrenamientos. Antes de cada sesión los participantes realizaron dos series de 10 repeticiones con una carga correspondiente al 50% de 1RM con dos min de recuperación entre series.

La monitorización y registro de la velocidad de movimiento y potencia se llevó a cabo mediante un encoder lineal con frecuencia de muestreo de 1000 Hz (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spain). El error medio relativo del sistema T-Force es del <0.25%, mientras que el error absoluto en el desplazamiento es inferior a ± 0.5 mm. Posee un ICC de 1.00 (95% de intervalo de confianza = 1.00-1.00) y un CV de 0.57% en la medida de velocidad media de la fase propulsiva. Para la velocidad máxima un ICC de 1.00 (95% CI: 0.99-1.00) y CV de 1.75% según el fabricante.

El 1RM fue evaluado siguiendo un protocolo de test de carga incremental (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). La carga inicial fue de 20 kg para todos los sujetos y se incrementó 10 kg en cada serie hasta alcanzar una velocidad media de la fase propulsiva de 0.5 m/s. Entonces, la carga fue ajustada con menores incrementos (de 5 a 2,5 kg) hasta alcanzar la masa más elevada que el sujeto podía movilizar con un rango completo de movimiento. Los participantes se tumbaron en horizontal con la cabeza, espalda, glúteos y piernas apoyadas firmemente en el banco, y los codos completamente extendidos y aprehendiendo la barra. Fueron instruidos de manera que en cada repetición la barra fuera bajada al pecho hasta aproximadamente 3 cm de la zona superior de la xifoides esternal, los codos debían extenderse por igual, manteniendo la cabeza y cadera en contacto con el banco y los pies en contacto con el suelo durante el levantamiento. No se permitían rebotes ni arqueados de espalda.

Una vez obtenido el 1RM se procedió a la evaluación del pico de potencia mediante tres repeticiones a máxima velocidad para las cargas correspondientes al 30%, 40%, 50% y 60% del 1RM (Kawamori y Haff, 2004). La carga era incrementada en cada serie previo descanso de 2 min.

Seguidamente, se realizó una serie hasta alcanzar el fallo mecánico con el 70% de 1RM para ajustar la carga del 10RM. Cuando las repeticiones logradas eran mayores a 10 se incrementaba la carga un 10% respecto a 1RM y se repetía la serie al fallo tras un descanso de 5 min. En el caso de realizar menos de 10 repeticiones en la segunda serie se identificaba, mediante una regresión lineal, la carga correspondiente al 10RM.

Análisis de la función muscular mediante electromiografía de superficie.

Para el registro de la función muscular a través de electromiografía, la señal fue recogida con un dispositivo portátil de 8 canales de superficie (ME6000T8, Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland). La señal fue amplificada (ganancia:

x1000; filtro analógico paso banda: 10-500 Hz; CMRR: 95 dB), usando un convertidor A/D (16-bit) a 1000 Hz. Se utilizaron tres pares de electrodos de superficie circulares Ag/AgCl con superficie eléctrica de contacto de 80 mm² (Kendall™ Arbo™ H124SG, Covidien, Dublin, Ireland).

Previamente a la colocación de los electrodos, la piel fue cuidadosamente preparada (rasurada y limpiada con alcohol en la posición del electrodo). Seguidamente, los electrodos se colocaron sobre el vientre muscular en dirección de las fibras con una separación de 2 cm entre el centro de los sensores. Los electrodos para la porción anterior del Deltoides (DAD) fueron localizados a una distancia aproximada de 4 cm distal y anterior al acromion (Kasman, Cram, y Holtz, 1998). Los electrodos para Pectoral Mayor (PED) fueron localizados en la línea media clavicular, al 50% entre la articulación acromioclavicular y la articulación esternoclavicular, sobre el tercer espacio intercostal (Król, Sobota, y Nawrat, 2007). Los electrodos para la cabeza larga del Tríceps (TRD) fueron localizados al 50% de la línea entre la cresta posterior del acromion y el olecranon a una distancia de 3 cm respecto la línea medial conforme al consenso SENIAM (Merletti y Hermens, 2000). Para la realización de las tareas MVC y 30 s isométrico los participantes se tumbaron en horizontal con la cabeza, espalda, glúteos y piernas apoyadas firmemente en el banco, con los codos flexionados a 90° (monitorizado mediante un electrogoniómetro), con un ancho de aprehensión de la barra tal que en situación de máxima extensión del hombro la barra descansa sobre la zona media del esternón. Además, para la realización de la MVC los sujetos fueron fijados por un evaluador en la cadera.

Procesamiento de la señal EMG.

Para el procesamiento de la señal se utilizó un software elaborado en NI Labview (Labview 2011, National Instruments Corporations, Texas, USA). La señal de MVC y tareas isométricas fueron filtradas con paso de banda 10-450

Hz del tipo Butterworth, posteriormente rectificadas y suavizadas cada 100 ms. Se extrajeron los valores máximos de la MVC para la normalización de las tareas isométricas. Para los dominios de amplitud y frecuencia de la señal fueron calculadas las variables de media, pico y desviación por ventanas de 3 s solapadas cada 0.5 s (Coorevits, Danneels, Cambier, Ramon, y Vanderstraeten, 2008).

Respuesta hormonal en saliva.

La saliva fue recogida en tubo de plástico esterilizado (Salivette[®], Sarstedt, France) y analizada en duplicado usando un kit específico de inmunoensayo para Cortisol (Salimetrics, State College, PA) con una sensibilidad de 0.007 µg/dl y un CV intra e inter sujeto del <4% para este análisis. Las muestras de saliva fueron obtenidas antes del calentamiento (basal) y después de cada serie par del entrenamiento. Los sujetos fueron instruidos para evitar la ingesta de alimentos, bebidas y cepillado de dientes 2 h antes de la evaluación y fueron sentados 15 min previos para la obtención de los valores de referencia. En cada caso, se depositaron 5-10 ml de saliva dentro de un tubo de plástico esterilizado (Salivette[®], Sarstedt, France) y congelado a -20°C hasta el final del estudio para realizar su análisis. Los valores obtenidos fueron normalizados con referencia a la medición basal para su posterior análisis (Sarabia et al., 2015).

Lactacidemia.

La lactacidemia fue determinada mediante tiras reactivas y analizador portátil Lactate Scout+ (Lactate Scout Plus, Biolaster, Gipuzkoa, España) con una precisión de 0.1 mmol/L cuyo CV=3.95% según el fabricante. Todas las muestras de lactato fueron determinadas para 25 µl de sangre capilar del lóbulo de la oreja izquierda antes del calentamiento (basal) y después de cada serie par del entrenamiento (Tanner, Fuller, y Ross, 2010). Previo a la extracción, la zona fue preparada y limpiada con alcohol. Tras la punción se

desecharon las dos primeras gotas y la tercera fue analizada. Las muestras se tomaron antes del calentamiento y 1 min después de cada serie par del entrenamiento.

Oxigenación muscular.

Para la evaluación de la oxigenación del tejido se utilizó la espectroscopia cercana al infrarrojo (Moxy, Minnesota, USA) configurada por defecto para el registro de SmO₂ cada 2 s. Se monitorizaron los niveles de oxigenación del tejido del Pectoral Mayor durante las contracciones y periodos de recuperación. El instrumental se posicionó a continuación de los electrodos sobre el vientre muscular en dirección de las fibras. Posteriormente a la prueba los datos fueron volcados, separados y analizado por series. Para cada serie se calculó el área bajo la curva (unidades aleatorias de área “uaa”).

Análisis estadístico.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software PASW Statistics 18 (Chicago, IL, EE.UU.) Se realizó una prueba Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de la distribución de la muestra. Para determinar las diferencias entre entrenamiento tras la aplicación de cada sesión se realizaron ANOVAs de medidas repetidas de dos vías para todas las variables, siendo los factores intrasujeto el tipo de entrenamiento (2 niveles: potencia e hipertrofia) y medición (Determinación hormonal y Lactacidemia: 6 niveles: Pretest, Serie 2, 4, 6, 8 y 10; Saturación de oxígeno, Pico de velocidad de desplazamiento y tiempo de esfuerzo: 10 niveles: Series 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10; y, EMG: 2 niveles: Pretest y Postest) con Post hoc Bonferroni para determinar las diferencias en las variables mecánicas, hormonales y electromiográficas. Todos los datos se presentan como media \pm error típico y tamaño del efecto (ES). Para calcular los tamaños del efecto (ES) en las diferencias entre grupos se usó el índice “g” de Hedges (Hedges y Olkin, 1985). Este índice está basado en la “d” de Cohen pero provee estimaciones del

tamaños del efecto reduciendo las limitaciones causadas por un bajo tamaño muestral ($n < 20$). De acuerdo con Rhea (2004), se consideraron como magnitudes que determinan un efecto trivial (< 0.35); pequeño (0.35-0.80); moderado (0.80-1.50) y elevado (> 1.50).

Normalización y agrupamiento de sujetos.

Los valores hormonales y velocidad fueron normalizados respecto a la primera determinación en cada protocolo mediante la función:

$$100 * \left(\frac{x_n}{x_0} \right) - 100$$

Seguidamente, para el agrupamiento de los sujetos, se sumaron todas las determinaciones hormonales normalizadas, según el signo del valor de la suma en cada protocolo los sujetos fueron asignaron a diferente grupo (Figura 8).

		Concentración hormonal en Entrenamiento de Potencia	
		Disminuye (negativo)	Incrementa (positivo)
Concentración hormonal en Entrenamiento de Hipertrofia	Disminuye (negativo)	G1 (n=6)	G2 (n=0)
	Incrementa (positivo)	G3 (n=5)	G4 (n=7)

Figura 8. Agrupación y número de sujetos en cada grupo según respuesta hormonal.

Resultados

Estadísticos descriptivos

A continuación se detallan los datos descriptivos de la muestra (Tabla 6), así como los estadísticos descriptivos de cada una de las variables en la prueba de press de banca lanzado del entrenamiento VBRT (Tabla 7) y en la prueba de press de banca del entrenamiento FM (Tabla 8).

Tabla 6. Datos descriptivos de la muestra. (M ± ET).						
1RM (Kg)	Pico potencia (Kg)	Pico potencia (%1RM)	Pico potencia (W)	10RM (Kg)	RFMM	W/MM
81.97 ± 3.68	39.34 ± 1.78	0.48 ± 0.01	397.04 ± 44.00	61.18 ± 2.95	1.34 ± 0.05	6.58 ± 0.73
RFMM = Ratio de fuerza en relación a la masa muscular; W/MM = Relación wattios kilogramo de masa muscular.						

Como se puede observar las concentraciones de cortisol salival disminuyen sutilmente en el protocolo VBRT (Tabla 7) y aumenta su concentración en el protocolo FM (Tabla 8). Asimismo, el tiempo de esfuerzo ('Time under tension', TUT) presenta el mismo comportamiento. Por otro lado, podemos observar una reducción en la velocidad máxima e incrementos de las concentraciones de lactato en ambos protocolos. Sin embargo, la saturación de oxígeno prácticamente se mantiene en los mismos niveles en VBRT mientras que en FM aumenta.

Tabla 7. Datos descriptivos de las variables en el protocolo VBRT (M ± ET).

	Sal-C (µg/dL)	La (mmol/dL)	TUT (s)	Vmax (m/s)	SmO ₂ (uaa)
Pre	0.17 ± 0.03	1.08 ± 0.11			
Serie 1			4.96 ± 0.25	1.36 ± 0.03	9822 ± 618
serie 2	0.16 ± 0.03	4.55 ± 0.32	4.24 ± 0.16	1.33 ± 0.04	10256 ± 501
Serie 3			3.61 ± 0.16	1.28 ± 0.03	9278 ± 348
Serie 4	0.15 ± 0.02	5.15 ± 0.34	3.52 ± 0.14	1.27 ± 0.03	9284 ± 717
Serie 5			3.50 ± 0.17	1.25 ± 0.03	9109 ± 533
Serie 6	0.14 ± 0.02	5.48 ± 0.38	3.37 ± 0.10	1.23 ± 0.03	10509 ± 549
Serie 7			3.29 ± 0.17	1.22 ± 0.03	9529 ± 509
Serie 8	0.13 ± 0.02	5.46 ± 0.42	2.95 ± 0.18	1.20 ± 0.03	10656 ± 732
Serie 9			3.42 ± 0.24	1.20 ± 0.04	9096 ± 524
Serie 10	0.15 ± 0.02	5.33 ± 0.42	2.95 ± 0.16	1.19 ± 0.03	8589 ± 1054

La = Lactacidemia; TUT = Tiempo de esfuerzo; Vmax = Velocidad máxima en la serie; SmO₂ = Saturación de oxígeno muscular; uaa = Unidades aleatorias de área.

Tabla 8. Datos descriptivos de las variables en el protocolo FM (M ± ET).

	Sal-C (µg/dL)	La (mmol/dL)	TUT (s)	Vmax (m/s)	SmO ₂ (uaa)
Pre	0.14 ± 0.02	1.01 ± 0.09			
Serie 1			11.06 ± 0.57	0.69 ± 0.02	9924 ± 415
serie 2	0.16 ± 0.04	5.62 ± 0.26	13.49 ± 0.80	0.63 ± 0.03	10585 ± 366
Serie 3			16.78 ± 1.26	0.52 ± 0.03	10622 ± 513
Serie 4	0.14 ± 0.02	7.15 ± 0.30	17.87 ± 1.23	0.46 ± 0.03	11496 ± 454
Serie 5			18.79 ± 1.01	0.42 ± 0.02	11561 ± 403
Serie 6	0.17 ± 0.02	7.83 ± 0.31	21.23 ± 0.77	0.40 ± 0.02	12730 ± 608
Serie 7			21.64 ± 0.83	0.38 ± 0.02	12963 ± 395
Serie 8	0.20 ± 0.02	8.33 ± 0.35	21.90 ± 0.90	0.36 ± 0.01	13073 ± 596
Serie 9			22.82 ± 0.93	0.35 ± 0.02	12754 ± 534
Serie 10	0.23 ± 0.02	8.21 ± 0.35	22.89 ± 0.81	0.35 ± 0.01	12687 ± 634

La = Lactacidemia; TUT = Tiempo de esfuerzo; Vmax = Velocidad máxima en la serie; SmO₂ = Saturación de oxígeno muscular; uaa = Unidades aleatorias de área.

No obstante, estos cambios muestran diferencias estadísticas, entre grupos y protocolos, cuando agrupamos a la muestra en función de la respuesta hormonal a cada uno de los protocolos de entrenamiento.

Variables mecánicas

Como podemos observar en la tabla 9, los grupos muestran diferencia entre sí en las masas movilizadas en 1RM, 10RM y pico de potencia. Asimismo, la ratio de fuerza relativizado a la masa muscular también mostró diferencias estadísticamente significativas entre el grupo G4 y G1.

Tabla 9. Descriptivos variables mecánicas (M ± ET) por grupos de secreción hormonal.			
	G1	G3	G4
1RM (Kg)	65.83 ± 3.75	88.50 ± 4.85 [§]	91.43 ± 5.61 [§]
Pico potencia (Kg)	32.08 ± 2.45	45.50 ± 2.00 [§]	41.07 ± 2.66 [§]
Pico potencia (%1RM)	0.48 ± 0.02	0.52 ± 0.02	0.45 ± 0.02
Pico potencia (W)	333.97 ± 38.45	398.10 ± 97.14	464.41 ± 93.04
10RM (Kg)	48.75 ± 2.56	67.00 ± 4.57 [§]	68.57 ± 4.46 [§]
RFMM	1.16 ± 0.07	1.43 ± 0.04	1.46 ± 0.09 [§]
W/MM	5.94 ± 0.82	6.41 ± 1.52	7.53 ± 1.56

ANOVA de medidas independientes. §p < 0.05 respecto G1. Nota: RFMM = Ratio de fuerza en relación a la masa muscular; W/MM = Relación wattios kilogramo de masa muscular.

La evolución de la velocidad (Tabla 10) mostró diferencias significativas en el protocolo de potencia entre el grupo 1 y 3. Además, los grupos 1 y 4 tienen pérdidas significativas en los picos de velocidad respecto a la primera serie, mientras que el grupo 3 no muestra significación en su pérdida de velocidad pico. En el protocolo de hipertrofia, todos los grupos parecen tener una pérdida similar de velocidad al final del entrenamiento. A pesar de observarse diferencia entre los grupos en la pérdida de velocidad no se encuentran significaciones entre ellos.

Tabla 10. Pérdida de velocidad máxima normalizada (%) por grupos (M ± ET).

	G1	G3	G4
VBRT			
serie 2	-4.74 ± 1.25	-0.03 ± 1.54	-2.20 ± 1.25
serie 3	-8.38 ± 2.02	-1.66 ± 2.47	-4.97 ± 2.02
serie 4	-10.14 ± 2.03 *	-4.35 ± 2.49	-5.85 ± 2.03
serie 5	-11.26 ± 1.88 *	-2.08 ± 2.30 [§]	-8.77 ± 1.88 *
serie 6	-11.54 ± 2.15 *	-6.58 ± 2.63	-8.39 ± 2.15 *
serie 7	-14.41 ± 2.30 **	-4.32 ± 2.82 [§]	-11.08 ± 2.30 *
serie 8	-13.98 ± 2.01 **	-7.72 ± 2.46	-12.27 ± 2.01 *
serie 9	-17.53 ± 2.09 **	-6.97 ± 2.56 [§]	-10.92 ± 2.09 *
serie 10	-14.96 ± 2.43 *	-9.94 ± 2.97	-11.18 ± 2.43 *
FM			
serie 2	-13.11 ± 3.34	-4.69 ± 4.09	-11.39 ± 3.34
serie 3	-34.89 ± 5.38 **	-19.05 ± 6.59	-24.13 ± 5.38 *
serie 4	-40.82 ± 5.81 **	-32.71 ± 7.12 *	-30.78 ± 5.81 *
serie 5	-42.32 ± 5.62 **	-37.68 ± 6.88 *	-37.10 ± 5.62 **
serie 6	-37.47 ± 5.62 **	-45.96 ± 6.88 **	-41.61 ± 5.62 **
serie 7	-44.59 ± 5.31 **	-45.08 ± 6.51 **	-43.45 ± 5.31 **
serie 8	-46.89 ± 4.21 **	-43.33 ± 5.15 **	-47.31 ± 4.21 **
serie 9	-50.77 ± 5.02 **	-39.38 ± 6.15 **	-47.86 ± 5.02 **
serie 10	-47.74 ± 3.63 **	-45.25 ± 4.44 **	-46.99 ± 3.63 **

ANOVA de medidas repetidas de dos vías con diez (series) y dos (protocolo) niveles y un factor inter-sujeto de tres niveles. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ respecto serie 1; [§] $p < 0.05$ respecto G1 en la misma serie.

Por otro lado, los tiempos de esfuerzo (Tabla 11.) no mostraron significación entre grupos, pero sí entre protocolos. En relación con la primera serie, sólo en el protocolo de hipertrofia los grupos muestran diferencias significativas.

Tabla 11. Tiempo de esfuerzo (s) por grupos (M \pm ET).

	G1	G3	G4
VBRT			
serie 1	4.65 \pm 0.47	4.99 \pm 0.58	5.46 \pm 0.47
serie 2	3.97 \pm 0.24	4.63 \pm 0.29	4.02 \pm 0.24
serie 3	3.30 \pm 0.30	4.06 \pm 0.37	3.60 \pm 0.30
serie 4	3.08 \pm 0.23	3.60 \pm 0.28	3.65 \pm 0.23
serie 5	3.10 \pm 0.26	4.05 \pm 0.31	3.51 \pm 0.26
serie 6	3.09 \pm 0.17	3.78 \pm 0.21	3.31 \pm 0.17
serie 7	2.83 \pm 0.29	3.61 \pm 0.35	3.27 \pm 0.29
serie 8	2.90 \pm 0.30	2.84 \pm 0.37	2.81 \pm 0.30
serie 9	2.83 \pm 0.39	4.25 \pm 0.48	3.14 \pm 0.39
serie 10	2.72 \pm 0.30	3.11 \pm 0.37	2.83 \pm 0.30
FM			
serie 1	12.29 \pm 0.97	11.67 \pm 1.18	10.84 \pm 0.97
serie 2	15.30 \pm 1.31	12.77 \pm 1.60	14.32 \pm 1.31
serie 3	19.44 \pm 1.77 *	15.98 \pm 2.17	17.78 \pm 1.77
serie 4	20.23 \pm 1.98 *	17.95 \pm 2.43	19.13 \pm 1.98
serie 5	20.10 \pm 1.66 *	18.70 \pm 2.03	20.12 \pm 1.66
serie 6	21.13 \pm 1.34 **	21.24 \pm 1.64 *	22.72 \pm 1.34 *
serie 7	22.74 \pm 1.46 **	21.31 \pm 1.79 *	22.05 \pm 1.46 *
serie 8	21.69 \pm 1.74 *	21.86 \pm 2.13 *	22.66 \pm 1.74 *
serie 9	23.79 \pm 1.74 **	22.67 \pm 2.14 *	21.96 \pm 1.74 *
serie 10	22.87 \pm 1.53 **	23.03 \pm 1.88 *	22.29 \pm 1.53 *

ANOVA de medidas repetidas de dos vías con diez (series) y dos (protocolo) niveles y un factor inter-sujeto de tres niveles. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ respecto serie 1. Nota: Todos los valores son significativos ($p < 0.01$) dentro de cada grupo al comparar entre protocolos.

Respuesta fisiológica

No se encontraron diferencias significativas de forma global entre protocolos en la variable hormonal, probablemente debido a que la concentración de Sal-C mostró diferente evolución para cada uno de los participantes en función del entrenamiento realizado. En base a dichos resultados se dividió la muestra

por subgrupos de respuesta según la tendencia a incrementar o disminuir la concentración hormonal. Tal como se puede observar en la figura 8, la muestra se dividió en tres grupos. El G1 (n=6) fue conformado por quienes reducen la concentración de Sal-C independientemente del protocolo (Tabla 12), G3 (n=5) quienes disminuyeron la concentración hormonal en el VBRT e incrementan en hipertrofia (Tabla 13) y G4 (n=7) quienes aumentaron la concentración independientemente del protocolo (Tabla 14). No se encontró ningún caso del G2 en el que la respuesta incrementara la concentración de Sal-C en el entrenamiento de potencia y disminuyera en hipertrofia.

No se encontraron diferencias significativas en la concentración hormonal para ninguna de las series en la comparación entre protocolos. Excepto, el grupo 4 (Tabla 14) que mostró diferencias ($p < 0.05$) en las concentraciones de Sal-C a partir de la serie 6.

Tabla 12. Concentración Sal-C ($\mu\text{g/dL}$) del grupo 1 en cada protocolo.

	VBRT		FM	
	Post	ES	Post	ES
serie 2	0.14 \pm 0.08	0.46 (-0.69; 1.60)	0.17 \pm 0.09	0.31 (-0.82; 1.45)
serie 4	0.13 \pm 0.07	0.58 (-0.57; 1.74)	0.16 \pm 0.08	0.43 (-0.71; 1.58)
serie 6	0.12 \pm 0.07	0.70 (-0.47; 1.86)	0.15 \pm 0.08	0.50 (-0.64; 1.65)
serie 8	0.10 \pm 0.06	0.87 (-0.31; 2.05)	0.15 \pm 0.07	0.58 (-0.57; 1.74)
serie 10	0.11 \pm 0.07	0.81 (-0.37; 1.98)	0.17 \pm 0.10	0.34 (-0.80; 1.48)

ANOVA de medidas repetidas de dos vías con seis (determinaciones hormonales) y dos (protocolo) niveles. Los ES están calculados comparando cada uno de los valores post de la serie indicada con el valor basal en cada protocolo: VBRT (0.18 \pm 0.10) e FM (0.20 \pm 0.09). No se encontraron diferencias en la comparación entre protocolos.

Tabla 13. Concentración Sal-C ($\mu\text{g}/\text{dL}$) del grupo 3 en cada protocolo.

	VBRT		FM	
	Post	ES	Post	ES
serie 2	0.24 ± 0.17	0.22 (-1.02; 1.47)	0.22 ± 0.30	-0.46 (-1.72; 0.79)
serie 4	0.21 ± 0.14	0.41 (-0.85; 1.66)	0.12 ± 0.10	-0.14 (-1.38; 1.10)
serie 6	0.18 ± 0.11	0.58 (-0.68; 1.85)	0.15 ± 0.11	-0.36 (-1.61; 0.89)
serie 8	0.18 ± 0.10	0.64 (-0.63; 1.91)	0.20 ± 0.09	-0.87 (-2.17; 0.42)
serie 10	0.18 ± 0.11	0.62 (-0.65; 1.89)	0.24 ± 0.08	-1.33 (-2.70; 0.04)

ANOVA de medidas repetidas de dos vías con seis (determinaciones hormonales) y dos (protocolo) niveles. Los ES están calculados comparando cada uno de los valores post de la serie indicada con el valor basal en cada protocolo: VBRT (0.28 ± 0.18) e FM (0.10 ± 0.10). No se encontraron diferencias en la comparación entre protocolos.

Tabla 14. Concentración Sal-C ($\mu\text{g}/\text{dL}$) del grupo 4 en cada protocolo.

	VBRT		FM	
	Post	ES	Post	ES
serie 2	0.12 ± 0.10	-0.57 (-1.64; 0.50)	0.12 ± 0.08	-0.25 (-1.30; 0.80)
serie 4	0.12 ± 0.10	-0.54 (-1.61; 0.52)	0.13 ± 0.09	-0.40 (-1.46; 0.66)
serie 6	0.11 ± 0.10	-0.50 (-1.56; 0.57)	$0.20 \pm 0.08^*$	-1.17 (-2.30; -0.04)
serie 8	0.13 ± 0.11	-0.59 (-1.66; 0.48)	$0.25 \pm 0.07^*$	-1.88 (-3.14; -0.62)
serie 10	0.15 ± 0.12	-0.82 (-1.91; 0.28)	$0.29 \pm 0.10^*$	-1.99 (-3.27; -0.71)

ANOVA de medidas repetidas de dos vías con seis (determinaciones hormonales) y dos (protocolo) niveles. Los ES están calculados comparando cada uno de los valores post de la serie indicada con el valor basal en cada protocolo: VBRT (0.07 ± 0.05) e FM (0.10 ± 0.08). * $p < 0.05$ en la concentración de Sal-C entre protocolos.

En cambio, las concentraciones de lactato en sangre (Tabla 15) mostraron diferencias entre protocolos y entre grupos, concretamente las lactacidemias de G4 fueron significativamente mayores a las de G1 en ambos protocolos.

Tabla 15. Concentración de lactato en sangre (mmol/dL) por grupos (M ± ET).

	G1	G3	G4
VBRT			
Pre	0.95 ± 0.20	1.22 ± 0.22	1.00 ± 0.19
Post 2	3.42 ± 0.48 *	4.50 ± 0.53 **	5.57 ± 0.45 ** [§]
Post 4	3.77 ± 0.46 **	5.16 ± 0.51 **	6.30 ± 0.43 ** [§]
Post 6	3.93 ± 0.50 **	5.32 ± 0.54 **	6.89 ± 0.46 ** [§]
Post 8	3.85 ± 0.57 *	5.36 ± 0.63 **	6.87 ± 0.53 ** [§]
Post 10	3.75 ± 0.60 *	5.34 ± 0.66 **	6.54 ± 0.56 ** [§]
FM			
Pre	0.83 ± 0.16	1.12 ± 0.17	1.07 ± 0.15
Post 2	4.93 ± 0.39 ***	5.56 ± 0.42 **	6.43 ± 0.36 ** [§]
Post 4	6.17 ± 0.46 ****	7.24 ± 0.50 ***	8.00 ± 0.42 ** [§]
Post 6	6.62 ± 0.46 ****	8.04 ± 0.50 ****	8.66 ± 0.43 ** [§]
Post 8	7.22 ± 0.50 ****	7.86 ± 0.55 ***	9.59 ± 0.46 ** [§]
Post 10	7.28 ± 0.55 ****	7.82 ± 0.61 ***	8.99 ± 0.51 **

*ANOVA de medidas repetidas de dos vías con seis (determinaciones de lactato) y dos (protocolo) niveles y un factor inter-sujeto de tres niveles. *p < 0.05, **p < 0.01 respecto Pre; †p < 0.05, ††p < 0.01 respecto a protocolo potencia del mismo grupo; §p < 0.05 respecto G1 en el mismo protocolo.*

Los datos aportados por el fNIR (Figura 9) mostraron diferencias entre protocolos en el grupo 4 mientras que no fueron significativas las diferencias entre grupos ni los cambios respecto a la primera serie.

Función neuromuscular

Los resultados obtenidos del análisis de la función muscular (Tablas 16 y 17) muestran que, en el protocolo VBRT (Tabla 16), la amplitud y la frecuencia incrementa sus valores siendo significativos sólo para la primera. Por otro lado, en el protocolo FM (Tabla 17), existen tendencias a incrementar los valores de amplitud y disminuir los valores de frecuencia, lo cual es indicativo de fatiga neural, pero sólo en el grupo 4 se muestran significaciones estadísticas para estas variables, mientras que los grupos 1 y 3 sólo proveen incrementos significativos en la amplitud.

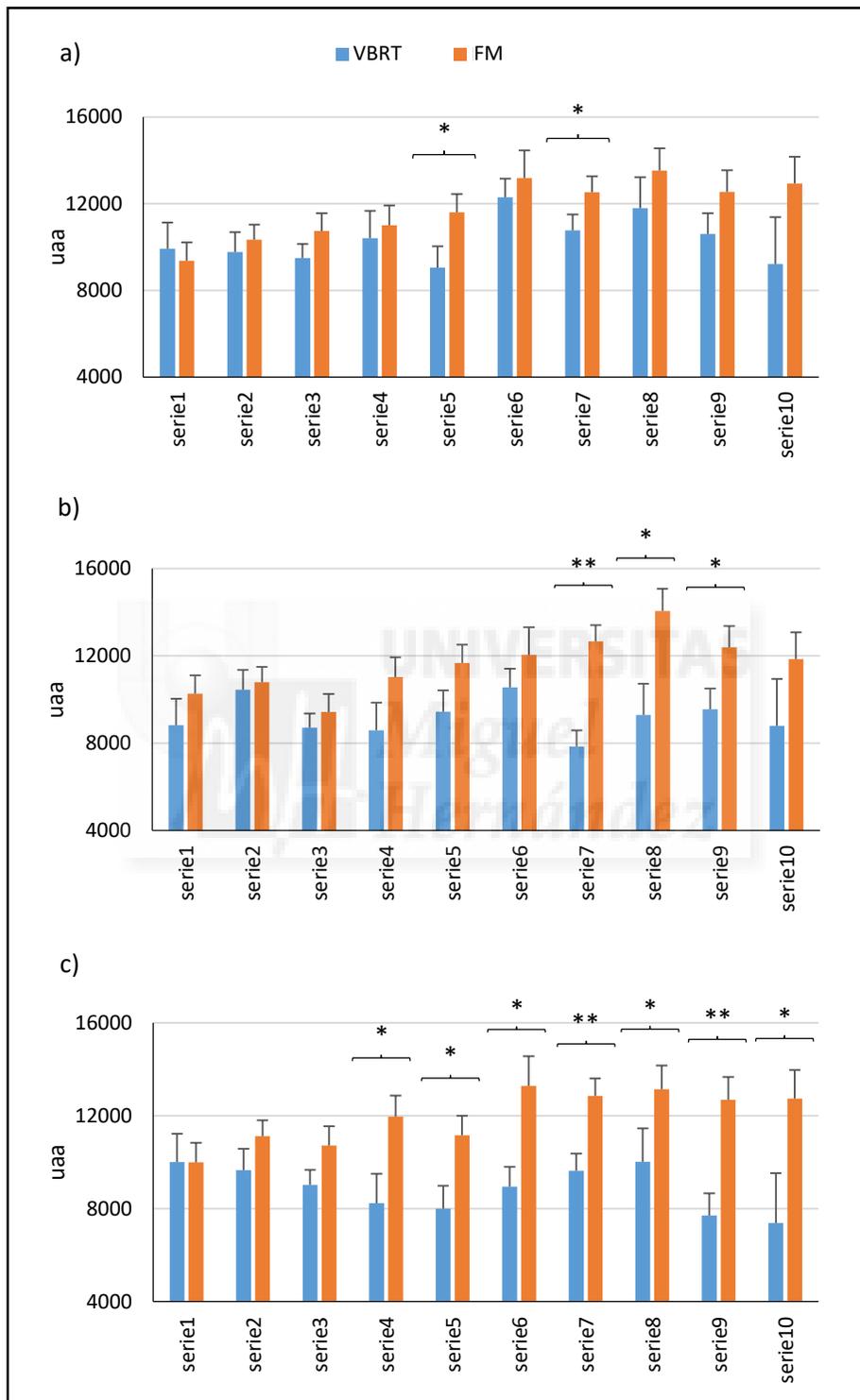


Figura 9. Evolución del área bajo la curva de la saturación de oxígeno ($M \pm ET$) en unidades aleatorias de área (uua) por grupos 1 (a), 3 (b) y 4 (c).

Tabla 16. Porcentaje de activación muscular (%MVC) en las tareas isométricas antes y después del entrenamiento VBRT (M ± ET).

	G1			G3			G4			
	Pre	Post	p	Pre	Post	p	Pre	Post	p	
Amplitud media	DAD	13.47 ± 2.03	18.25 ± 2.94	0.014	9.34 ± 2.03	10.96 ± 2.94	0.354	9.09 ± 1.85	13.21 ± 2.68	0.019
	PED	7.50 ± 0.98	14.72 ± 2.91	0.004	6.27 ± 0.98	8.36 ± 2.91	0.338	8.00 ± 0.89	12.61 ± 2.66	0.032
	TRD	8.46 ± 1.81	11.31 ± 2.03	0.018	6.10 ± 1.81	8.23 ± 2.03	0.064	6.25 ± 1.66	7.97 ± 1.85	0.096
Frecuencia media	DAD	81.00 ± 4.23	89.35 ± 6.98	0.053	75.64 ± 4.23	82.17 ± 6.98	0.120	71.96 ± 3.86	79.66 ± 6.37	0.051
	PED	49.98 ± 3.92	50.05 ± 5.33	0.972	47.70 ± 3.92	53.31 ± 5.33	0.012	41.47 ± 3.58	45.19 ± 4.87	0.054
	TRD	79.89 ± 2.58	75.23 ± 2.97	0.111	86.57 ± 2.58	83.83 ± 2.97	0.332	77.47 ± 2.36	75.65 ± 2.71	0.477

ANOVA de medidas repetidas de una vía con dos (pre-post) niveles y un factor inter-sujeto de tres niveles. DAD = Deltoides Anterior Derecho; PED = Pectoral derecho; TRD = Tríceps braquial derecho

Tabla 17. Porcentaje de activación muscular (%MVC) en las tareas isométricas antes y después del entrenamiento FM (M ± ET).

	G1			G3			G4			
	Pre	Post	p	Pre	Post	p	Pre	Post	p	
Amplitud media	DAD	9.96 ± 1.33	24.15 ± 7.08	0.057	9.47 ± 1.33	27.57 ± 7.08	0.020	10.98 ± 1.21	32.49 ± 6.46	0.004
	PED	7.65 ± 1.24	24.21 ± 4.45	0.001	7.11 ± 1.24	20.10 ± 4.45	0.005	8.85 ± 1.13	27.02 ± 4.06	0.000
	TRD	10.11 ± 1.91	22.53 ± 5.51	0.012	3.32 ± 1.91	9.81 ± 5.51	0.154	5.68 ± 1.74	24.35 ± 5.03	0.000
Frecuencia media	DAD	77.91 ± 6.16	70.76 ± 6.28	0.072	75.30 ± 6.16	69.77 ± 6.28	0.153	75.27 ± 5.63	66.67 ± 5.73	0.023
	PED	53.17 ± 7.31	47.36 ± 7.91	0.037	49.06 ± 7.31	52.05 ± 7.91	0.254	41.47 ± 6.67	38.14 ± 7.22	0.169
	TRD	71.02 ± 5.57	62.26 ± 4.25	0.118	83.59 ± 5.57	72.52 ± 4.25	0.054	76.67 ± 5.08	60.81 ± 3.88	0.006

ANOVA de medidas repetidas de una vía con dos (pre-post) niveles y un factor inter-sujeto de tres niveles. DAD = Deltoides Anterior Derecho; PED = Pectoral derecho; TRD = Tríceps braquial derecho

Discusión

Hasta el momento, la respuesta aguda al entrenamiento de fuerza ha sido estudiada en las horas posteriores a la finalización del mismo (Crewther et al., 2006). En este estudio tuvo como objetivo analizar los cambios en Sal-C, SmO₂ y activación muscular durante los protocolos FM y VBRT de acuerdo a las características de los participantes.

Respuesta fisiológica

El principal hallazgo de este estudio fue que Sal-C, en una muestra con nivel de rendimiento homogénea, podía ser agrupada según los cambios en su concentración producidos a lo largo de los entrenamientos recogidos durante las 6 determinaciones (Figura 8). De manera que, los sujetos con incrementos de la concentración de cortisol los consideraremos como “respondedores” y quienes la disminuyan “no respondedores”. Al analizar las características de la respuesta hormonal en función del perfil de los participantes se observó que aquellos con incrementos mayores de concentración hormonal (respondedores), independientemente del protocolo, son también los más fuertes (Tabla 9) y, probablemente, los que se adaptarán mejor a los entrenamientos, ya que se ha referenciado que la respuesta hormonal y sus fluctuaciones son dependiente de la condición física de los sujetos, siendo directamente proporcional la relación entre ambas, es decir, a mayor condición física mayor respuesta hormonal (Hasani-Ranjbar, Far, Heshmat, Rajabi, y Kosari, 2012). Además, las concentraciones de lactato (Tabla 15), confirman este hecho, puesto que también fueron mayores para los grupos 3 y 4 mostrando una mayor disponibilidad de este sustrato para la gluconeogénesis (Battezzati et al., 2004).

Por otro lado, SmO₂ (Figura 9) parece mostrar una diferente cinética al comparar entre protocolos y grupo de sujetos. Algunos autores han sugerido que existen diferencias entre sujetos entrenados y no entrenados en la re-

oxigenación y desoxigenación, siendo los primeros quienes presentaban cambios más acelerados y más pronunciados. (Bae et al., 1996; Chance et al., 1992). Esto podría significar que los sujetos con mayor capacidad de entrenamiento mostrarían una menor área bajo la curva y por lo tanto menor saturación de oxígeno en el tejido. No obstante, esta apreciación sólo es observable en el entrenamiento VBRT en comparación de G1 y G3 respecto a G4, aunque la muestra se presenta homogénea en los niveles de rendimiento y no se muestran diferencias significativas entre grupos en SmO_2 .

Hoffman et al. (2003) encontraron que mayores volúmenes de esfuerzo retrasan la re-oxigenación y mayores intensidades podrían agudizar la desoxigenación, lo que se traduciría en una menor área bajo la curva para un entrenamiento del tipo FM en comparación con VBRT. Nosotros hemos observado que los sujetos no respondedores tienen un comportamiento similar de SmO_2 independientemente del entrenamiento que realizaron. Sin embargo, para los respondedores (G4) aparecen diferencias significativas a partir de la serie 4 al comparar entre protocolos, pero con un comportamiento inverso a lo explicado por Hoffman et al. (2003). Quizás, estas diferencias del grupo respondedor (G4) estén inducidas por una mayor capacidad de implicación de las fibras tipo I para el entrenamiento VBRT y, por lo tanto, mayor aportación de energía producida mediante vía oxidativa (Peter, Barnard, Edgerton, Gillespie, y Stempel, 1972). No obstante, en este estudio no realizamos ningún tipo de análisis que nos permitiera contrastar este hecho.

Variables mecánicas

Se observa, también, que los cambios descritos podrían influir sobre la capacidad de mantener un esfuerzo en estos grupos. Así lo muestra el momento en el que aparecen las diferencias en el tiempo de esfuerzo (Tabla 11), puesto que el grupo 1 mostró menor 1RM (Tabla 9), Sal-C (Tabla 12),

concentración de lactato (Tabla 15), pérdidas significativas de la velocidad máxima en las primeras series del protocolo (Tabla 10) y, mostraron menores tiempo de esfuerzo y cambios significativos más tempranos en los protocolos VBRT y FM respectivamente en comparación con el grupo 3 y 4.

Al igual que Leite et al. (2011), hemos observado que el volumen de entrenamiento es un factor importante para inducir cambios en la respuesta hormonal, pero en nuestro caso sólo se confirma para los respondedores. Por lo tanto, la modulación del volumen de la sesión puede modificar el contexto fisiológico del músculo para promover determinadas adaptaciones, ya que el entrenamiento de fuerza incentiva la secreción hormonal (Ahtiainen, Pakarinen, Alen, Kraemer, y Häkkinen, 2003). Sin embargo, debemos ser cautos porque los cambios en los valores que hemos observado son considerablemente pequeños, posiblemente debido a que la cantidad de masa muscular implicada en el ejercicio afecta a la magnitud de la secreción hormonal (Migiano et al., 2010).

Función neuromuscular

Respecto a la función neuromuscular, se ha sugerido que los cambios como el descenso en la frecuencia media y el incremento en la amplitud de la señal EMG permitirían indicar la aparición de fatiga (Georgakis et al., 2003; Masuda et al., 1999). De modo que, los cambios observados en VBRT podrían significar que, en parte, la fatiga no provendría de la actividad neural como se había descrito, ya que los cambios en la señal, además de no ser significativos de forma estadística, para Deltoides y Pectoral se incrementó la frecuencia media. Al contrario, este incremento podría indicar un mayor reclutamiento de MU's tras el entrenamiento VBRT (Gerdle, Eriksson, y Brundin, 1990). No obstante, estos efectos pudieran ser explicados, también, por la posible dependencia del espectro de frecuencia con la contracción muscular a niveles inferiores al 30% de la MVC debido al propio filtro de los tejidos y al

reclutamiento y distribución de las MU's (Hagberg y Ericson, 1982). Sin embargo, Linnamo et al. (2000) confirmaron que la frecuencia media se incrementa en ejercicios explosivos. Por lo tanto, es posible que esta variable no sea un buen indicador de la fatiga, al menos para explorarla en tareas isométricas después de VBRT. En cambio, en el protocolo FM se cumple las condiciones descritas, tanto en el dominio de la amplitud como en el de la frecuencia, para considerar que existe fatiga neural (Borgenvik et al., 2012; Georgakis et al., 2003). Además, se puede observar que los cambios son mayores en el grupo considerado como "respondedores" (G4). Por lo que podríamos estar ante perfiles de respuesta al ejercicio que clasifiquen a los sujetos. De tal manera que, aquellos sujetos que muestren una mayor respuesta neurofisiológica podrían ser más receptivos a la hora de crear adaptaciones al entrenamiento, y por lo tanto tener mayores niveles de fuerza, en comparación a los menos respondedores. No obstante, debemos tener en cuenta el bajo tamaño muestral de nuestro estudio que nos hacen ser cautelosos con los resultados.

Conclusión

Nuestro estudio parece sugerir la existencia de perfiles de respuesta hormonal de Sal-C que coincide con respuestas características de cada grupo en saturación de oxígeno, niveles de producción de fuerza, lactacidemias y función muscular. Estos perfiles de respuesta podrían propiciar condiciones de inicio al entrenamiento de VBRT muy diferentes a nivel biofisiológico que generen diferentes adaptaciones al entrenamiento y, consecuentemente, diferente nivel de rendimiento.



Estudio 3

Efectos del proceso de entrenamiento en la respuesta neural y hormonal en press de banca lanzado y velocidad de lanzamiento en jugadores de balonmano

Introducción

El balonmano se caracteriza por ser un deporte con altos requerimientos anaeróbicos y gran cantidad de acciones explosivas (Al-Mulla, Sepulveda, y Colley, 2011), los cuales están relacionados con la capacidad de producir altos niveles de fuerza (Lepez, Caamano, Romero, Fiedler, y Araya, 2010). Por lo tanto, la mejora de los niveles fuerza máxima y la capacidad de producirla rápidamente constituyen apartados fundamentales de este deporte.

En los últimos años, las investigaciones sobre el entrenamiento de fuerza han mostrado que la monitorización de la fatiga a través de la pérdida de velocidad parece ser una herramienta útil para optimizar la carga de entrenamiento al que se somete el deportista (González-Badillo et al., 2015; Jovanović y Flanagan, 2014; Kasman et al., 1998; Yoshitake, Ue, Miyazaki, y Moritani, 2001). Algunos autores han concluido que un criterio de exigencia inferior a alcanzar el fallo muscular (por ejemplo, una pérdida del 10% de la velocidad máxima) consigue mejorar el rendimiento en ejercicios de carácter dinámico (Folland et al., 2002; Kramer et al., 1997; Sanborn et al., 2000) además de minimizar del riesgo de sobreentrenamiento (Borst et al., 2001; Elloumi et al., 2005; Izquierdo, Ibanez, et al., 2006). Incluso se ha sugerido, que la modulación de la pérdida de velocidad podría orientar las adaptaciones al entrenamiento hacia aquellas de tipo estructural cuanto mayor sea la pérdida de velocidad (Kawamori y Haff, 2004). Así lo constataron Pareja-Blanco et al.

(2016) quienes compararon los efectos sobre la fuerza e hipertrofia muscular con entrenamientos VBRT con una pérdida del 40% MVP vs. 20% MVP, mostrando mayor influencia sobre adaptaciones estructurales cuanto mayor era la pérdida de velocidad.

Es conocido que las mejoras en el rendimiento generadas por el entrenamiento de fuerza son derivadas de las adaptaciones morfológicas y neurales (Folland y Williams, 2007) como consecuencia de la respuesta hormonal al entrenamiento (Gonzalez et al., 2015; Schoenfeld, 2010). Recientemente, se ha asistido a un incremento notable de esta investigación, debido a la obtención de muestras en saliva y su análisis, ya que han sido rápidamente desarrolladas como herramientas para la medición de marcadores fisiológicos, tradicionalmente medidos en suero (Caruso et al., 2012; Gröschl, 2009; Hayes et al., 2013), permitiendo una recogida rápida, con capacidad de alta frecuencia de muestreo y sin estrés de punción (Weckesser et al., 2014). Además, requiere un escaso conocimiento técnico en su procedimiento y puede ser desarrollada fuera del laboratorio.

Los cambios en la concentración hormonal, como, por ejemplo, la del cortisol libre en saliva, ha sido una de las respuestas más estudiadas en relación a la monitorización de la fatiga interna y a las adaptaciones generadas por el entrenamiento (Chernozub, 2013; Hayes, Grace, Baker, y Sculthorpe, 2015), habiéndose constatado grandes fluctuaciones de esta hormona según el diseño del estudio, lo que dificulta su interpretación (Hayes et al., 2015). Además, se ha documentado que existen diferencias en la respuesta en la secreción de esta hormona ante psico-estresores al comparar sujetos entrenados y no entrenados (Rimmele et al., 2007), lo cual podría generar cambios en la respuesta hormonal ante un mismo estímulo de entrenamiento a lo largo del tiempo.

Además de la degradación y disminución de la síntesis proteica (Kraemer y Ratamess, 2005), el cortisol parece causar, también, una atenuación de hormonas anabólicas vinculadas con la producción de fuerza (Deschenes y Kraemer, 2002). Aunque no hay estudios publicados que hayan explorado cambios agudos en la concentración libre de cortisol durante entrenamiento de fuerza (Crewther et al., 2006), se ha sugerido una posible vinculación entre cambios en la concentración de cortisol y la actividad neuromuscular en la misma dirección (Virus et al., 2001), pudiendo mostrarse en forma de perfiles de respuesta al ejercicio.

Los cambios en dicha función, que se han utilizado para la identificación de la fatiga aguda, pueden ser mensurables a través de la electromiografía en superficie (Cifrek et al., 2009; Petrofsky et al., 1982). De hecho, la frecuencia media y la amplitud de la señal electromiográfica son las variables más utilizadas para interpretar la fatiga, ya que este fenómeno provoca un descenso e incremento de estos parámetros respectivamente (Georgakis et al., 2003; Masuda et al., 1999).

Sin embargo, aún no se ha determinado si la aplicación de diferentes cargas de entrenamiento basado en la velocidad provocaría cambios, a lo largo de un ciclo completo de fuerza, sobre las variables anteriormente descritas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue comprobar si un criterio de rendimiento con una pérdida de velocidad del 10% en comparación a un 30% de pérdida, en el entrenamiento VBRT dentro de un ciclo real de entrenamiento de fuerza en jugadores semiprofesionales de balonmano, es suficiente para maximizar las ganancias de fuerza y rendimiento en acciones relacionadas con la fuerza máxima, identificando cambios en los perfiles de respuesta endocrina y activación muscular.

Método

Participantes.

28 jugadores semiprofesionales de balonmano participaron en este estudio de los cuales 14 completaron la intervención (22.4 ± 3.2 años; 180.8 ± 6.3 cm; 80.79 ± 8.68 kg). Todos ellos pertenecientes al equipo senior del Club Balonmano Elche. Cumplimentaron un cuestionario de salud dónde documentaron que estaban exentos de alteraciones endocrinas y metabólicas, cardiopatías, lesión en tren superior, recibir tratamiento médico y padecer caries u heridas bucales.

La totalidad de este estudio fue avalado por el Órgano Evaluador de Proyecto de la Universidad Miguel Hernández de Elche, ajustándose al Código Ético de la Asociación Médica Mundial. Los sujetos dieron su consentimiento por escrito antes de la participación.

Aproximación experimental al problema.

El estudio siguió un diseño experimental aleatorizado siendo la variable independiente la carga de entrenamiento (dos niveles: 10% y 30% de pérdida de la velocidad media en la fase propulsiva). Para llevar a cabo el estudio los participantes realizaron un total de 30 sesiones separadas por 48-72 h (2 de evaluación pre intervención; 12 de entrenamiento hipertrofia; 2 de evaluación post hipertrofia; 12 de entrenamiento VBRT; 2 de evaluación post intervención). En cada uno de los tres momentos de evaluación se siguió el siguiente orden de días y pruebas: en el primer día, se obtuvo la carga movilizada en 1RM, carga dónde se consiguió el pico máximo de potencia, repeticiones óptimas y velocidad de lanzamiento en 7 y 9 m; en el segundo día, se evaluó la fatigabilidad neuromuscular, respuesta hormonal y lactacidemia en un entrenamiento consistente en 10 series de volumen y carga óptima con 2 min de recuperación entre series. Para ello, tras el calentamiento se realizaron dos pruebas isométricas de 8 s de máxima

contracción voluntaria para normalizar la señal y una isométrica de 30 s con el 20% del RM para conocer la fatigabilidad muscular. Una vez finalizado el test, fue repetida la tarea inicial de 30 s. Además, para conocer los cambios metabólicos durante el entrenamiento, se obtuvieron muestras de cortisol salival y lactacidemia capilar periférica antes del calentamiento y después de cada serie par del protocolo (Figura 10).

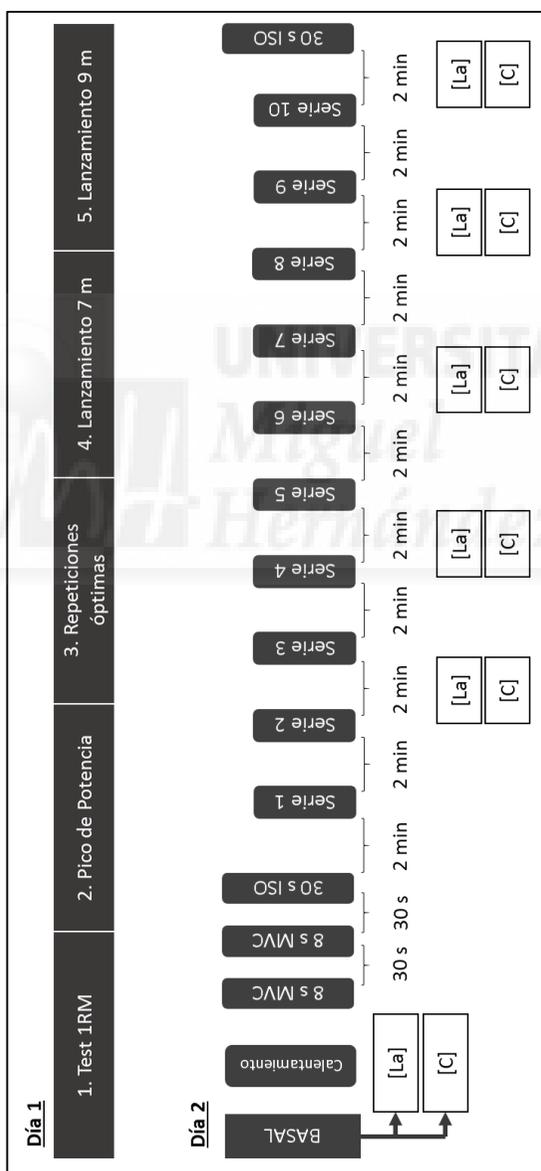


Figura 10. Sesiones de evaluación.

Dado el carácter ecológico de la intervención todos los participantes realizaron el mismo entrenamiento de hipertrofia. Sin embargo, fueron divididos en dos grupos de intervención para el entrenamiento VBRT, cada grupo correspondiente a un criterio de pérdida de velocidad diferente.

Durante los dos periodos de intervención (Entrenamiento de hipertrofia y potencia) los participantes realizaron su entrenamiento con cargas individualizadas correspondientes a las indicadas en la siguiente tabla y figura (Figura 11; Tabla 18).

Sesión	Hipertrofia	VBRT ^a
1		
2	4 x 10 [12RM] r: 2 min	G10: 4 x (-10%MVP) r: 2 min
3		G30: 4 x (-30%MVP) r: 2 min
4		
5	5 x 10 [12RM] r: 2 min	G10: 5 x (-10%MVP) r: 2 min
6		G30: 5 x (-30%MVP) r: 2 min
7		
8		
9	6 x 10 [12RM] r: 2 min	G10: 6 x (-10%MVP) r: 2 min
10		G30: 6 x (-30%MVP) r: 2 min
11		
12		
^a Los entrenamientos se realizaron con cargas óptimas.		

Figura 11. Distribución de cargas según entrenamiento. Para el entrenamiento VBRT las masas movilizadas correspondieron a los pesos dónde se obtuvo el pico de potencia.

Tabla 18. Ejercicios de entrenamiento en hipertrofia y potencia.

Hipertrofia	Potencia
Sentadillas	CMJc
Peso Muerto	Peso Muerto con Salto
Zancadas Búlgaras	Zancadas alternas con salto
Zancadas	Push Press
Press Militar	Press de Banca Lanzado*
Press de Banca*	Cargadas
Dominadas*	

*Ejercicio realizado dos veces por semana.

En cada sesión se realizaron 3 ejercicios de los indicados

Procedimientos.

Evaluación de la fuerza dinámica máxima y pico de potencia

Todas las ejecuciones de press de banca fueron realizadas con el soporte de una Smith Machine (Multipower M953, Technogym, Italy) para la realización de los test y entrenamientos. Antes de cada sesión los participantes realizaron dos series de 10 repeticiones con una carga correspondiente al 50% de 1RM con dos min de recuperación entre series.

La monitorización y registro de la velocidad de movimiento y potencia se llevó a cabo mediante un encoder lineal con frecuencia de muestreo de 1000 Hz (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spain). El error medio relativo del sistema T-Force es del <0.25%, mientras que el error absoluto en el desplazamiento es inferior a ± 0.5 mm. Posee un ICC de 1.00 (95% de intervalo de confianza = 1.00-1.00) y un CV de 0.57% en la medida de velocidad media de la fase propulsiva. Para la velocidad máxima un ICC de 1.00 (95% CI: 0.99-1.00) y CV de 1.75% según el fabricante.

El 1RM fue evaluado siguiendo un protocolo de carga incremental (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). La carga inicial fue de 20 kg para todos los

sujetos y se incrementó 10 kg en cada serie hasta alcanzar una velocidad media de la fase propulsiva de 0.5m/s. Entonces, la carga fue ajustada con menores incrementos (de 5 a 2,5 kg) hasta alcanzar la masa más elevada que el sujeto podía movilizar con un rango completo de movimiento. Los participantes se tumbaron en horizontal con la cabeza, espalda, glúteos y piernas apoyadas firmemente en el banco, y los codos completamente extendidos y aprehendiendo la barra. Fueron instruidos de manera que en cada repetición la barra fuera bajada al pecho hasta aproximadamente 3 cm de la zona superior de la xifoides esternal, los codos debían extenderse por igual manteniendo la cabeza y cadera en contacto con el banco y los pies en contacto con el suelo durante el levantamiento. No se permitían rebotes ni arqueados de espalda.

Una vez obtenido el 1RM se procedió a la evaluación del pico de potencia mediante tres repeticiones a máxima velocidad para las cargas correspondientes al 30%, 40%, 50% y 60% del 1RM (Kawamori y Haff, 2004). La carga era incrementada en cada serie previo descanso de 2 min. Esta variable se presenta como vatios máximos producidos, kilogramos movilizados y porcentaje de 1RM dónde se encuentra.

Para la obtención del 12RM, en la primera sesión de hipertrofia se realizó una serie al fallo con el 65% del 1RM, si el deportista era capaz de realizar más de 12 repeticiones se incrementaba la carga en un 10% y se volvía a repetir la serie con un descanso previo de 5 min. En el caso de realizar menos de 12 repeticiones en el segundo intento, se realizaba una regresión lineal para calcular la masa a movilizar.

Velocidad de lanzamiento.

El rendimiento en el lanzamiento fue determinado por la máxima velocidad del balón. La máxima velocidad expresada en Km/h fue medida usando un radar de pistola (Stalker Sport 2, Applied Concepts, Stalker Radar, Plano,

Texas, USA) que puede medir velocidades entre 8 y 240 Km/H con un error de precisión del 3%. El radar (frecuencia = 24.13 GHz) fue situado a una distancia de 1.5 m del fondo de la portería en el centro de la diana de lanzamiento, la cual fue usada como referencia para el ejecutante y cuyas dimensiones fueron de 68 cm de lado, siendo la esquina superior derecha coincidente con el poste-esquadra de la portería. Los jugadores realizaron los lanzamientos con su brazo dominante, con un pie siempre en contacto con el suelo. Sólo se consideraron válidos los intentos marcados dentro de los márgenes establecidos por la diana y no se produjera un rebasamiento de las líneas que determinaban la distancia de lanzamiento (Chelly, Hermassi, y Shephard, 2010).

Análisis de la función muscular mediante electromiografía de superficie.

Para el registro de la función muscular a través de electromiografía, la señal fue recogida con un dispositivo portátil de 8 canales de superficie (ME6000T8, Mega Electronics Ltd, Kuopio, Finland). La señal fue amplificada (ganancia: x1000; filtro analógico paso banda: 10-500 Hz; CMRR: 95 dB), usando un convertidor A/D (16-bit) a 1000 Hz. Se utilizaron tres pares de electrodos de superficie circulares Ag/AgCl con superficie eléctrica de contacto de 80 mm² (Kendall™ Arbo™ H124SG, Covidien, Dublin, Ireland).

Previamente a la colocación de los electrodos, la piel fue cuidadosamente preparada (rasurada y limpiada con alcohol en la posición del electrodo). Seguidamente, los electrodos se colocaron sobre el vientre muscular en dirección de las fibras con una separación de 2 cm entre el centro de los sensores. Los electrodos para la porción anterior del Deltoides (DAD) fueron localizados a una distancia aproximada de 4 cm distal y anterior al acromion (Kasman et al., 1998). Los electrodos para Pectoral Mayor (PED) fueron localizados en la línea media clavicular, al 50% entre la articulación acromioclavicular y la articulación esternoclavicular, sobre el tercer espacio

intercostal (Król et al., 2007). Los electrodos para la cabeza larga del Tríceps (TRD) fueron localizados al 50% de la línea entre la cresta posterior del acromion y el olecranon a una distancia de 3 cm respecto la línea medial conforme al consenso SENIAM (Merletti y Hermens, 2000). Para la realización de las tareas MVC y 30 s isométrico, los participantes se tumbaron en horizontal con la cabeza, espalda, glúteos y piernas apoyadas firmemente en el banco, con los codos flexionados a 90° (monitorizado mediante un electrogoniómetro), con un ancho de aprehensión de la barra tal que en situación de máxima extensión del hombro la barra descansa sobre la zona media del esternón. Además, para la realización de la MVC los sujetos fueron fijados por un evaluador en la cadera.

Procesamiento de la señal EMG.

Para el procesamiento de la señal se utilizó un software elaborado en NI Labview (Labview 2011, National Instruments Corporations, Texas, USA). La señal de MVC y las tareas isométricas fueron filtradas con paso de banda 10-450 Hz del tipo Butterworth, posteriormente rectificadas y suavizadas cada 100 ms. Se extrajeron los valores máximos de la MVC para la normalización de las tareas isométricas. Para los dominios de amplitud y frecuencia de la señal fueron calculadas las variables de media, pico y desviación por ventanas de 3 s solapadas cada 0.5 s (Coorevits et al., 2008).

Respuesta hormonal en saliva.

La saliva fue recogida en tubo de plástico esterilizado (Salivette®, Sarstedt, France) y analizada en duplicado usando un kit específico de inmunoensayo para Cortisol (Salimetrics, State College, PA) con una sensibilidad de 0.007 µg/dl y un coeficiente de variación intra e inter sujeto del <4% para este análisis. Las muestras de saliva fueron obtenidas antes del calentamiento (basal) y después de cada serie par del entrenamiento. Los sujetos fueron instruidos para evitar la ingesta de alimentos, bebidas y cepillado de dientes 2

h antes de la evaluación y fueron sentados 15 min previos para la obtención de los valores de referencia. En cada caso, se depositaron 5-10 ml de saliva dentro de un tubo de plástico esterilizado (Salivette®, Sarstedt, France) y congelado a -80°C hasta el final del estudio para realizar su análisis (Sarabia et al., 2015).

Lactacidemia.

La lactacidemia fue determinada mediante tiras reactivas y analizador portátil Lactate Scout+ (Lactate Scout Plus, Biolaster, Gipuzkoa, España) con una precisión de 0.1 mmol/L cuyo CV=3.95% según el fabricante. Todas las muestras de lactato fueron determinadas para 25 µl de sangre capilar del lóbulo de la oreja izquierda antes del calentamiento (basal) y después de cada serie par del entrenamiento (Tanner et al., 2010). Previo a la extracción, la zona fue preparada y limpiada con alcohol. Tras la punción se desecharon las dos primeras gotas y la tercera fue analizada. Las muestras se tomaron antes del calentamiento y 1 min después de cada serie par del entrenamiento.

Análisis estadístico.

Todos los análisis estadísticos fueron realizados con el software PASW Statistics 18 (Chicago, IL, EE.UU.) Se realizó una prueba Kolmogorov-Smirnov para determinar la normalidad de la distribución de la muestra. Para determinar las diferencias entre entrenamientos se realizaron ANOVAs mixto de tres vías para todas las variables, siendo los factores intrasujeto la medición (Determinación hormonal y Lactacidemia: 6 niveles: Pretest, Serie 2, 4, 6, 8 y 10; EMG: 2 niveles: Pretest y Postest) y variables mecánicas de rendimiento (Carga 1RM, Lanzamiento de 7 y 9m, vaticos en el PP y repeticiones óptimas: 3 niveles: inicial, intermedio y final) con Post hoc Bonferroni para determinar las diferencias en las variables mecánica, hormonales, lactacidemias y electromiográficas. El factor intersujeto fue el tipo de entrenamiento (2 niveles: 10% y 30% de pérdida en MPV). Todos los datos se presentan como

media \pm error típico y tamaño del efecto (ES). Se consideró un ES como magnitud que determinan un efecto trivial (<0.25); pequeño (0.25-0.5); moderado (0.5-1) y elevado (>1) (Rhea, 2004). La significación estadística fue considerada para $p < 0.05$.

Normalización y agrupamiento de sujetos.

Los valores hormonales fueron normalizados respecto a la primera determinación en cada valoración mediante la función:

$$100 * (x_n/x_0) - 100$$

Para categorizar a un sujeto como “respondedor” la suma total de cada una de las determinaciones hormonales de cada valoración debían ser mayores a cero, en caso contrario se categorizaba como “no respondedor”.



Resultados

Los datos descriptivos de cada una de las variables en la prueba de press de banca lanzado en los tres momentos de evaluación se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Datos descriptivos de la evolución de los grupos en cada evaluación (M \pm ET).

	T1	T2	T3
G10			
(n=6) 1RM (Kg)	82.14 \pm 6.93	80.00 \pm 6.81	87.86 \pm 6.71
PP (%)	40.00 \pm 2.75	38.57 \pm 3.97	35.71 \pm 2.48
PP (W)	733.29 \pm 62.66	782.43 \pm 64.03	827.43 \pm 57.58
PP (Kg)	33.43 \pm 4.38	30.79 \pm 2.84	31.21 \pm 1.69
Vol opt (rep)	6.43 \pm 1.19	9.57 \pm 1.04	9.29 \pm 1.36
Lanz 7 m (km/h)	82.71 \pm 2.60	85.14 \pm 2.86	84.86 \pm 2.75
Lanz 9 m (km/h)	84.57 \pm 2.61	83.00 \pm 2.64	83.71 \pm 2.61
G30			
(n=8) 1RM (Kg)	80.63 \pm 6.48	79.56 \pm 6.37	89.06 \pm 6.27
PP (%)	38.75 \pm 2.57	42.50 \pm 3.72	33.75 \pm 2.32
PP (W)	682.88 \pm 58.61	743.88 \pm 59.90	828.63 \pm 53.86
PP (Kg)	32.00 \pm 4.10	32.56 \pm 2.66	29.31 \pm 1.58
Vol opt (rep)	8.88 \pm 1.11	8.50 \pm 0.97	10.13 \pm 1.27
Lanz 7 m (km/h)	82.00 \pm 2.44	84.13 \pm 2.67	83.75 \pm 2.57
Lanz 9 m (km/h)	83.50 \pm 2.44	85.38 \pm 2.47	85.63 \pm 2.44

PP = Pico de potencia.

Respuesta fisiológica y perfiles hormonales.

Las concentraciones de cortisol salival mostraron cambios de tendencia al comprar la valoración inicial con la intermedia y final sin significación estadística. Esto se tradujo en cambios de los perfiles hormonales de algunos jugadores, categorizados como “respondedores”, y que a lo largo de la intervención orientaron la secreción hormonal hacia “no respondedores” y viceversa (Tabla 20).

		Inicial	Intermedia	Final
G10	Respondedores	3	1	1
	No respondedores	3	5	5
G30	Respondedores	4	3	1
	No respondedores	4	5	7

Aun asumiendo los cambios de perfiles hormonales durante la diferentes valoraciones, especialmente a partir del entrenamiento de hipertrofia donde la mayoría de los sujetos tienden a perfiles “no respondedores”, la clasificación de los sujetos según la respuesta hormonal en la valoración inicial muestra diferencias en la mejora de las variables de 1RM (Figura 12) y vatios de potencia en el PP (Figura 13).

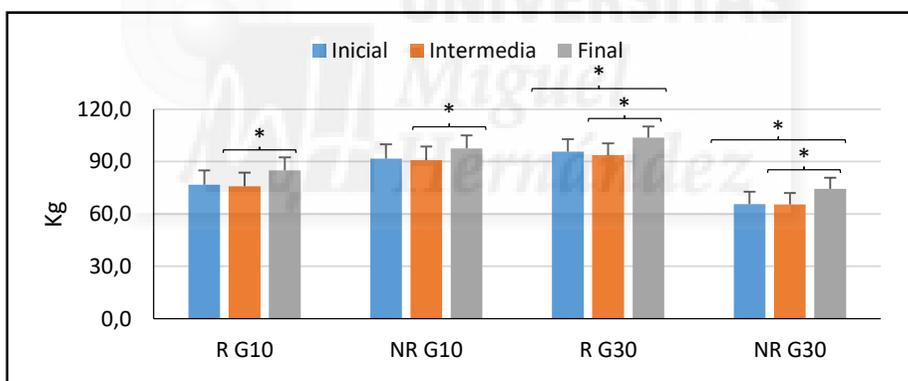


Figura 12. Resultados, en cada valoración, de la variable 1RM agrupada por respuesta hormonal (R = Respondedores; NR = No respondedores) y tipo de entrenamiento (G10 y G30) (* $p < 0.05$).

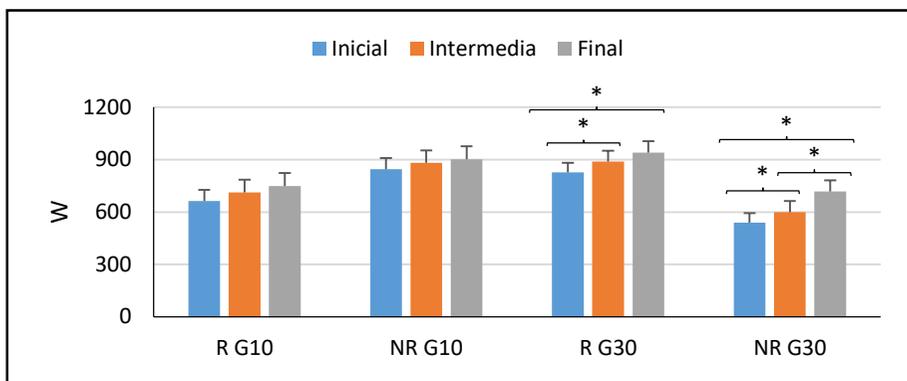


Figura 13. Resultados, en cada valoración, de la variable vatios en el pico de potencia agrupada por respuesta hormonal (R = Respondedores; NR = No respondedores) y tipo de entrenamiento (G10 y G30) (* $p < 0.05$).

No obstante, dada las limitaciones del tamaño muestral, la tendencia de cambio de la respuesta hormonal tras la evaluación intermedia y el cumplimiento del criterio de esfericidad en el agrupamiento únicamente por tipo de entrenamiento VBRT, presentaremos y discutiremos los datos en función del análisis ANOVA distinguiendo únicamente por dicha agrupación.

En este sentido, los tamaños del efecto en la concentración hormonal sólo mostraron que las dos últimas determinaciones (serie 8 y 10) de la valoración final del grupo G10 fueron significativamente inferiores respecto al valor basal de dicha valoración. Ambos grupos mostraron tendencias similares sin diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 21).

Tabla 21. Concentraciones de Sal-C ($\mu\text{g}/\text{dL}$) por grupo y serie.

	Inicial		Intermedio		Final		
	Post	ES	Post	ES	Post	ES	
G10	Serie 02	0.22 ± 0.08	-0.23 (-1.47; 1.02)	0.16 ± 0.05	0.15 (-1.09; 1.40)	0.22 ± 0.05	-0.04 (-1.28; 1.20)
	Serie 04	0.22 ± 0.08	-0.21 (-1.45; 1.03)	0.16 ± 0.04	0.16 (-1.08; 1.40)	0.15 ± 0.04	1.18 (-0.17; 2.52)
	Serie 06	0.22 ± 0.07	-0.23 (-1.47; 1.02)	0.15 ± 0.04	0.27 (-0.97; 1.52)	0.17 ± 0.04	1.32 (-0.05; 2.69)
	Serie 08	0.21 ± 0.06	-0.12 (-1.36; 1.12)	0.15 ± 0.04	0.27 (-0.97; 1.52)	0.17 ± 0.03	1.58 (0.16; 2.99)
	Serie 10	0.20 ± 0.05	-0.01 (-1.25; 1.23)	0.15 ± 0.03	0.27 (-0.97; 1.52)	0.17 ± 0.03	1.58 (0.16; 3.00)
G30	Serie 02	0.28 ± 0.06	-0.42 (-1.41; 0.57)	0.10 ± 0.04	0.06 (-0.92; 1.04)	0.13 ± 0.04	0.28 (-0.71; 1.26)
	Serie 04	0.26 ± 0.06	-0.34 (-1.32; 0.65)	0.09 ± 0.03	0.16 (-0.82; 1.14)	0.11 ± 0.03	0.37 (-0.62; 1.35)
	Serie 06	0.25 ± 0.05	-0.32 (-1.30; 0.67)	0.10 ± 0.03	0.07 (-0.92; 1.05)	0.10 ± 0.03	0.47 (-0.52; 1.46)
	Serie 08	0.25 ± 0.05	-0.28 (-1.26; 0.71)	0.09 ± 0.03	0.21 (-0.77; 1.19)	0.10 ± 0.03	0.52 (-0.48; 1.52)
	Serie 10	0.24 ± 0.04	-0.24 (-1.22; 0.75)	0.08 ± 0.03	0.25 (-0.73; 1.23)	0.10 ± 0.02	0.54 (-0.46; 1.54)

Los ES están calculados comparando cada uno de los valores post de la serie indicada con el valor basal en cada protocolo: Inicial (G10: 0.20 ± 0.04 y G30: 0.21 ± 0.03), Intermedio (G10: 0.18 ± 0.05 y G30: 0.11 ± 0.04) y Final (G10: 0.21 ± 0.05 y G30: 0.17 ± 0.04). No se encontraron diferencias en la comparación entre grupos.

No se encontraron diferencias entre grupos ni entre valoraciones en la producción de lactato a pesar de mostrarse un incremento desde la valoración inicial hasta final (Tabla 22).

Tabla 22. Concentraciones de Lactato (mmol/dL) por grupo y serie (M ± ET).

	Inicial	Intermedio	Final
G10			
Pre	1.33 ± 0.26	1.10 ± 0.11	0.80 ± 0.12
Serie 2	4.97 ± 0.45 **	4.52 ± 0.37 **	5.13 ± 0.39 **
Serie 4	5.30 ± 0.46 **	5.67 ± 0.43 **	5.73 ± 0.43 **
Serie 6	5.33 ± 0.49 **	5.17 ± 0.49 **	6.12 ± 0.43 **
Serie 8	5.67 ± 0.53 **	5.37 ± 0.57 **	5.75 ± 0.51 **
Serie 10	5.63 ± 0.52 **	5.28 ± 0.70 **	6.48 ± 0.51 **
G30			
Pre	1.13 ± 0.23	0.84 ± 0.12	0.84 ± 0.10
Serie 2	4.24 ± 0.39 **	4.38 ± 0.39 **	5.19 ± 0.32 **
Serie 4	4.68 ± 0.40 **	4.93 ± 0.43 **	5.76 ± 0.37 **
Serie 6	4.79 ± 0.42 **	5.15 ± 0.43 **	5.81 ± 0.43 **
Serie 8	5.30 ± 0.46 **	5.34 ± 0.51 **	6.05 ± 0.49 **
Serie 10	4.83 ± 0.45 **	4.95 ± 0.51 **	5.91 ± 0.60 **

*ANOVA de medidas repetidas de dos vías con seis (determinaciones de lactato) y tres (momentos de evaluación) niveles y un factor inter-sujeto de dos niveles. **p<0.01 respecto valoración Pre en cada grupo. No se encontraron diferencias en la comparación entre grupos.*

Variabes mecánicas

Los niveles de fuerza (Figura 14) mejoraron significativamente en los dos grupos (G10 y G30) descendiendo el pico de potencia (Figura 15) en relación al porcentaje de 1RM dónde se obtuvo PP para ambos grupos. Sin embargo, los vatios generados (Figura 16) en dicho pico se incrementaron de forma significativa para ambos grupos.

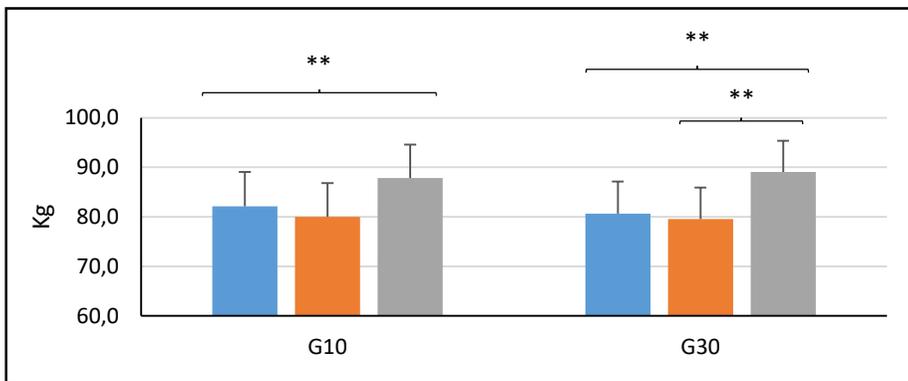


Figura 14. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de la variable IRM (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

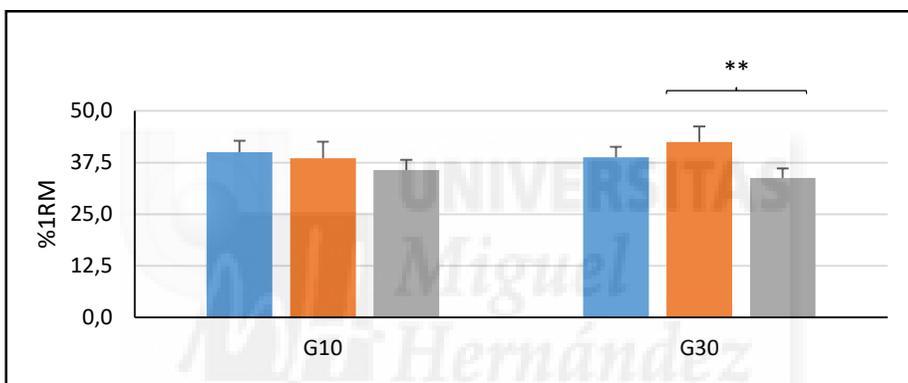


Figura 15. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) del porcentaje del pico de potencia (** $p < 0.01$).

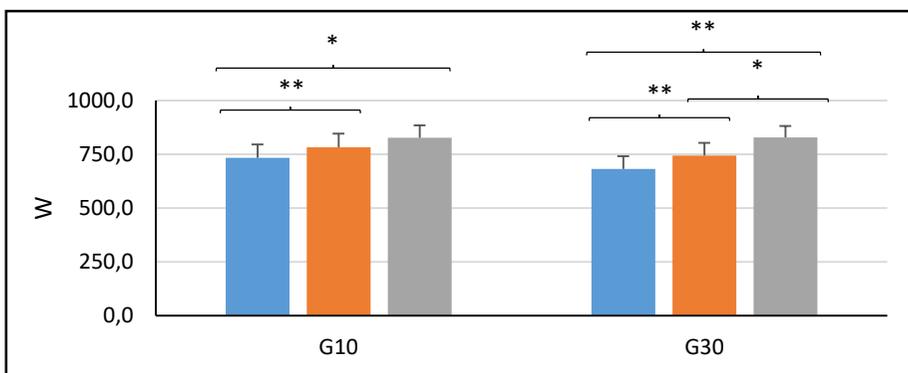


Figura 16. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de los vatios en el pico de potencia (* $p < 0.05$; ** $p < 0.01$).

No obstante, a pesar de la mejora en los niveles de fuerza y potencia, no se observaron cambios estadísticamente significativos en la cantidad de repeticiones óptimas (Figura 17) aun habiéndose incrementado en cada grupo. El análisis estadístico tampoco mostró diferencia en la velocidad de lanzamiento desde 7 m y 9 m (Figura 18 y 19).

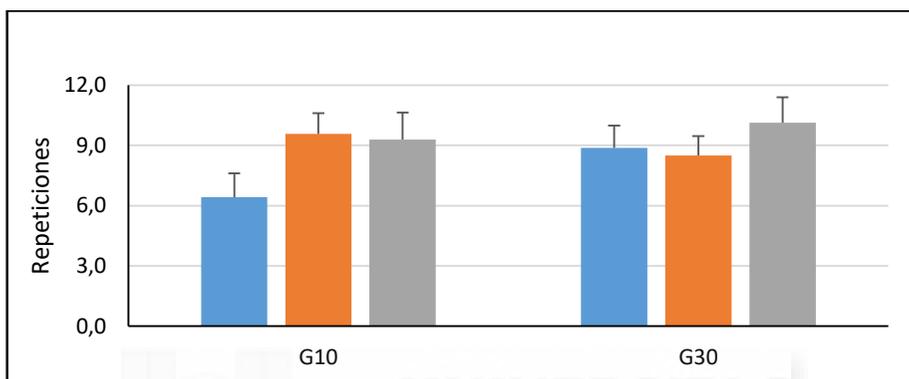


Figura 17. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de las repeticiones óptimas.

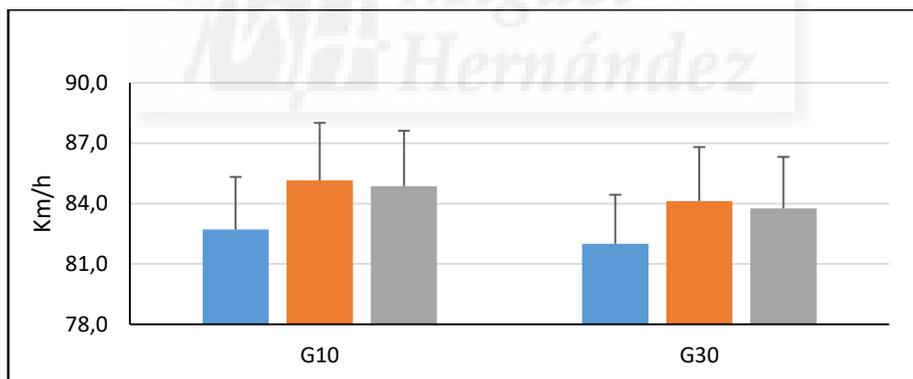


Figura 18. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de la máxima velocidad de lanzamiento desde 7 m.

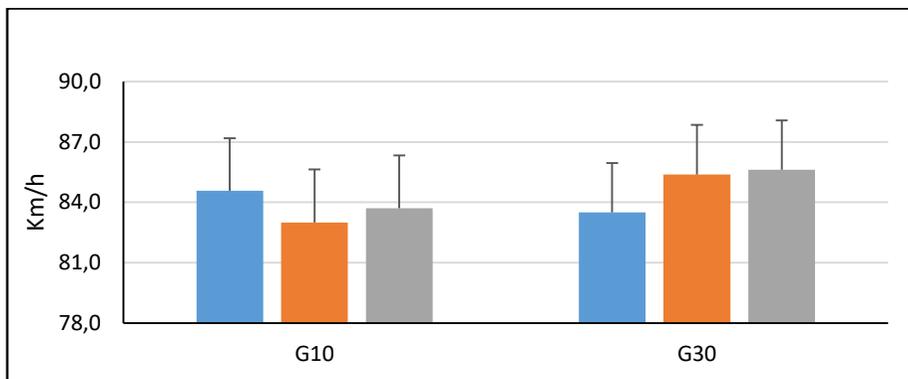


Figura 19. Valores de las evaluaciones inicial (azul), intermedia (naranja) y post intervención (gris) de la máxima velocidad de lanzamiento desde 9 m.

Función neuromuscular

La activación muscular tampoco obtuvo diferencias significativas entre el grupo G10 y G30. No obstante, sí mostró cambios significativos en las determinaciones pre-post dentro de cada valoración. Sólo el grupo G30 mostró cambios en algunos valores pre y post de la valoración intermedia y final en comparación con los valores pre y post inicial (Tabla 23).

Tabla 23. Porcentaje de activación muscular (%MVC) en las tareas isométricas antes y después del test (M ± ET).

	Inicial			Intermedia			Final			
	Pre	Post	p	Pre	Post	p	Pre	Post	p	
G10										
Amplitud media	DAD	11.46 ± 4.96	16.64 ± 5.88	0.069	12.33 ± 2.35	20.16 ± 4.51	0.013	11.54 ± 1.57	18.18 ± 2.47	0.005
	PED	11.75 ± 4.07	14.01 ± 6.10	0.414	8.62 ± 3.14	13.35 ± 2.63	0.002	9.42 ± 1.83	17.17 ± 2.61	0.000
	TRD	14.08 ± 3.24	22.29 ± 5.25	0.016	9.73 ± 3.05	16.41 ± 4.85	0.034	9.09 ± 1.93	12.93 ± 2.92	0.018
Frecuencia media	DAD	69.90 ± 5.08	75.87 ± 5.53	0.013	65.40 ± 3.84	67.95 ± 4.53	0.132	73.46 ± 4.67	79.44 ± 5.39	0.053
	PED	48.57 ± 5.20	50.58 ± 6.09	0.400	44.52 ± 4.44	47.17 ± 5.46	0.136	41.34 ± 3.25	45.47 ± 4.18	0.084
	TRD	68.80 ± 6.37	70.42 ± 6.45	0.435	63.74 ± 4.16	68.42 ± 5.05	0.143	66.12 ± 4.69	65.82 ± 4.70	0.877
G30										
Amplitud media	DAD	17.81 ± 4.29	24.97 ± 5.09	0.008	16.49 ± 2.03	23.74 ± 3.90	0.009	15.09 ± 1.36	18.50 ± 2.14	0.066
	PED	13.20 ± 3.53	20.55 ± 5.28	0.008	15.37 ± 2.72	20.80 ± 2.28	0.000	10.94 ± 1.58	14.50 ± 2.26	0.005
	TRD	16.85 ± 2.81	23.64 ± 4.55	0.020	9.30 ± 2.64*	12.08 ± 4.20	0.274	8.14 ± 1.67*	13.36 ± 2.53	0.001
Frecuencia media	DAD	74.79 ± 4.40	79.44 ± 4.79	0.023	70.94 ± 3.33	72.11 ± 3.92	0.408	73.35 ± 4.04	75.10 ± 4.67	0.483
	PED	51.25 ± 4.50	53.65 ± 5.27	0.253	43.82 ± 3.85*	44.77 ± 4.73*	0.520	45.25 ± 2.81	49.62 ± 3.62	0.040
	TRD	65.08 ± 5.51	64.61 ± 5.58	0.792	69.95 ± 3.60	68.13 ± 4.38	0.497	69.39 ± 4.06	69.41 ± 4.07	0.992

ANOVA de medidas repetidas de dos vías con dos (pre-post) y tres (momento de evaluación) niveles y un factor inter-sujeto de dos niveles.

*p<0.05 respecto misma variable en valoración inicial.

Discusión

Uno de los principales problemas que encuentran los entrenadores a la hora de programar los entrenamientos es la idoneidad para ajustar a los horarios de disponibilidad de las instalaciones y periodos de competición las diferentes combinaciones de carga y, el identificar la dosis entrenamiento-respuesta óptimo para sus jugadores minimizando la acumulación de fatiga y maximizando el rendimiento. Pocos estudios han abordado la evolución de variables de rendimiento tras el entrenamiento de distintos programas de fuerza basado en la velocidad (Pareja-Blanco et al., 2016). El objetivo de nuestro estudio fue identificar qué criterio de rendimiento, en un programa de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad dentro de un ciclo real de entrenamiento de fuerza en jugadores semiprofesionales de balonmano, es el más idóneo para maximizar los resultados, minimizando la fatiga e identificando los cambios que se produciría en la respuesta endocrina, activación muscular y rendimiento en el lanzamiento a portería.

Respuesta fisiológica y perfiles hormonales.

Una de la hipótesis formuladas por Viru et al. (2001) proponía la secreción de glucocorticoides como característica distintiva del rendimiento de los deportistas. En este estudio hemos observado que parece existir cierto patrón de comportamiento en la secreción de cortisol y es susceptible de modificación con el entrenamiento (Tabla 20). Al igual que Hiscock, Dawson, Clarke, y Peeling (2017), quienes han documentado que el entrenamiento de potencia y fuerza máxima reduce considerablemente la concentración de cortisol salival tomada inmediatamente después de finalizar el entrenamiento, nosotros observamos esa misma tendencia durante las determinaciones hormonales en las valoraciones de todos los sujetos caracterizados como no respondedores. Sin embargo, el número de sujetos con este tipo de respuesta aumenta según se completan los periodos de

entrenamiento, concretamente tras el entrenamiento de hipertrofia. Quizás esto esté motivado por una adaptación del eje HHA y la tolerancia al estrés físico se haya visto incrementada en los sujetos considerados como respondedores, modificándose la capacidad de rendimiento de los deportistas en este tipo de esfuerzo probablemente debido a cambios inducidos por el entrenamiento en los procesos inflamatorios (Forti et al., 2017).

No obstante, atendiendo a la clasificación de los sujetos en función de su respuesta hormonal (Figura 12 y 13) en la valoración inicial, en las variables de rendimiento observamos que el grupo de “no respondedores” que entrenaron bajo el criterio de 30% de pérdida de velocidad en el entrenamiento VBRT mostraron mejoras en los vatios de potencia desarrollados en el PP en comparación con el grupo que entrenó con un 10% de pérdida de velocidad respecto a la valoración intermedia y final, sugiriendo, que este grupo quizás necesita un criterio de rendimiento mayor para provocar mejoras. Pero debemos ser prudentes en la interpretación, ya que los datos podrían estar sesgados por importantes limitaciones metodológicas. Por lo tanto, dado el escaso tamaño muestral para comparar entre respondedores y no respondedores, la variación de los perfiles hormonales y la homogeneidad entre las varianzas obtenida en el análisis según la agrupación entre protocolos de entrenamiento, discutiremos los resultados en función del tipo de entrenamiento VBRT realizado.

En este sentido, las concentraciones de lactato entre valoraciones muestran una mayor disponibilidad de este sustrato energético para su utilización (Battezzati et al., 2004) aunque este incremento no se muestra significativo entre valoraciones ni grupos. No obstante, altas lactacidemias están asociadas a perfiles de mayor rendimiento físico en disciplinas con altos requerimientos de fuerza (García-Pallarés, López-Gullón, Muriel, Díaz, y Izquierdo, 2011; Michalsik, Madsen, y Aagaard, 2015)

Variabes mecánicas.

En este estudio se midieron como variables de rendimiento la carga levantada en 1RM, carga relativa y vatios generados en el pico de potencia, repeticiones óptimas y velocidad de lanzamiento en 7 m y 9 m. Nuestros resultados indican incrementos significativos en las variables de 1RM (Figura 14) y vatios producidos en el pico de potencia (Figura 16) desde la valoración inicial a la final en ambos grupos sin identificarse diferencias entre ellos en ninguno de los tres momentos de valoración. Concretamente, los valores de 1RM descienden tras la aplicación del entrenamiento de 12 sesiones de hipertrofia contrariamente a lo que indican algunos autores (Schoenfeld, Peterson, Ogborn, Contreras, y Sonmez, 2015). Esto puede ser debido a que al periodo de descanso fue insuficiente (48-72h), desde la última sesión de hipertrofia hasta la sesión de evaluación, de modo que los deportistas aún podrían estar fatigados. Probablemente, esta fatiga pueda estar, también, influenciada por el propio carácter ecológico de la intervención, ya que la disponibilidad horaria, calendario de competición y entrenamientos técnico-tácticos y dedicación semiprofesional de los jugadores, lo que conlleva jornadas laborales completas antes de los entrenamientos, condicionaban la ubicación de las sesiones de evaluación y, además, suponían carga de entrenamiento y fatiga adicional a lo programado en esta intervención, la cual fue asumida como equiparable en todos los jugadores.

Los valores de potencia alcanzados al final de la intervención fueron significativamente superiores a los mostrados en la valoración inicial e intermedia en los dos grupos, pero sin diferencia entre ellos. Además, el porcentaje de 1RM dónde se encontraron (Figura 15) descendió en ambos grupos, de manera que las mejoras en la generación de mayores vatios pueden ser vinculadas al incremento de la velocidad de ejecución.

Sin embargo, las repeticiones óptimas (Figura 17) y velocidades de lanzamiento (Figura 18 y 19) mejoraron en ambos grupos, pero no mostraron diferencias significativas entre valoraciones ni entre grupos. A diferencia de los datos aportados por Pareja-Blanco et al. (2016), no encontramos que ningún porcentaje de pérdida de velocidad derive en un detrimento de la fuerza explosiva, por lo que podríamos considerar que existiera un porcentaje de pérdida de velocidad crítico, entre el 30% y 40% respecto a la mejor MPV, en el que las adaptaciones se orienten de manera diferenciada a nivel estructural y/o neural, ya que Pareja-Blanco et al. (2016) sí encontraron diferencia en las adaptaciones en tareas de carácter explosivo tras una intervención con pérdidas de velocidad del 20% y 40% MPV.

Función neuromuscular.

En relación a la función neuromuscular (Tabla 23) y los marcadores de fatiga habitualmente utilizados en la literatura (Georgakis et al., 2003; Masuda et al., 1999), no encontramos diferencias para ninguna de las valoraciones en cuanto a la frecuencia media se refiere. Observamos un incremento, no significativo, de la frecuencia media en todos los grupos musculares registrados, posiblemente mediado por tres razones: un mayor reclutamiento de MU's (Gerdle et al., 1990) en la valoración post como consecuencia del entrenamiento, respuesta característica de las contracciones realizadas durante el test (Linnamo et al., 2000) o bien, por la dependencia de la frecuencia media con determinados niveles de contracción muscular (Hagberg y Ericson, 1982). No obstante, la amplitud media de la señal EMG presenta un comportamiento clásicamente identificado con la fatiga neural. La amplitud corresponde a la suma de los potenciales de acción de las MU's, sin embargo, los cambios en las fases positivas y negativas de estos potenciales pueden verse influenciadas (Dideriksen et al., 2010; Keenan, Farina, Merletti, y Enoka, 2006) por los cambios que se producen en el musculo durante las contracciones submáximas sostenidas, de modo que, la amplitud podría ser

indicador de, por ejemplo, la acumulación de potasio en el espacio extracelular puesto que influye tanto en la velocidad a la que se propagan los potenciales de acción intracelular a lo largo de las fibras musculares como en la amplitud y duración de los potenciales de acción en la unidad motora (Dimitrova y Dimitrov, 2003; Farina, Pozzo, Merlo, Bottin, y Merletti, 2004; Gazzoni, Camelia, y Farina, 2005; Houtman, Stegeman, Van Dijk, y Zwarts, 2003; Klaver-Król et al., 2007).

Por lo tanto, los entrenadores deberían usar esta información para planificar las cargas de entrenamiento de sus deportistas en un entorno real de entrenamiento. Ya que un criterio de rendimiento más exigente para VBRT, en relación a la pérdida de velocidad lo que supondría un aumento del carácter del esfuerzo y del volumen de entrenamiento (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011), no parece propiciar mayores incrementos de fuerza, siendo suficiente una pérdida de la MPV del 10% respecto a las 3 primeras repeticiones. De este modo, se optimizarían los tiempos de entrenamiento, ya que en la mayoría de las ocasiones los horarios de acceso para la utilización de las instalaciones son limitados o compartidos disminuyendo sustancialmente el tiempo útil de práctica. Además, debemos contemplar para futuras investigaciones la posibilidad de que la respuesta hormonal al entrenamiento pudiera modular la idoneidad de utilización de pérdidas de velocidad mayores.

Conclusión

Este estudio sugiere que la respuesta de Sal-C puede ser modificada con el entrenamiento por un posible aumento de la capacidad de trabajo y que la función neuromuscular es específica de la actividad que se realiza independientemente de la carga de entrenamiento acumulada. Además, las mejoras producidas por el VBRT con un 10% de MPV son similares a un criterio con mayor pérdida de velocidad, por lo tanto, tener en cuenta estos parámetros puede optimizar los beneficios y tiempos de entrenamiento.



Conclusiones Finales

Conclusiones finales.

Las conclusiones derivadas de los tres estudios realizados en la presente tesis son las siguientes:

1. La concentración de Sal-C parece ser independiente de la intensidad y el volumen de entrenamiento.
2. Los cambios de dicha concentración es individual y podrían determinarse perfiles de respuesta ante un esfuerzo determinado.
3. Estos perfiles parecen modificarse con el entrenamiento de fuerza con repeticiones próximas al fallo mecánico.
4. El agrupamiento por perfiles de respuesta hormonal muestra diferencias en 1RM relativizada a la masa muscular, lactacidemias, actividad neuromuscular y saturación de oxígeno en el tejido muscular.
5. La actividad neuromuscular en un test de fatiga submáximo de 30 s parece ser específica de cada tarea independientemente de la carga de trabajo acumulada.
6. El entrenamiento VBRT con una pérdida de velocidad del 10% en comparación con el 30%, produce similares aumentos en la masa movilizada en el 1RM, descenso del porcentaje donde se encuentra el pico de potencia e incremento de los vatios generados en dicho pico.



Epilogo

Los estudios incluidos en esta tesis han ayudado a determinar si el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad produce similares niveles de estrés metabólico y fatiga neural que los métodos de entrenamiento convencionales. Además de examinar los efectos del entrenamiento con diferentes niveles de exigencia (modulado por la pérdida de velocidad) en el rendimiento deportivo.

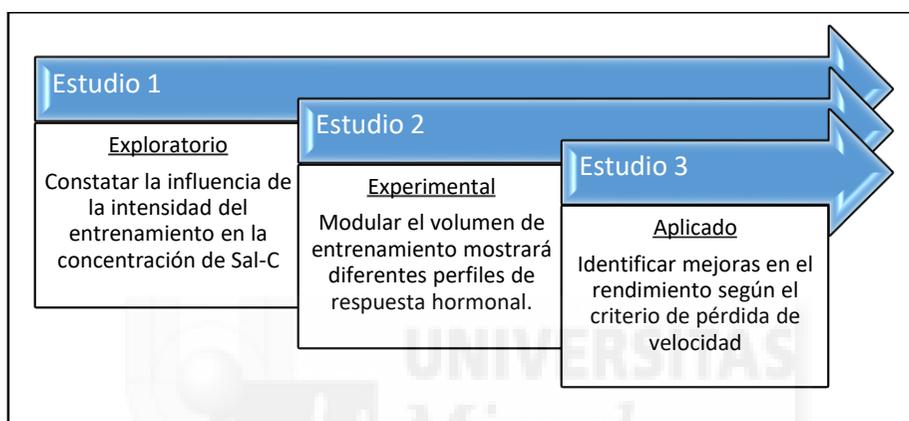


Figura 20. Representación gráfica de los objetivos de cada estudio en esta tesis.

Principales Aportaciones

Las principales contribuciones de esta tesis se resumen en los siguientes apartados:

- ☒ Se rechaza la hipótesis 1: *El uso de altos porcentajes de 1RM producirá un mayor aumento de la concentración salival de cortisol* (Jacks et al., 2002; McGuigan et al., 2004). Ya que el estrés metabólico parece mostrarse independiente a la modulación de las variables intensidad y volumen del entrenamiento, entendidas como el porcentaje de 1RM y tiempo de esfuerzo respectivamente, siendo inherente a las características de cada individuo (Estudios 1 y 2).

- Se rechaza la hipótesis 2: *La curva de concentración salival de cortisol permitirá confirmar la existencia de un umbral hormonal en respuesta al esfuerzo* (Hill et al., 2008). No se ha observado ningún cambio que permita sospechar de la existencia de un umbral hormonal de respuesta al entrenamiento de fuerza. De hecho, no parece existir relación entre la secreción hormonal y la fatiga en el entrenamiento de fuerza (Estudios 1, 2 y 3).
- Conclusión incierta en la hipótesis 3: *La respuesta hormonal aguda es característica de cada individuo y puede perfilarse en función del esfuerzo realizado* (Viru et al., 2001). Parece confirmarse la existencia de perfiles hormonales, sin embargo estos son inherentes a cada individuo e independiente del esfuerzo realizado. Además, a pesar de no encontrarse diferencias significativas, la secreción de cortisol, lactacidemias, función neuromuscular y saturación de oxígeno muscular podría usarse para perfilar y discriminar la capacidad de adaptación de los deportistas a un entrenamiento específico. (Estudios 2 y 3)
- Se rechaza la hipótesis 4: *El volumen del entrenamiento, entendido como tiempo bajo tensión mecánica, aumentará los niveles de cortisol salival cuanto mayor sea la exposición del sujeto al esfuerzo físico*. (Goto et al., 2009). Debido a que nuestro planteamiento contemplaba un incremento del tiempo bajo tensión como un mayor carácter del esfuerzo concluimos que los mecanismos desencadenantes de la fatiga en el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad podrían no ser explicados por la secreción de cortisol. (Estudios 2 y 3)
- Se rechaza la hipótesis 5: *Los cambios en la respuesta neuromuscular serán proporcionales a la repuesta hormonal al ejercicio* (Viru et al.,

2001). No se han observado cambios en ambas variables que permitan determinar una dependencia recíproca (Estudios 2 y 3)

- Conclusión incierta en la hipótesis 6: *Entrenar con una pérdida del 10% de la velocidad producirá mayores ganancias de fuerza en el ejercicio de press de banca lanzado, mayor número de repeticiones óptimas y mejor rendimiento en lanzamiento de 7 y 9 m de balonmano.* (Pareja-Blanco et al., 2016). Aun no existiendo una mejora estadísticamente significativa respecto a un entrenamiento con mayor pérdida de velocidad, consideramos que la optimización del tiempo de entrenamiento es un factor suficiente para determinar la idoneidad de un criterio de 10% de pérdida de velocidad. (Estudio 3)
- Se rechaza la hipótesis 7: *Entrenar con una pérdida del 30% de velocidad producirá una menor tasa de producción de lactato y menor fatiga neuromuscular* (Callewaert et al., 2013; Messonnier et al., 2013). Aun existiendo valores diferentes de lactacidemia y activación muscular estos no se muestran significativamente diferentes entre grupos de entrenamiento. (Estudio 3)
- Conclusión incierta en la hipótesis 8: *Entrenar con una pérdida del 30% de la velocidad producirá una menor respuesta hormonal aguda ante un mismo estímulo de entrenamiento* (Schwarz et al., 2011). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre valoraciones y grupos. No obstante, los valores absolutos podrían sugerir la refutación de la hipótesis para lo cual será necesario aumentar el tamaño muestral y minimizar el impacto de otros entrenamientos. (Estudio 3)

Limitaciones y Futuras Líneas de Investigación

Las principales limitaciones de la presente tesis pueden ser utilizadas como punto de partida para futuros estudios:

- **Respuesta en ejercicios con mayor implicación muscular.** En la literatura se muestra que los ejercicios con mayor implicación muscular tienen mayor respuesta fisiológica (Migiano et al., 2010). Sin embargo, sería interesante comprobar si ese comportamiento se mantiene al realizar un entrenamiento de fuerza basado en la velocidad puesto que, si se mantuviera dicha influencia, permitiría discernir qué ejercicios serían los más idóneos para este tipo de investigaciones, ya que una mayor respuesta fisiológica podría presentar un amplio espectro de perfiles fácilmente identificables.
- **Realizar estudios con sujetos de un alto nivel de desarrollo de la fuerza o de disciplinas deportivas claramente dependientes del nivel de desarrollo de la fuerza.** Ya que en el estudio 2 de esta tesis se muestra que los sujetos considerados como “respondedores” muestran una capacidad de rendimiento superior, quizás el análisis de los perfiles de respuesta fisiológica en deportistas o modalidades deportivas con altos requerimiento de fuerza (p.e. Halterofilia) pudiera ser determinante para la identificación de aquellos deportistas con mayor potencial e incluso identificar qué tipo de entrenamiento sería el más adecuado según las características de cada sujeto.
- **Explicar los mecanismos que subyacen en el incremento de la frecuencia media en la EMG tras el entrenamiento VBRT.** Dado que en los análisis de la señal EMG de esta tesis hemos observado, al igual

que Linnamo et al. (2000) en entrenamiento de potencia y fuerza máxima, un incremento de la frecuencia media de la señal EMG, clásicamente asumida, pero no contrastada, como un incremento del reclutamiento de motoneuronas, sería interesante realizar estudios con excitación artificial de las unidades motoras para determinar si efectivamente sucede dicho reclutamiento con determinados tipos de contracciones en situaciones de fatiga inducida.

- **Estudiar los cambios en los patrones de secreción de cortisol y mejoras del rendimiento.** La posible relación entre la secreción hormonal y la capacidad de adaptación al entrenamiento sería un tema importante a comprender, puesto que permitiría determinar la idoneidad de la tipología de entrenamiento y/o deportista. Para ello se debería confirmar en primer lugar la existencia de los perfiles de respuesta hormonal y, en segunda instancia someter a los sujetos a diferentes programas de entrenamiento monitorizando la evolución de su capacidad de rendimiento y la modificación de dichos perfiles. No obstante, recientemente se ha referenciado influencias de la restricción calórica en la nutrición sobre la excitabilidad del eje HHA en respuesta al entrenamiento de fuerza (Durguerian, Filaire, Drogou, Bougard, y Chennaoui, 2017) por lo que convendría comprender bien esta relación dosis-respuesta para estandarizar los protocolos y bloquear dicha influencia.



Referencias Bibliográficas

Referencias Bibliográficas

- Aagaard, P., Magnusson, P. S., Larsson, B., Kjær, M., y Krstrup, P. (2007). Mechanical muscle function, morphology, and fiber type in lifelong trained elderly. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(11), 1989-1996.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., y Dyhre-Poulsen, P. (2002a). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326.
- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., y Dyhre-Poulsen, P. (2002b). Neural adaptation to resistance training: changes in evoked V-wave and H-reflex responses. *Journal of Applied Physiology*, 92(6), 2309-2318.
- Abdessemed, D., Duché, P., Hautier, C., Poumarat, G., y Bedu, M. (1999). Effect of recovery duration on muscular power and blood lactate during the bench press exercise. *International journal of sports medicine*, 20(06), 368-373.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., y Häkkinen, K. (2003). Muscle hypertrophy, hormonal adaptations and strength development during strength training in strength-trained and untrained men. *European journal of applied physiology*, 89(6), 555-563.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Alen, M., Kraemer, W. J., y Kkinen, K. H. (2005). Short vs. Long rest period between the sets hormonal adaptations in trained men. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 572-582.
- Al-Mulla, M. R., Sepulveda, F., y Colley, M. (2011). A review of non-invasive techniques to detect and predict localised muscle fatigue. *Sensors*, 11(4), 3545-3594.
- Allen, D. G., Lamb, G. D., y Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiological reviews*, 88, 287-332. doi: 10.1152/physrev.00015.2007
- Asmussen, E. (1979). Muscle fatigue. *Medicine and science in sports*, 11(4), 313.
- Azuma, K., Homma, S., y Kagaya, A. (2000). Oxygen supply-consumption balance in the thigh muscles during exhausting knee-extension exercise. *Journal of Biomedical Optics*, 5(1), 97-101.
- Babault, N., Desbrosses, K., Fabre, M.-S., Michaut, A., y Pousson, M. (2006). Neuromuscular fatigue development during maximal concentric and isometric knee extensions. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 780-785.

REFERENCIAS

- Bae, S., Yasukochi, S., Kan, K., Sasaki, M., Koseki, S., Hamaoka, T., . . . Haga, S. (1996). Changes in oxygen content and blood volume in working skeletal muscle up to maximal exercise by near infrared spectroscopy. *Therapeutic Res*, 17(6), 129-136.
- Baker, D., Nance, S., y Moore, M. (2001). The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, 15, 20-24.
- Battezzati, A., Caumo, A., Martino, F., Sereni, L. P., Coppa, J., Romito, R., . . . Mazzaferro, V. (2004). Nonhepatic glucose production in humans. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 286(1), E129-E135.
- Baudry, S., Klass, M., Pasquet, B., y Duchateau, J. (2007). Age-related fatigability of the ankle dorsiflexor muscles during concentric and eccentric contractions. *European journal of applied physiology*, 100(5), 515-525.
- Behm, D. G., y Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of Applied Physiology*, 74(1), 359-368.
- Blazevich, A. J., y Jenkins, D. G. (2002). Effect of the movement speed of resistance training exercises on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *Journal of sports sciences*, 20(12), 981-990.
- Bobbert, M. F., y Casius, L. (2005). Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Medicine and science in sports and exercise*, 37(3), 440-446.
- Bojsen-Møller, J., Magnusson, S. P., Rasmussen, L. R., Kjaer, M., y Aagaard, P. (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 986-994.
- Booth, M. A., y Orr, R. (2016). Effects of Plyometric Training on Sports Performance. *Strength & Conditioning Journal*, 38(1), 30-37.
- Borgenvik, M., Apró, W., y Blomstrand, E. (2012). Intake of branched-chain amino acids influences the levels of MAFbx mRNA and MuRF-1 total protein in resting and exercising human muscle. *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, 302, E510-521. doi: 10.1152/ajpendo.00353.2011
- Borst, S. E., De Hoyos, D. V., Garzarella, L., Vincent, K., Pollock, B. H., Lowenthal, D. T., y Pollock, M. L. (2001). Effects of resistance training on insulin-like growth factor-I and IGF binding proteins. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(4), 648-653.
- Bosco, C., Montanari, G., TARKKAI, I., Latteri, F., Cozzi, M., Iachelli, G., . . . ROSA, M. (1987). The effect of pre-stretch on mechanical efficiency of

- human skeletal muscle. *Acta physiologica scandinavica*, 131(3), 323-329.
- Buller, A., Eccles, J., y Eccles, R. M. (1960). Interactions between motoneurons and muscles in respect of the characteristic speeds of their responses. *J Physiol*, 150(2), 417.
- Burd, N. A., Andrews, R. J., West, D. W., Little, J. P., Cochran, A. J., Hector, A. J., . . . Phillips, S. M. (2012). Muscle time under tension during resistance exercise stimulates differential muscle protein sub-fractional synthetic responses in men. *J Physiol*, 590(Pt 2), 351-362. doi: 10.1113/jphysiol.2011.221200
- Burke, R., Levine, D., Tsairis, P., y Zajac III, F. (1973). Physiological types and histochemical profiles in motor units of the cat gastrocnemius. *J Physiol*, 234(3), 723.
- Cadore, E., Lhullier, F., Brentano, M., Silva, E., Ambrosini, M., Spinelli, R., . . . Krueel, L. (2008). Correlations between serum and salivary hormonal concentrations in response to resistance exercise. *Journal of sports sciences*, 26(10), 1067-1072.
- Cairns, S. P., Knicker, A. J., Thompson, M. W., y Sjøgaard, G. (2005). Evaluation of models used to study neuromuscular fatigue. *Exercise and sport sciences reviews*, 33(1), 9-16.
- Callewaert, M., Boone, J., Celie, B., De Clercq, D., y Bourgois, J. (2013). Quadriceps muscle fatigue in trained and untrained boys. *International journal of sports medicine*, 34(01), 14-20.
- Carpentier, A., Duchateau, J., y Hainaut, K. (2001). Motor unit behaviour and contractile changes during fatigue in the human first dorsal interosseus. *J Physiol*, 534(3), 903-912.
- Caruso, J. F., Lutz, B. M., Davidson, M. E., Wilson, K., Crane, C. S., Craig, C. E., . . . Sheaff, R. J. (2012). Salivary hormonal values from high-speed resistive exercise workouts. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 625-632.
- Cifrek, M., Medved, V., Tonković, S., y Ostojić, S. (2009). Surface EMG based muscle fatigue evaluation in biomechanics. *Clinical Biomechanics*, 24(4), 327-340.
- Clark, B. C., Collier, S. R., Manini, T. M., y Ploutz-Snyder, L. L. (2005). Sex differences in muscle fatigability and activation patterns of the human quadriceps femoris. *European journal of applied physiology*, 94(1-2), 196-206.
- Comfort, P., Fletcher, C., y McMahon, J. J. (2012). Determination of optimal loading during the power clean, in collegiate athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(11), 2970-2974.
- Coorevits, P., Danneels, L., Cambier, D., Ramon, H., y Vanderstraeten, G. (2008). Assessment of the validity of the Biering-Sørensen test for measuring back muscle fatigue based on EMG median frequency

- characteristics of back and hip muscles. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 18(6), 997-1005.
- Cormie, P., McCaulley, G. O., Triplett, N. T., y McBride, J. M. (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Medicine and science in sports and exercise*, 39(2), 340.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., y Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1--biological basis of maximal power production. *Sports Med*, 41(1), 17-38.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., y Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Med*, 41(2), 125-146. doi: 10.2165/11538500-000000000-00000
- Crewther, B., Cronin, J., Keogh, J., y Cook, C. (2008). The salivary testosterone and cortisol response to three loading schemes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(1), 250-255.
- Crewther, B., Keogh, J., Cronin, J., y Cook, C. (2006). Possible stimuli for strength and power adaptation: acute hormonal responses. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*, 36, 215-238.
- Crewther, B. T., Al-Dujaili, E., Smail, N. F., Anastasova, S., Kilduff, L. P., y Cook, C. J. (2013). Monitoring salivary testosterone and cortisol concentrations across an international sports competition: data comparison using two enzyme immunoassays and two sample preparations. *Clinical biochemistry*, 46, 354-358. doi: 10.1016/j.clinbiochem.2012.11.019
- Crewther, B. T., Lowe, T., Weatherby, R. P., Gill, N., y Keogh, J. (2009). Neuromuscular performance of elite rugby union players and relationships with salivary hormones. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(7), 2046-2053.
- Cronin, J., McNair, P. J., y Marshall, R. N. (2001). Developing explosive power: a comparison of technique and training. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia*, 4, 59-70.
- Cutsem, M., Duchateau, J., y Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, 513(1), 295-305.
- Chance, B., Dait, M. T., Zhang, C., Hamaoka, T., y Hagerman, F. (1992). Recovery from exercise-induced desaturation in the quadriceps muscles of elite competitive rowers. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 262(3), C766-C775.
- Chelly, M. S., Hermassi, S., y Shephard, R. J. (2010). Relationships between power and strength of the upper and lower limb muscles and throwing velocity in male handball players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(6), 1480-1487.

- Chernozub, A. (2013). Peculiarities of cortisol level changes in the blood of athletes and untrained boys in response to heavy power training loads. *European International Journal of Science and Technology*, 2(9), 52-57.
- de Villarreal, E. S.-S., Kellis, E., Kraemer, W. J., y Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 495-506.
- Deschenes, M. R., y Kraemer, W. J. (2002). Performance and physiologic adaptations to resistance training. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11), S3-S16.
- Dideriksen, J. L., Enoka, R. M., y Farina, D. (2011). Neuromuscular adjustments that constrain submaximal EMG amplitude at task failure of sustained isometric contractions. *Journal of Applied Physiology*, 111(2), 485-494.
- Dideriksen, J. L., Farina, D., y Enoka, R. M. (2010). Influence of fatigue on the simulated relation between the amplitude of the surface electromyogram and muscle force. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 368(1920), 2765-2781.
- Dimitrova, N., y Dimitrov, G. (2003). Interpretation of EMG changes with fatigue: facts, pitfalls, and fallacies. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 13(1), 13-36.
- Duchateau, J., y Enoka, R. M. (2011). Human motor unit recordings: origins and insight into the integrated motor system. *Brain research*, 1409, 42-61.
- Durguerian, A., Filaire, E., Drogou, C., Bougard, C., y Chennaoui, M. (2017). Food restriction alters salivary cortisol and α -amylase responses to a simulated weightlifting competition without significant performance modification. *Journal of sports sciences*, 1-9. doi: 10.1080/02640414.2017.1322708
- Ebben, W. P., Carroll, R. M., y Simenz, C. J. (2004). Strength and conditioning practices of National Hockey League strength and conditioning coaches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 889-897.
- Ebben, W. P., Hintz, M. J., y Simenz, C. J. (2005). Strength and conditioning practices of Major League Baseball strength and conditioning coaches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(3), 538-546.
- Edman, K. (1966). The relation between sarcomere length and active tension in isolated semitendinosus fibres of the frog. *J Physiol*, 183(2), 407.
- Elloumi, M., El Elj, N., Zaouali, M., Maso, F., Filaire, E., Tabka, Z., y Lac, G. (2005). IGFBP-3, a sensitive marker of physical training and overtraining. *British journal of sports medicine*, 39(9), 604-610.

REFERENCIAS

- Enoka, R., y Stuart, D. (1985). *The contribution of neuroscience to exercise studies*. Paper presented at the Federation proceedings.
- Enoka, R. M. (1995). Morphological features and activation patterns of motor units. *Journal of Clinical Neurophysiology*, 12(6), 538-559.
- Enoka, R. M. (2012). Muscle fatigue—from motor units to clinical symptoms. *Journal of biomechanics*, 45(3), 427-433.
- Enoka, R. M., y Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol*, 586(1), 11-23. doi: 10.1113/jphysiol.2007.139477
- Enoka, R. M., y Duchateau, J. (2015). Inappropriate interpretation of surface EMG signals and muscle fiber characteristics impedes understanding of the control of neuromuscular function. *Journal of applied physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 119(12), 1516-1518.
- Enoka, R. M., y Fuglevand, A. J. (2001). Motor unit physiology: some unresolved issues. *Muscle & nerve*, 24(1), 4-17.
- Enoka, R. M., y Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 72(5), 1631-1648.
- Evans, W. J. (2002). Effects of exercise on senescent muscle. *Clinical orthopaedics and related research*, 403, S211-S220.
- Farina, D., Pozzo, M., Merlo, E., Bottin, A., y Merletti, R. (2004). Assessment of average muscle fiber conduction velocity from surface EMG signals during fatiguing dynamic contractions. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51(8), 1383-1393.
- Ferrari, M., Mottola, L., y Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Canadian journal of applied physiology*, 29(4), 463-487.
- Fitts, R. H. (2008). The cross-bridge cycle and skeletal muscle fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), 551-558.
- Fleck, S. J. (1999). Periodized strength training: a critical review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(1), 82-89.
- Folland, J. P., Irish, C., Roberts, J., Tarr, J., y Jones, D. A. (2002). Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. *British journal of sports medicine*, 36(5), 370-373.
- Folland, J. P., y Williams, A. G. (2007). Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*, 37(2), 145-168.
- Forti, L. N., Van Roie, E., Njemini, R., Coudyzer, W., Beyer, I., Delecluse, C., y Bautmans, I. (2017). Effects of resistance training at different loads on inflammatory markers in young adults. *European journal of applied physiology*, 117(3), 511-519.
- Fry, A. C., y Kraemer, W. J. (1997). Resistance exercise overtraining and overreaching. *Sports Med*, 23(2), 106-129.
- Fry, A. C., Kraemer, W. J., Lynch, J. M., Triplett, N. T., y Koziris, L. P. (1994). Does Short-Term Near-Maximal Intensity Machine Resistance Training

- Induce Overtraining? *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 8(3), 188-191.
- Fry, A. C., Kraemer, W. J., van Borselen, F., Lynch, J. M., Marsit, J. L., Roy, E. P., . . . KNUTTGEN, H. G. (1994). Performance decrements with high-intensity. *training*, 26(9), 1165-1173.
- Fukashiro, S., Kurokawa, S., Hay, D. C., y Nagano, A. (2005). Comparison of muscle-tendon interaction of human m. gastrocnemius between ankle-and drop-jumping. *International Journal of Sport and Health Science*, 3(Special_Issue_2005), 253-263.
- García-Pallarés, J., López-Gullón, J. M., Muriel, X., Díaz, A., y Izquierdo, M. (2011). Physical fitness factors to predict male Olympic wrestling performance. *European journal of applied physiology*, 111(8), 1747-1758.
- Gatti, R., y De Palo, E. F. (2011). An update: salivary hormones and physical exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 21, 157-169. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01252.x
- Gazzoni, M., Camelia, F., y Farina, D. (2005). Conduction velocity of quiescent muscle fibers decreases during sustained contraction. *Journal of Neurophysiology*, 94(1), 387-394.
- Georgakis, A., Stergioulas, L. K., y Giakas, G. (2003). Fatigue analysis of the surface EMG signal in isometric constant force contractions using the averaged instantaneous frequency. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50(2), 262-265.
- Gerdle, B., Eriksson, N., y Brundin, L. (1990). The behaviour of the mean power frequency of the surface electromyogram in biceps brachii with increasing force and during fatigue. With special regard to the electrode distance. *Electromyography and clinical Neurophysiology*, 30(8), 483-489.
- Gesto, M., Otero-Rodiño, C., López-Patiño, M. A., Míguez, J. M., Soengas, J. L., y Conde-Sieira, M. (2014). Is plasma cortisol response to stress in rainbow trout regulated by catecholamine-induced hyperglycemia? *General and comparative endocrinology*, 205, 207-217. doi: 10.1016/j.ygcen.2014.04.002
- González-Badillo, J., Gorostiaga, E., Arellano, R., y Izquierdo, M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(3), 689-697.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Marques, M. C., y Sanchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J Hum Kinet*, 29A, 15-19. doi: 10.2478/v10078-011-0053-6

REFERENCIAS

- 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. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(5), 1329-1338.
- González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., y Pareja-Blanco, F. (2014). Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *European journal of sport science*, 14(8), 772-781.
- Gonzalez, A., Hoffman, J., Stout, J., Fukuda, D., y Willoughby, D. (2016). Intramuscular Anabolic Signaling and Endocrine Response Following Resistance Exercise: Implications for Muscle Hypertrophy. *Sports Med*, 46(5), 671-685. doi: 10.1007/s40279-015-0450-4
- Gonzalez, A. M., Hoffman, J. R., Townsend, J. R., Jajtner, A. R., Wells, A. J., Beyer, K. S., . . . Fragala, M. S. (2015). Association between myosin heavy chain protein isoforms and intramuscular anabolic signaling following resistance exercise in trained men. *Physiological reports*, 3(1), e12268.
- Goto, K., Ishii, N., Kizuka, T., Kraemer, R. R., Honda, Y., y Takamatsu, K. (2009). Hormonal and metabolic responses to slow movement resistance exercise with different durations of concentric and eccentric actions. *European journal of applied physiology*, 106(5), 731-739.
- Goto, K., Takahashi, K., Yamamoto, M., y Takamatsu, K. (2008). Hormone and Recovery Responses to Resistance Exercise with Slow Movement. *The Journal of Physiological Sciences*, 58(1), 7-14. doi: 10.2170/physiolsci.RP003107
- Gotshalk, L. A., Loebel, C. C., Nindl, B. C., Putukian, M., Sebastianelli, W. J., Newton, R. U., . . . Kraemer, W. J. (1997). Hormonal responses of multiset versus single-set heavy-resistance exercise protocols. *Can J Appl Physiol*, 22(3), 244-255.
- Gozansky, W., Lynn, J., Laudenslager, M., y Kohrt, W. (2005). Salivary cortisol determined by enzyme immunoassay is preferable to serum total cortisol for assessment of dynamic hypothalamic-pituitary-adrenal axis activity. *Clinical endocrinology*, 63(3), 336-341.
- Gröschl, M. (2009). The physiological role of hormones in saliva. *Bioessays*, 31(8), 843-852.
- Hagberg, M., y Ericson, B.-E. (1982). Myoelectric power spectrum dependence on muscular contraction level of elbow flexors. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48(2), 147-156. doi: 10.1007/bf00422976
- Hall, J. E., y Guyton, A. C. (2006). *Textbook of medical physiology*: Elsevier Inc.

- Hamaoka, T., McCully, K. K., Quaresima, V., Yamamoto, K., y Chance, B. (2007). Near-infrared spectroscopy/imaging for monitoring muscle oxygenation and oxidative metabolism in healthy and diseased humans. *Journal of Biomedical Optics*, 12(6), 062105-062105-062116. doi: 10.1117/1.2805437
- Hamdi, M., y Mutungi, G. (2010). Dihydrotestosterone activates the MAPK pathway and modulates maximum isometric force through the EGF receptor in isolated intact mouse skeletal muscle fibres. *J Physiol*, 588(3), 511-525.
- Hasani-Ranjbar, S., Far, E. S., Heshmat, R., Rajabi, H., y Kosari, H. (2012). Time course responses of serum GH, insulin, IGF-1, IGFBP1, and IGFBP3 concentrations after heavy resistance exercise in trained and untrained men. *Endocrine*, 41(1), 144-151.
- Hayes, L. D., Grace, F. M., Baker, J. S., y Sculthorpe, N. (2015). Exercise-Induced Responses in Salivary Testosterone, Cortisol, and Their Ratios in Men: A Meta-Analysis. *Sports Med*, 45(5), 713-726. doi: 10.1007/s40279-015-0306-y
- Hayes, L. D., Grace, F. M., Sculthorpe, N., Herbert, P., Kilduff, L. P., y Baker, J. S. (2013). Does chronic exercise attenuate age-related physiological decline in males? *Research in sports medicine*, 21(4), 343-354.
- Hedges, L., y Olkin, I. (1985). Statistical methods for meta {analysis. Academic Press, Orlando (Flor.).
- Hellhammer, D. H., Wust, S., y Kudielka, B. M. (2009). Salivary cortisol as a biomarker in stress research. *Psychoneuroendocrinology*, 34(2), 163-171. doi: 10.1016/j.psyneuen.2008.10.026
- Hernandez, N. (2016). Compared Analysis of Muscle Activation during Piston Resistance Training and Free-Weight Training. *2016 NCUR*.
- Hicks, A. L., Kent-Braun, J., y Ditor, D. S. (2001). Sex differences in human skeletal muscle fatigue. *Exercise and sport sciences reviews*, 29(3), 109-112.
- Hill, E., Zack, E., Battaglini, C., Viru, M., Viru, A., y Hackney, A. (2008). Exercise and circulating cortisol levels: the intensity threshold effect. *J Endocrinol Invest*, 31(7), 587-591.
- Hill, M., y Goldspink, G. (2003). Expression and splicing of the insulin-like growth factor gene in rodent muscle is associated with muscle satellite (stem) cell activation following local tissue damage. *J Physiol*, 549(2), 409-418.
- Hiscock, D. J., Dawson, B., Clarke, M., y Peeling, P. (2017). Can changes in resistance exercise workload influence internal load, countermovement jump performance and the endocrine response? *Journal of sports sciences*, 1-7. doi: 10.1080/02640414.2017.1290270
- Hoffman, J. R., Im, J., Rundell, K. W., Kang, J., Nioka, S., Speiring, B. A., . . . Chance, B. (2003). Effect of muscle oxygenation during resistance

- exercise on anabolic hormone response. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(11), 1929-1934.
- Houtman, C. J., Stegeman, D. F., Van Dijk, J., y Zwarts, M. (2003). Changes in muscle fiber conduction velocity indicate recruitment of distinct motor unit populations. *Journal of Applied Physiology*, 95(3), 1045-1054.
- Hunter, S. K., Butler, J. E., Todd, G., Gandevia, S. C., y Taylor, J. L. (2006). Supraspinal fatigue does not explain the sex difference in muscle fatigue of maximal contractions. *Journal of Applied Physiology*, 101(4), 1036-1044.
- Hunter, S. K., Critchlow, A., y Enoka, R. M. (2005). Muscle endurance is greater for old men compared with strength-matched young men. *Journal of Applied Physiology*, 99(3), 890-897.
- Izquierdo, M., Exposito, R., Garcia-Pallare, J., Medina, L., y Villareal, E. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Sci Sports Exerc*, 42, 1191-1199.
- Izquierdo, M., González-Badillo, J., Häkkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W., Altadill, A., . . . Gorostiaga, E. M. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *International journal of sports medicine*, 27(09), 718-724.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Calbet, J., González-Izal, M., Navarro-Amézqueta, I., Granados, C., . . . Häkkinen, K. (2009). Neuromuscular fatigue after resistance training. *International journal of sports medicine*, 30(08), 614-623.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., . . . Asiain, X. (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.
- Jacks, D. E., Sowash, J., Anning, J., McGloughlin, T., y Andres, F. (2002). Effect of exercise at three exercise intensities on salivary cortisol. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(2), 286-289.
- Jones, D. a. (2010). Changes in the force-velocity relationship of fatigued muscle: implications for power production and possible causes. *J Physiol*, 588, 2977-2986. doi: 10.1113/jphysiol.2010.190934
- Jones, K., Bishop, P., Hunter, G., y Fleisig, G. (2001). The Effects of Varying Resistance-Training Loads on Intermediate---and High---Velocity-Specific Adaptations. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 15(3), 349-356.
- Jovanović, M., y Flanagan, E. P. (2014). Researched applications of velocity based strength training. *J Aust Strength Cond*, 22(2), 58-69.

- Kalliokoski, K. K., Laaksonen, M. S., Takala, T. O., Knuuti, J., y Nuutila, P. (2003). Muscle oxygen extraction and perfusion heterogeneity during continuous and intermittent static exercise. *Journal of Applied Physiology*, 94(3), 953-958.
- Kaneko, M., Fuchimoto, T., Toji, H., y Suei, K. (1983). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scand J Sports Sci*, 5(2), 50-55.
- Kasman, G. S., Cram, J. R., y Holtz, J. (1998). Introduction to Surface Electromyography. *Canada: Aspen Publishers*.
- Kawamori, N., y Haff, G. G. (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(3), 675-684.
- Keenan, K. G., Farina, D., Maluf, K. S., Merletti, R., y Enoka, R. M. (2005). Influence of amplitude cancellation on the simulated surface electromyogram. *Journal of Applied Physiology*, 98(1), 120-131.
- Keenan, K. G., Farina, D., Merletti, R., y Enoka, R. M. (2006). Amplitude cancellation reduces the size of motor unit potentials averaged from the surface EMG. *Journal of Applied Physiology*, 100(6), 1928-1937.
- Kirschbaum, C., Gonzalez Bono, E., Rohleder, N., Gessner, C., Pirke, K. M., Salvador, A., y Hellhammer, D. H. (1997). Effects of fasting and glucose load on free cortisol responses to stress and nicotine. *J Clin Endocrinol Metab*, 82(4), 1101-1105. doi: 10.1210/jcem.82.4.3882
- Klaver-Król, E., Henriquez, N., Oosterloo, S., Klaver, P., Bos, J., y Zwarts, M. (2007). Distribution of motor unit potential velocities in short static and prolonged dynamic contractions at low forces: use of the within-subject's skewness and standard deviation variables. *European journal of applied physiology*, 101(5), 647-658.
- Knudson, D. V. (2009). Correcting the use of the term "power" in the strength and conditioning literature. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(6), 1902-1908.
- Korkmaz, S., y Harbili, E. (2016). Biomechanical analysis of the snatch technique in junior elite female weightlifters. *Journal of sports sciences*, 34(11), 1088-1093.
- Kouzaki, M., Yoshihisa, T., y Fukunaga, T. (1997). Efficacy of tourniquet ischemia for strength training with low resistance. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 77(1-2), 189-191.
- Kraemer, W., y Ratamess, N. (2000). Physiology of resistance training: current issues. *Orthopaedic Physical Therapy Clinics of North America*, 9(4), 467-514.
- Kraemer, W., y Ratamess, N. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine and science in sports and exercise*, 36(4), 674-688.

- Kraemer, W. J., y Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Med*, 35(4), 339-361.
- Kramer, J. B., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Conley, M. S., Johnson, R. L., Nieman, D. C., . . . Hoke, T. P. (1997). Effects of single vs. multiple sets of weight training: Impact of volume, intensity, and variation. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 11(3), 143-147.
- Król, H., Sobota, G., y Nawrat, A. (2007). Effect of electrode position on EMG recording in pectoralis major. *J Hum Kinet*, 17, 105.
- Kudielka, B. M., Gierens, A., Hellhammer, D. H., Wüst, S., y Schlotz, W. (2012). Salivary cortisol in ambulatory assessment—some dos, some don'ts, and some open questions. *Psychosomatic Medicine*, 74(4), 418-431.
- Kyröläinen, H., Avela, J., McBride, J. M., Koskinen, S., Andersen, J., Sipilä, S., . . . Komi, P. (2005). Effects of power training on muscle structure and neuromuscular performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 15(1), 58-64.
- Lawton, T. W., Cronin, J. B., y Lindsell, R. P. (2006). Effect of interrepetition rest intervals on weight training repetition power output. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(1), 172-176.
- Legaz-Arrese, A., Reverter-Masia, J., Munguia-Izquierdo, D., y Ceballos-Gurrola, O. (2007). An analysis of resistance training based on the maintenance of mechanical power. *J Sports Med Phys Fitness*, 47(4), 427-436.
- Leite, R., Prestes, J., Rosa, C., De Salles, B., Maior, A., Miranda, H., y Simão, R. (2011). Acute effect of resistance training volume on hormonal responses in trained men. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 51(2), 322.
- Lepez, M., Caamano, E., Romero, C., Fiedler, J., y Araya, V. (2010). Salivary cortisol among subjects with and without Cushing syndrome. *Revista medica de Chile*, 138(2), 168-174.
- Lieber, R. L., Loren, G. J., y Friden, J. (1994). In vivo measurement of human wrist extensor muscle sarcomere length changes. *Journal of Neurophysiology*, 71(3), 874-881.
- Linnamo, V., Newton, R., Häkkinen, K., Komi, P., Davie, A., McGuigan, M., y Triplett-McBride, T. (2000). Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(6), 417-424.
- Lippi, G., De Vita, F., Salvagno, G. L., Gelati, M., Montagnana, M., y Guidi, G. C. (2009). Measurement of morning saliva cortisol in athletes. *Clinical biochemistry*, 42(9), 904-906.
- MacIntosh, B., y Holash, R. (2000). Power output and force-velocity properties of muscle. *Biomechanics and biology of movement. Champaign (IL): Human Kinetics*, 193-210.

- Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., y Theisen, D. (2006). Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 100(3), 771-779.
- Martin, P. G., Smith, J. L., Butler, J. E., Gandevia, S. C., y Taylor, J. L. (2006). Fatigue-sensitive afferents inhibit extensor but not flexor motoneurons in humans. *The Journal of neuroscience*, 26(18), 4796-4802.
- Masuda, K., Masuda, T., Sadoyama, T., Inaki, M., y Katsuta, S. (1999). Changes in surface EMG parameters during static and dynamic fatiguing contractions. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 9(1), 39-46.
- Maughan, R., Watson, J. S., y Weir, J. (1983). Strength and cross-sectional area of human skeletal muscle. *J Physiol*, 338, 37.
- McBride, J. M., Triplett-McBride, T., Davie, A., y Newton, R. U. (2002). The effect of heavy-vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 16(1), 75-82.
- McCaulley, G. O., McBride, J. M., Cormie, P., Hudson, M. B., Nuzzo, J. L., Quindry, J. C., y Travis Triplett, N. (2009). Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *Eur J Appl Physiol*, 105(5), 695-704. doi: 10.1007/s00421-008-0951-z
- McGuigan, M. R., Egan, A. D., y Foster, C. (2004). Salivary Cortisol Responses and Perceived Exertion during High Intensity and Low Intensity Bouts of Resistance Exercise. *Journal of sports science & medicine*, 3(1), 8-15.
- McMillian, D. J., Moore, J. H., Hatler, B. S., y Taylor, D. C. (2006). Dynamic vs. static-stretching warm up: the effect on power and agility performance. *J Strength Cond Res*, 20(3), 492-499. doi: 10.1519/18205.1
- Merletti, R., y Hermens, H. (2000). Introduction to the special issue on the SENIAM European Concerted Action: Elsevier.
- Messonnier, L. A., Emhoff, C.-A. W., Fattor, J. A., Horning, M. A., Carlson, T. J., y Brooks, G. A. (2013). Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology*, 114(11), 1593-1602.
- Michalsik, L. B., Madsen, K., y Aagaard, P. (2015). Physiological capacity and physical testing in male elite team handball. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 55(5), 415-429.
- Migiano, M. J., Vingren, J. L., Volek, J. S., Maresch, C. M., Fragala, M. S., Ho, J.-Y., . . . Ahtiainen, J. (2010). Endocrine response patterns to acute

- unilateral and bilateral resistance exercise in men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(1), 128-134.
- Minetto, M. A., Lanfranco, F., Baldi, M., Termine, A., Kuipers, H., Ghigo, E., y Rainoldi, A. (2007). Corticotroph axis sensitivity after exercise: comparison between elite athletes and sedentary subjects. *J Endocrinol Invest*, 30(3), 215-223. doi: 10.1007/bf03347428
- Moritani, T. (2008). Motor unit and motoneurone excitability during explosive movement. *Strength and power in sport*, 27.
- Muthalib, M., Lee, H., Millet, G. Y., Ferrari, M., y Nosaka, K. (2010). Comparison between maximal lengthening and shortening contractions for biceps brachii muscle oxygenation and hemodynamics. *Journal of Applied Physiology*, 109(3), 710-720.
- Narici, M. V., Roi, G., Landoni, L., Minetti, A., y Cerretelli, P. (1989). Changes in force, cross-sectional area and neural activation during strength training and detraining of the human quadriceps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 59(4), 310-319.
- Neary, J. P. (2004). Application of near infrared spectroscopy to exercise sports science. *Canadian journal of applied physiology*, 29(4), 488-503.
- Newton, R. U., y Kraemer, W. J. (1994). Developing Explosive Muscular Power: Implications for a Mixed Methods Training Strategy. *Strength & Conditioning Journal*, 16(5), 20-31.
- Nybo, L. (2003). CNS fatigue and prolonged exercise: effect of glucose supplementation. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(4), 589-594.
- Nybo, L., y Nielsen, B. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 91(3), 1055-1060.
- Paccotti, P., Minetto, M., Terzolo, M., Ventura, M., Ganzit, G., Borrione, P., . . . Angeli, A. (2005). Effects of high-intensity isokinetic exercise on salivary cortisol in athletes with different training schedules: relationships to serum cortisol and lactate. *International journal of sports medicine*, 26(09), 747-755.
- Papacosta, E., y Nassis, G. P. (2011). Saliva as a tool for monitoring steroid, peptide and immune markers in sport and exercise science. *J Sci Med Sport*, 14(5), 424-434. doi: 10.1016/j.jsams.2011.03.004
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E., y González-Badillo, J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *International journal of sports medicine*, 35(11), 916-924.
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., . . . Calbet, J. (2016). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains

- and muscle adaptations. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*.
- Peter, J. B., Barnard, R. J., Edgerton, V. R., Gillespie, C. A., y Stempel, K. E. (1972). Metabolic profiles of three fiber types of skeletal muscle in guinea pigs and rabbits. *Biochemistry*, 11(14), 2627-2633.
- Peterson, M. D., Rhea, M. R., y Alvar, B. A. (2005). Applications of the dose-response for muscular strength development: a review of meta-analytic efficacy and reliability for designing training prescription. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(4), 950-958.
- Petrofsky, J. S., Glaser, R. M., Phillips, C. A., Lind, A. R., y Williams, C. (1982). Evaluation of the amplitude and frequency components of the surface EMG as an index of muscle fatigue. *Ergonomics*, 25(3), 213-223.
- Quaresima, V., Lepanto, R., y Ferrari, M. (2003). The use of near infrared spectroscopy in sports medicine. *Journal of sports medicine and physical fitness*, 43(1), 1.
- Ramírez-Campillo, R., Álvarez, C., Henríquez-Olguín, C., Baez, E. B., Martínez, C., Andrade, D. C., y Izquierdo, M. (2014). Effects of plyometric training on endurance and explosive strength performance in competitive middle-and long-distance runners. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(1), 97-104.
- Rhea, M. R. (2004). Determining the magnitude of treatment effects in strength training research through the use of the effect size. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(4), 918-920.
- Rimmele, U., Zellweger, B. C., Marti, B., Seiler, R., Mohiyeddini, C., Ehlert, U., y Heinrichs, M. (2007). Trained men show lower cortisol, heart rate and psychological responses to psychosocial stress compared with untrained men. *Psychoneuroendocrinology*, 32(6), 627-635.
- Sampson, J. A., y Groeller, H. (2015). Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? *Scandinavian journal of medicine & science in sports*.
- Sanborn, K., BOROS, R., HRUBY, J., SCHILLING, B., O'BRYANT, H. S., JOHNSON, R. L., . . . STONE, M. H. (2000). Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(3), 328-331.
- Sánchez-Medina, L., y González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9), 1725-1734.
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., Pérez, C. E., y Pallarés, J. G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *International journal of sports medicine*, 35, 209-216. doi: 10.1055/s-0033-1351252

REFERENCIAS

- Sapolsky, R. M., Romero, L. M., y Munck, A. U. (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions 1. *Endocrine reviews*, 21(1), 55-89.
- Sarabia, J. M., Fernandez-Fernandez, J., Juan-Recio, C., Hernández-Davó, H., Urbán, T., y Moya, M. (2015). Mechanical, hormonal and psychological effects of a non-failure short-term strength training program in young tennis players. *J Hum Kinet*, 45(1), 81-91.
- Schoenfeld, B. J. (2010). The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(10), 2857-2872.
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Willardson, J. M., Fontana, F., y Tiryaki-Sonmez, G. (2014). Muscle activation during low-versus high-load resistance training in well-trained men. *European journal of applied physiology*, 114(12), 2491-2497.
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D. I., y Krieger, J. W. (2015). Effect of Repetition Duration During Resistance Training on Muscle Hypertrophy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports medicine (Auckland, N.Z.)*. doi: 10.1007/s40279-015-0304-0
- Schoenfeld, B. J., Peterson, M. D., Ogborn, D., Contreras, B., y Sonmez, G. T. (2015). Effects of low-vs. high-load resistance training on muscle strength and hypertrophy in well-trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 29(10), 2954-2963.
- Schwarz, N. A., Rigby, B. R., La Bounty, P., Shelmadine, B., y Bowden, R. G. (2011). A review of weight control strategies and their effects on the regulation of hormonal balance. *Journal of nutrition and metabolism*, 2011.
- Semmler, J. G. (2002). Motor unit synchronization and neuromuscular performance. *Exercise and sport sciences reviews*, 30(1), 8-14.
- Simenz, C. J., Dugan, C. A., y Ebben, W. P. (2005). Strength and conditioning practices of National Basketball Association strength and conditioning coaches. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 19(3), 495-504.
- Smilios, I. (1998). Effects of Varying Levels of Muscular Fatigue on Vertical Jump Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 12(3), 204-208.
- Smilios, I., Pilianidis, T., Karamouzis, M., y Tokmakidis, S. P. (2003). Hormonal responses after various resistance exercise protocols. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(4), 644-654.
- Soriano, M. A., Jiménez-Reyes, P., Rhea, M. R., y Marín, P. J. (2015). The optimal load for maximal power production during lower-body resistance exercises: a meta-analysis. *Sports Med*, 45(8), 1191-1205.

- 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. *Sports Med*, 38(7), 527-540. doi: 10.2165/00007256-200838070-00001
- Stock, M. S., Beck, T. W., Defreitas, J. M., y Dillon, M. A. (2010). Relationships among peak power output, peak bar velocity, and mechanomyographic amplitude during the free-weight bench press exercise. *Journal of sports sciences*, 28, 1309-1317. doi: 10.1080/02640414.2010.499440
- Stokes, K. A., Gilbert, K. L., Hall, G. M., Andrews, R. C., y Thompson, D. (2013). Different responses of selected hormones to three types of exercise in young men. *Eur J Appl Physiol*, 113(3), 775-783. doi: 10.1007/s00421-012-2487-5
- Tanner, R. K., Fuller, K. L., y Ross, M. L. (2010). Evaluation of three portable blood lactate analysers: Lactate Pro, Lactate Scout and Lactate Plus. *European journal of applied physiology*, 109(3), 551-559.
- Teo, S., Newton, M. J., Newton, R. U., Dempsey, A. R., y Fairchild, T. J. (2016). Comparing the effectiveness of a short-term vertical jump versus weightlifting program on athletic power development. *Journal of strength and conditioning research/National Strength & Conditioning Association*.
- Tipton, K., y Wolfe, R. R. (2001). Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *International journal of sport nutrition and exercise metabolism*, 11(1), 109-132.
- Todd, G., Butler, J. E., Taylor, J. L., y Gandevia, S. (2005). Hyperthermia: a failure of the motor cortex and the muscle. *J Physiol*, 563(2), 621-631.
- Trimble, M. H., Kukulka, C. G., y Thomas, R. S. (2000). Reflex facilitation during the stretch-shortening cycle. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 10(3), 179-187.
- Ušaj, A., Jereb, B., Robi, P., y von Duvillard, S. P. (2007). The influence of strength-endurance training on the oxygenation of isometrically contracted forearm muscles. *European journal of applied physiology*, 100(6), 685-692. doi: 10.1007/s00421-007-0461-4
- van den Tillaar, R., y Ettema, G. (2013). A comparison of muscle activity in concentric and counter movement maximum bench press. *J Hum Kinet*, 38, 63-71. doi: 10.2478/hukin-2013-0046
- Viru, A. A., y Viru, M. (2001). *Biochemical monitoring of sport training: Human Kinetics*.
- Viru, A. M., Hackney, A. C., Vaëlja, E., Karelson, K., Janson, T., y Viru, M. (2001). Influence of prolonged continuous exercise on hormone responses to subsequent exercise in humans. *European journal of applied physiology*, 85(6), 578-585.

REFERENCIAS

- Walker, S., Taipale, R. S., Nyman, K., Kraemer, W. J., y Häkkinen, K. (2011). Neuromuscular and hormonal responses to constant and variable resistance loadings. *Med Sci Sports Exerc*, 43(1), 26-33.
- Watanabe, K., y Akima, H. (2010). Neuromuscular activation of vastus intermedius muscle during fatiguing exercise. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 20(4), 661-666.
- Weckesser, L. J., Plessow, F., Pilhatsch, M., Muehlhan, M., Kirschbaum, C., y Miller, R. (2014). Do venepuncture procedures induce cortisol responses? A review, study, and synthesis for stress research. *Psychoneuroendocrinology*, 46, 88-99.
- Willardson, J. M. (2007). The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 628-631.
- Williams, C., y Ratel, S. (2009). Definitions of muscle fatigue. In C. Williams & S. Ratel (Eds.), *Human muscle fatigue* (pp. 3-16): Routledge.
- Wood, P. (2009). Salivary steroid assays—research or routine? *Annals of clinical biochemistry*, 46(3), 183-196.
- Yoshitake, Y., Ue, H., Miyazaki, M., y Moritani, T. (2001). Assessment of lower-back muscle fatigue using electromyography, mechanomyography, and near-infrared spectroscopy. *European journal of applied physiology*, 84(3), 174-179.

