



Universidad Pablo de Olavide

Facultad del Deporte

Departamento de Deporte e Informática

***“FACTORES DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN
EL EJERCICIO DE DOMINADAS Y EFECTOS DEL
ENTRENAMIENTO CONCURRENTE DE FUERZA Y
RESISTENCIA”***

TESIS DOCTORAL

Autor: Miguel Sánchez Moreno

Director: Prof. Dr. Juan José González Badillo

Sevilla, mayo de 2017



Universidad Pablo de Olavide

Facultad del Deporte

Departamento de Deporte e Informática

***“FACTORES DETERMINANTES DEL RENDIMIENTO EN
EL EJERCICIO DE DOMINADAS Y EFECTOS DEL
ENTRENAMIENTO CONCURRENTES DE FUERZA Y
RESISTENCIA”***

TESIS DOCTORAL

Doctorando:

Miguel Sánchez Moreno

Director:

Dr. Juan José González Badillo

A mis padres, por estar siempre a mi lado

AGRADECIMIENTOS

La presentación de esta Tesis Doctoral significa el fin de un periodo de tiempo de duro trabajo y sacrificio, pero de gran riqueza personal y profesional. Por ello, deseo agradecer la ayuda y el apoyo de todas aquellas personas que con su colaboración altruista han hecho posible que este momento haya llegado:

- ❖ En primer lugar, a mi Director de Tesis, Dr. **Juan José González Badillo**, por el tiempo de incalculable valor que ha invertido en mí. Por ser una fuente inagotable de aprendizaje y un referente para mí desde que lo conocí en la asignatura “Bases del acondicionamiento físico” en el año 2005. Sin él, esta tesis Doctoral no habría sido posible.
- ❖ A mis **padres**, Antonio e Isabel, por su confianza y apoyo incondicional en este y en todos los proyectos de mi vida.
- ❖ A los chicos del “centro”. Al Dr. **Fernando Pareja Blanco**, amigo y ejemplo a seguir. Por sus aportaciones claves y por haber formado parte de todas las fases de la presente Tesis Doctoral. Al “maestro” del gráfico **David Rodríguez Rosell**, por todas las horas de trabajo invertidas en los distintos estudios de la presente Tesis Doctoral. A **Beatriz Bachero**, atleta inagotable y gran persona, por tener siempre palabras de ánimo para mí. A **Juan Manuel Yáñez** y **Ricardo Mora**, por compartir tantas horas de evaluaciones, análisis, discusión y alguna que otras risas. Sin ellos todo habría sido más complicado.
- ❖ A **David Díaz**, por el tiempo invertido en realizar todas las medidas antropométricas de la presente Tesis Doctoral, lo que en ocasiones a supuesto viajes exprés de 24 horas.
- ❖ Al Centro Andaluz de Medicina del Deporte, al Jefe de Sección de Medicina del Deporte, D. **Juan de Dios Beas Jiménez** y, especialmente, al Dr. **Ramón Centeno Prada** y su equipo auxiliar por las horas y el trabajo dedicado a las evaluaciones de la resistencia.
- ❖ A **Luis Sánchez Medina**, piezas claves de la línea de investigación “*la velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evaluación del entrenamiento de fuerza*”, y cuyas aportaciones científicas han sido un referente directo de algunos de los estudios realizados en la presente Tesis Doctoral.

- ❖ Y finalmente, y por ello no menos importante, a los todos los voluntarios que han participado en los 3 estudios realizados en la presente Tesis Doctoral. Por el compromiso adquirido y los esfuerzos realizados. Por haber confiado y seguir confiando en mí.

MUCHAS GRACIAS A TODOS

PUBLICACIONES Y DIVULGACIÓN DE RESULTADOS

Fruto del trabajo llevado a cabo en la presente Tesis Doctoral, se han publicado diversos artículos y realizado varias aportaciones en Congresos.

Artículos publicados en revistas científicas internacionales (JCR):

1. **SÁNCHEZ-MORENO. M., PAREJA-BLANCO. F., DÍAZ-CUELI. D., & GONZÁLEZ-BADILLO. J. J.** (2016). Determinant factors of pull up performance in trained athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 56(7-8), 825-833.
2. **SÁNCHEZ-MORENO. M., RODRÍGUEZ-ROSELL. D., PAREJA-BLANCO. F., MORA-CUSTODIO. R., & GONZÁLEZ-BADILLO. J. J.** (2017). Movement Velocity as Indicator of Relative Intensity and Level of Effort Attained During the Set in Pull-Up Exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 24, 1-23. doi: 10.1123/ijsp.2016-0791.

Comunicaciones presentadas en forma de Poster:

1. **SÁNCHEZ-MORENO. M., DÍAZ-CUELI. D., GARCÍA-ASENCIO. C., GONZÁLEZ-BADILLO. J. J.** (2014). Relationship of pull-up performance to selected anthropometric and body composition variables. Comunicado presentado en el IV NSCA International Conference. Universidad Católica de Murcia, Murcia, España.
2. **SÁNCHEZ-MORENO. M., DÍAZ-CUELI. D., GARCÍA-ASENCIO. C., GONZÁLEZ-BADILLO. J.J.** (2014). Relationship of pull-up repetitions to maximal and relative lat-pull strength in trained athletes. Comunicado presentado en el IV NSCA International Conference. Universidad Católica de Murcia, Murcia, España.

Contenidos

RESUMEN.....	6
ESTUDIO I	12
ESTUDIO II.....	13
ESTUDIO III.....	15
1 Introducción	18
2 Origen de la problemática objeto de estudio	23
3 Estado actual del conocimiento	31
3.1 Aspectos generales del ejercicio de dominadas.....	31
3.2 Factores determinantes del rendimiento en dominadas.....	33
3.2.1 Influencia de la fuerza y la resistencia muscular sobre el rendimiento	33
3.2.2 Influencia de la composición corporal sobre el rendimiento	35
3.3 La velocidad de ejecución como medio para la programación, el control y la evaluación del entrenamiento de fuerza	36
3.3.1 La velocidad de ejecución como indicador de intensidad relativa	36
3.3.2 La pérdida de velocidad dentro de la serie como indicador de fatiga.....	39
3.3.3 La pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado	42
3.3.4 Efectos del entrenamiento de fuerza con distintos pérdida de velocidad	44
3.4 Entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia	47
3.4.1 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en fuerza y en resistencia..	48
3.4.1.1 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en fuerza.....	50
3.4.1.2 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en resistencia	52
3.4.1.2.1 Efectos del entrenamiento concurrente sobre VO _{2max}	53
3.4.1.2.2 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el umbral de lactato	55
3.4.1.2.3 Efectos del entrenamiento concurrente sobre la economía del ejercicio.....	56
3.4.1.2.4 Efectos del entrenamiento concúrrete sobre la velocidad o potencia de VO _{2max}	57
3.4.1.3 Posibles mecanismos responsables de los efectos aditivos del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia.....	58
3.4.1.3.1 Transformación de la fibra muscular	58
3.4.1.3.2 Incremento de la fuerza máxima y de la RFD	59
3.4.1.3.3 Incremento en la rigidez del sistema musculo-tendón	61
3.4.2 Características del entrenamiento de fuerza en los estudios sobre entrenamiento concurrente	61

4	<i>Estudio I. Relación entre distintas manifestaciones de fuerza y resistencia muscular en el ejercicio de dominadas y polea al pecho e influencia de la composición corporal y el somatotipo</i>	66
4.1	Planteamiento del problema y propósito de la investigación	66
4.1.1	Objetivos de la investigación	68
4.1.2	Hipótesis.....	69
4.2	Metodología	71
4.2.1	Tipo de investigación	71
4.2.2	Muestra.....	71
4.2.3	Variables objeto de estudio	71
4.2.4	Control de las variables extrañas	72
4.2.5	Evaluaciones	73
4.2.5.1	Evaluación de la composición corporal	73
4.2.5.2	Evaluación del somatotipo.....	75
4.2.5.3	Evaluación de la fuerza dinámica máxima (1RM) en el ejercicio de polea al pecho ...	76
4.2.5.4	Evaluación de la resistencia muscular en el ejercicio de polea al pecho	78
4.2.5.5	Evaluación de la resistencia muscular en el ejercicio de dominadas	79
4.2.6	Plan de trabajo.....	80
4.2.7	Tratamiento estadístico	81
4.3	Resultados	83
4.3.1	Relación entre los ejercicios de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza y resistencia muscular.....	83
4.3.2	Relación entre los ejercicios de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza muscular teniendo en cuenta la masa corporal.....	84
4.3.3	Relación entre los ejercicios de dominadas y polea al pecho en las diferentes variables antropométricas y el somatotipo	85
4.3.4	Análisis de regresión lineal múltiple	90
4.3.4.1	Rendimiento en MNR _D	90
4.3.4.2	Rendimiento en 1RM _{PP}	91
4.3.5	Influencia del nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas sobre las distintas variables analizadas	91
4.3.5.1	Variables de fuerza y resistencia muscular	91
4.3.5.2	Variables antropométricas y el somatotipo.....	91
4.4	Discusión.....	94
4.5	Conclusiones	99
4.6	Aplicaciones prácticas.....	101

5	<i>Estudio II. La velocidad de ejecución como indicador de intensidad relativa y grado de esfuerzo alcanzado durante la serie en el ejercicio de dominadas.....</i>	103
5.1	Planteamiento del problema y propósito de la investigación	103
5.1.1	Objetivos de la investigación	105
5.1.2	Hipótesis.....	106
5.2	Metodología	107
5.2.1	Tipo de investigación	107
5.2.2	Muestra.....	107
5.2.3	Variables objeto de estudio	107
5.2.4	Evaluaciones	108
5.2.4.1	Análisis de la Composición Corporal	108
5.2.4.2	Evaluación de las relaciones carga-fuerza/velocidad.....	109
5.2.4.3	Evaluación de la pérdida de velocidad dentro de una serie hasta el fallo muscular ...	110
5.2.4.4	Instrumental de evaluación	111
5.2.5	Control de las variables extrañas.....	113
5.2.6	Plan de trabajo.....	114
5.2.7	Tratamiento estadístico	114
5.3	Resultados	116
5.3.1	Rendimiento en el ejercicio de dominadas	116
5.3.2	Relación entre la velocidad de ejecución (VMP) y la intensidad relativa (% 1RM)	116
5.3.3	Estabilidad de la relación entre la VMP y la intensidad relativa (% 1RM)	118
5.3.4	Influencia del nivel de rendimiento sobre la velocidad de ejecución	120
5.3.5	Estimación intensidad relativa (% 1RM) a través de la velocidad de ejecución (VMP) .	122
5.3.6	Influencia de la velocidad alcanzada con 1RM	123
5.3.7	Relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad (%PV) y el porcentaje de repeticiones realizado (%RR)	125
5.3.8	Estabilidad en la relación entre el %PV y el %RR.....	126
5.3.9	Influencia del nivel de rendimiento sobre la relación entre %PV y el %RR	128
5.3.10	Número máximo de repeticiones ante la misma intensidad relativa	130
5.3.11	Análisis de correlaciones directas	131
5.3.12	Análisis de correlaciones entre cambios.....	133
5.4	Discusión.....	136
5.5	Conclusiones	145
5.6	Aplicaciones prácticas.....	146
6	<i>Estudio III. Efectos de un entrenamiento de fuerza con distinta pérdida de velocidad dentro de la serie realizado de forma concurrente con el entrenamiento de resistencia sobre la fuerza y la resistencia en carrera.....</i>	149

6.1	Planteamiento del problema y propósito de la investigación	149
6.1.1	Objetivos de la investigación	151
6.1.2	Hipótesis.....	152
6.2	Metodología	154
6.2.1	Tipo de investigación	154
6.2.2	Diseño del estudio	154
6.2.3	Muestra.....	155
6.2.4	Variables objeto de estudio	156
6.2.5	Control de las variables extrañas	158
6.2.6	Evaluaciones	158
6.2.6.1	Análisis de la composición corporal	158
6.2.6.2	Evaluación de las Relaciones carga/fuerza-velocidad	159
6.2.6.3	Evaluación de la capacidad de salto vertical con contramovimiento (CMJ).....	161
6.2.6.4	Evaluación del salto vertical con cargas (CMJ _C)	162
6.2.6.5	Test de aceleración en 10-20 m	164
6.2.6.6	Evaluación del rendimiento en resistencia	165
6.2.7	Protocolo de entrenamiento.....	167
6.2.7.1	Protocolo de entrenamiento de fuerza.....	167
6.2.7.2	Protocolo de entrenamiento de resistencia	170
6.2.8	Plan de trabajo.....	172
6.2.9	Tratamiento estadístico	174
6.3	Resultados	176
6.3.1	Efectos sobre la composición corporal.....	178
6.3.2	Efectos del entrenamiento sobre el rendimiento en fuerza	180
6.3.2.1	Velocidad media propulsiva con las cargas comunes (VMP _C)	180
6.3.2.2	Una repetición máxima estimada (1RM _{est})	185
6.3.2.3	Número máximo de repeticiones realizado con la carga de 0.90 m·s ⁻¹	185
6.3.2.4	Capacidad de salto vertical (CMJ)	188
6.3.2.5	Capacidad de salto vertical con cargas (CMJ _C)	189
6.3.2.6	Capacidad de aceleración en 10-20m (T ₁₀ , T ₂₀ , T ₁₀₋₂₀)	189
6.3.3	Efectos del entrenamiento sobre el rendimiento en resistencia	192
6.3.3.1	Consumo máximo de oxígeno (VO _{2max})	192
6.3.3.2	Velocidad de consumo máximo de oxígeno (vVO _{2max})	192
6.3.3.3	Tiempo límite en el test incremental en tapiz (Tlim _T)	192
6.3.3.4	Tiempo límite en el Test de la Universidad de Montreal (Tlim _P)	193
6.3.4	Análisis de las correlaciones entre cambios	197
6.4	Discusión.....	198
6.5	Conclusiones	207

6.6	Aplicaciones prácticas.....	208
7	Conclusiones generales.....	210
8	Aplicaciones prácticas.....	214
9	Limitaciones de los estudios.....	219
10	Futuras líneas de investigación	222
11	Referencias bibliográficas.....	224
	GLOSARIO DE ACRÓNIMOS	253
	RELACIÓN DE TABLAS	258
	RELACIÓN DE FIGURAS.....	260
	ANEXOS	267
	ANEXO I. CONSENTIMIENTO INFORMADO	267
	ANEXO II. FICHA MÉDICA	270
	ANEXO III. PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y DIVULGACIÓN	274

RESUMEN***“Factores determinantes del rendimiento en el ejercicio de dominadas y efectos del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia”***

La presente Tesis Doctoral está compuesta por tres estudios que tienen como objetivo ampliar el conocimiento sobre: i) aquellos factores que pueden ser determinantes del rendimiento en el ejercicio de dominadas, cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones que pueden ser realizadas con el propio peso corporal; ii) sobre las posibilidades de la utilización de la velocidad del movimiento como indicador de intensidad relativa (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) y grado de esfuerzo dentro de la serie (González-Badillo, Yáñez-García, Mora-Custodio, & Rodríguez-Rosell, 2017) en el propio ejercicio de dominadas; y iii), sobre qué grado de esfuerzo durante el entrenamiento de fuerza del miembro inferior puede ser más favorable para el desarrollo de la fuerza y la resistencia cuando ambas cualidades son entrenadas simultáneamente.

En el primer estudio, analizamos la relación entre el número máximo de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas con diferentes indicadores de fuerza máxima y relativa en el ejercicio de fuerza de tracción sentado habitualmente conocido como polea al pecho. Además, estudiamos la relación entre las diferentes medidas de rendimiento en ambos ejercicios y los componentes de la composición corporal y el somatotipo. En el segundo estudio, analizamos la relación entre la velocidad del movimiento, velocidad media propulsiva (Sánchez-Medina, Pérez, & González-Badillo, 2010), y la intensidad relativa (% 1RM) en el ejercicio de dominadas. En este estudio también analizamos la relación entre la pérdida de velocidad dentro de la serie, con el propio peso corporal, y el porcentaje de repeticiones realizadas con respecto al máximo número de repeticiones posibles. Finalmente, en el tercer estudio, comparamos los efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza del miembro inferior que solo se diferenciaban en la magnitud

de pérdida de velocidad permitida dentro de la serie (15% vs. 45%), sobre el rendimiento en fuerza y resistencia, cuando ambas cualidades son entrenadas de manera simultánea.

En un intento de aumentar el conocimiento sobre aquellas variables que pueden tener influencia sobre el rendimiento en el ejercicio de dominadas, son varios los autores que han analizado la relación entre el rendimiento en dicho ejercicio (evaluado a través del máximo número de repeticiones realizado con el propio peso corporal) y diferentes medidas de fuerza máxima (1RM) y resistencia muscular expresada en términos relativos (máximo número de repeticiones posibles con una carga equivalente al 60 y al 80% de 1RM) en el ejercicio de polea al pecho (Chandler, Ware, & Mayhew, 2001; Halet, Mayhew, Murphy, & Fanthorpe, 2009; Johnson, Lynch, Nash, Cygan, & Mayhew, 2009). En estos estudios, no se observaron relaciones directas entre ambos ejercicios, sin embargo, cuando la masa corporal del deportista fue controlada estadísticamente, aparecieron relaciones entre algunas de las variables analizadas. Dado que en ninguno de los estudios citados se ha incluido una medida de resistencia muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente al propio peso corporal del deportista, en el **Estudio I** de la presente Tesis Doctoral hemos analizado de nuevo las relaciones entre ambos ejercicios con la inclusión de dicha medida de resistencia muscular en el ejercicio de polea al pecho. Entendemos que esta información nos puede ayudar a clarificar las relaciones existentes entre ambos ejercicios y su influencia sobre el rendimiento.

El proceso de entrenamiento exige un constante control y análisis tanto de la carga de trabajo como de los efectos de la misma para la optimización del rendimiento deportivo. El entrenamiento de fuerza es definido por una serie de variables como son la intensidad, el volumen, tipo y orden de los ejercicios, relación entre el tiempo de trabajo y el descanso (Fleck & Kraemer, 1987; Kraemer & Ratamess, 2004). Debido a que el sistema neuromuscular se adapta de manera específica al estímulo al que es sometido (Coffey & Hawley, 2007), las adaptaciones fisiológicas y mecánicas que se producen como respuesta al estímulo que supone el entrenamiento de fuerza dependerán de la manera en la que se combinen dichas variables (Bird, Tarpinning, & Marino, 2005; Spiering et al., 2008).

La intensidad es una de las variables más importante a considerar cuando se diseña un programa de entrenamiento de fuerza (Fry, 2004; Hoffman, 2014; Kraemer, Fleck, &

Deschenes, 1988; Kraemer & Ratamess, 2004). La velocidad del movimiento se ha propuesto como una alternativa válida para controlar la intensidad durante el entrenamiento de fuerza (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) y sustituir así a los métodos tradicionales de cuantificación de la carga de entrenamiento (1RM o XRM). Diferentes autores han mostrado la existencia de una relación alta entre la velocidad del movimiento y la intensidad relativa (%1RM) en distintos ejercicios tales como el press de banca (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010), remo tumbado (Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez, & Pallarés, 2014), sentadilla completa (Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro & González-Badillo., 2017), media sentadilla (Conceição, Fernandes, Lewis, González-Badillo, Jiménez-Reyes & 2016; Loturco, Pereira, Cal Abad, Gil, Kitamura, Kobal, & Nakamura., 2016) y prensa de piernas (Conceição et al., 2016). Dicha relación permite estimar con suficiente precisión la intensidad relativa (%1RM) que representa un peso (masa·g) a partir de la velocidad de movimiento, lo cual significa que cada %1RM tiene su propia velocidad, que variará en función de la velocidad propia de la RM de cada ejercicio (González-Badillo, 2000; González-Badillo & Ribas, 2002). Por tanto, dadas las posibilidades que dicha relación ofrece para el control y la cuantificación de la carga de entrenamiento, en el **Estudio II** de la presente Tesis Doctoral hemos analizado la relación entre la velocidad del movimiento y la intensidad relativa en el ejercicio de dominadas.

El volumen, expresado habitualmente por el número de repeticiones dentro de la serie, es otro variable importante a tener en cuenta para el diseño del entrenamiento de fuerza (Kraemer & Ratamess, 2004). Tradicionalmente, durante el entrenamiento de la fuerza se establece el número de repeticiones que deben ser realizadas dentro de cada serie, sin embargo, diferente autores han observado que, a pesar de que existe una relación entre los diferentes porcentajes de 1RM y el número de repeticiones que se puede realizar hasta el fallo muscular (Brzycki, 1993; Sakamoto & Sinclair, 2006), el número de repeticiones realizables ante una misma intensidad relativa puede presentar una importante variabilidad entre individuos (Desgorces, Berthelot, Dietrich, & Testa, 2010; González-Badillo., 2017; Panissa et al., 2013; Richens & Cleather, 2014). Por tanto, fijar de antemano un número fijo de repeticiones ante una intensidad relativa determinada podría suponer un estímulo diferente para distintos deportistas.

Como una alternativa a la prescripción de un determinado número de repeticiones para todos los deportistas, se ha propuesto utilizar la pérdida de velocidad dentro de la serie como una medida para determinar el grado de esfuerzo que tiene lugar durante el entrenamiento y así poder ser utilizada como criterio para determinar cuándo una serie debe ser finalizada durante el entrenamiento de fuerza (González-Badillo, Sánchez-Medina, Pareja-Blanco & Rodríguez-Rosell; 2017). Esta afirmación está basada en: i) la relación observada entre las distintas pérdidas de velocidad dentro de la serie y diferentes indicadores de fatiga aguda (mecánica y fisiológica) (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011); ii) por las diferencias observadas en las adaptaciones musculares y en el rendimiento deportivo cuando se entrena con diferentes porcentajes de pérdida de velocidad dentro de la serie (Pareja-Blanco, Rodríguez-Rosell, Sánchez-Medina, Gorostiaga, & González-Badillo, 2014; Pareja-Blanco et al., 2016); y, iii) finalmente, por la relación observada entre la pérdida de velocidad dentro de la serie antes distintos porcentajes de 1RM y el número de repeticiones que pueden ser realizadas con respecto al máximo número de repeticiones posibles (González-Badillo, et al. 2017). Por tanto, dada la validez de la pérdida de velocidad dentro de la serie para determinar el grado de esfuerzo que está teniendo lugar durante el entrenamiento, en el **Estudio II** se analizó la relación entre la pérdida de velocidad y el porcentaje de repeticiones realizado en relación al máximo número de repeticiones posibles en el ejercicio de dominadas con el propio peso corporal.

El entrenamiento de la fuerza y la resistencia llevado a cabo de manera simultánea se conoce como entrenamiento concurrente. De los trabajos pioneros de Hickson (1980; 1988) se establecieron dos de los principales hallazgos que hoy en día han sido extensamente analizados dentro de la literatura científica. En primer lugar, la mejora de la fuerza, pero no de la resistencia, podría verse comprometida cuando se realizaban de forma concurrente en el mismo día sesiones de entrenamiento de carrera y fuerza de alta frecuencia semanal e intensidad. En segundo lugar, el entrenamiento de fuerza añadido al entrenamiento habitual de resistencia parece ayudar a mejorar el rendimiento en resistencia.

La inclusión de un programa de entrenamiento de fuerza al entrenamiento de resistencia habitual es hoy en día propuesta como una estrategia adecuada para incrementar las adaptaciones en la resistencia (Aagaard & Andersen, 2010; Balsalobre-Fernández,

Santos-Concejero, & Grivas, 2016; Beattie, Kenny, Lyons, & Carson, 2014; Rønnestad & Mujika, 2013; Yamamoto, Lopez, Klau, Casa, Kraemer, & Maresh, 2008). Una cuestión importante dentro del entrenamiento concurrente va ser las características del entrenamiento de fuerza empleado. Diferentes modalidades de entrenamiento de fuerza han sido utilizadas dentro del contexto del entrenamiento concurrente. Entre ellas, una de las más utilizadas es la denominada tradicionalmente como entrenamiento de fuerza máxima o entrenamiento con cargas pesadas, que equivale tradicionalmente a entrenar con cargas que permiten entre 1RM y 15RM (por ejemplo: Aagaard, Andersen, Bennekou, Larsson, Olesen, Cramer, & Kjaer, 2011; Bell, Syrotuik, Martin, Burnham, & Quinney, 2000). Otro tipo de entrenamiento que también ha sido utilizado dentro de los estudios de entrenamiento concurrente es el denominado como entrenamiento de fuerza explosiva, definido este por el uso de cargas externas que van desde 0 al 60% de 1RM y con una movilización máxima en la fase concéntrica (por ejemplo: Chtara, et al. 2008; Mikkola, Rusko, Nummela, Pollari, & Häkkinen, 2007; Paavolainen, Häkkinen, Hämmäläinen, Nummela, & Rusko, 1999). Ambos tipos de entrenamiento han mostrado una influencia positiva sobre el rendimiento en resistencia. Además, en algunos de los estudios analizados, se pudo observar como el entrenamiento de fuerza en el que se realiza el máximo número de repeticiones posibles (CE máximo) con la carga de entrenamiento dada (por ejemplo: 5RM, 8RM, 10RM) ha tenido efectos positivos sobre el rendimiento en resistencia mientras que el grupo que entrenó únicamente la resistencia permaneció sin cambios (por ejemplo: Johnson, Quinn, Kertzer, & Vroman, 1997; Millet, Jaouen, Borrani, & Candau, 2002).

El entrenamiento realizando el máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular ha sido asumido por muchos autores como uno de los pilares del entrenamiento de fuerza (Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Häkkinen, 2003; Campos et al., 2002; Drinkwater et al., 2005; Kraemer & Ratamess, 2004; Phillips, 2009), considerando que esto es necesario para maximizar las ganancias de fuerza y masa muscular. Sin embargo, a medida que se realizan repeticiones, a causa de la fatiga, se reduce la fuerza que se puede aplicar en cada repetición (Izquierdo et al., 2006; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), junto con descensos en la aplicación de fuerza en la unidad de tiempo (“rate of force development”, RFD), la velocidad de ejecución y la potencia propias de la gran mayoría de los movimientos deportivos (Häkkinen & Kauhanen, 1989). Aunque, dentro del contexto del entrenamiento concurrente se ha recomendado que el

entrenamiento sin alcanzar el fallo muscular puede tener mayores efectos sobre el rendimiento en resistencia, concretamente sobre la economía de carrera (Balsalobre-Fernández, 2016), según nuestro conocimiento, solo un estudio ha comparado los efectos de la realización de un entrenamiento de fuerza similar en todas sus variables excepto en el número de repeticiones realizadas (fallo vs. no fallo), sobre el rendimiento en la fuerza y la resistencia cuando estas son entrenadas de manera simultánea (Izquierdo-Gabarren et al. 2010). En dicho trabajo, se examinó los efectos de 8 semanas de entrenamiento de fuerza llevado hasta el fallo muscular frente al mismo entrenamiento sin llegar al fallo muscular con volumen bajo y moderado sobre la fuerza del miembro superior y sobre variables cardiovasculares dentro de un programa de entrenamiento que combinaba el entrenamiento de fuerza con el de resistencia. Los autores llegaron a la conclusión de que el entrenamiento de fuerza que utiliza un número moderado de repeticiones, no realizadas al fallo muscular, proporciona un entorno más favorable para lograr mayores ganancias en la fuerza, la potencia y el rendimiento en remo en comparación con la realización de repeticiones hasta el fallo muscular en remeros entrenados. Sin embargo, según nuestro conocimiento, este fenómeno no ha sido estudiado sobre el miembro inferior. Por tanto, en el **Estudio III** de la presente tesis doctoral, se analizaron los efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza del miembro inferior, diferenciado únicamente por el número de repeticiones realizado dentro de la serie, llevado a cabo de manera simultánea con el entrenamiento de resistencia, sobre el rendimiento en fuerza y resistencia en carrera.

ESTUDIO I

Objetivo: El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre el número máximo de repeticiones en el ejercicio de dominadas y el rendimiento en el ejercicio de polea al pecho, además, de estudiar la relación entre los componentes de la masa corporal y el rendimiento en ambos ejercicios.

Método: Se evaluaron las siguientes variables a un grupo de veinticinco sujetos: máximo número de repeticiones con el propio peso corporal en el ejercicio de dominadas (MNR_D), el valor de 1RM ($1RM_{PP}$), el máximo número de repeticiones con el 80% de 1RM ($MNR_{PP80\%}$) y el máximo número de repeticiones con una carga equivalente al peso corporal (MNR_{PPMC}), en el ejercicio de polea al pecho, y diferentes variables antropométricas y el somatotipo. Además, los sujetos fueron divididos en dos subgrupos en función del número máximo de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas (alto [MNR_{DA}] vs. bajo [MNR_{DB}]).

Resultados: MNR_D estuvo significativamente relacionado con MNR_{PPMC} ($r = -0.62$; $P < 0.01$) y con el valor de fuerza relativa a la masa corporal ($Fr = 1RM_{PP}/\text{masa corporal}$) en el ejercicio de polea al pecho, pero no con $1RM_{PP}$ ($r = 0.09$) ni con $MNR_{PP80\%}$ ($r = -0.15$). MNR_D mostró una relación significativa ($P < 0.05 - 0.01$) y negativa con la masa corporal (MC; $r = -0.55$), la masa libre de grasa (MLG; $r = -0.51$), la masa grasa (MG; $r = -0.52$) y la masa muscular (MM; $r = -0.55$), mientras que la MC, la MLG y la MM mostró una relación significativa ($P < 0.01$) y positiva con $1RM_{PP}$ ($\sim r = 0.55$). Finalmente, el grupo MNR_{DA} mostró valores significativamente mayores en MNR_{PPMC} ($P < 0.001$) y Fr ($P < 0.05$) y significativamente menores en MC, MG, MLG y MM ($P < 0.05$) que el grupo MNR_{DB} . Finalmente, el grupo MNR_{DA} mostró un componente mesomórfico significativamente menor y un componente ectomórfico significativamente mayor que el grupo MNR_{DB} ($P < 0.05$).

Conclusiones: Estos hallazgos sugieren que el rendimiento en el máximo número de repeticiones en el ejercicio de dominadas está relacionado con la fuerza máxima de tracción de la musculatura de los brazos, hombros y espalda cuando está expresada en términos relativos a la masa corporal (MNR_{PPMC} y/o $1RM/\text{masa corporal}$). Además, las manifestaciones absolutas de la composición corporal (MC, MLG, MG, MM) parecen influir negativamente el rendimiento en dominadas en un grupo de sujetos entrenados en dicho ejercicio.

ESTUDIO II

Objetivo: El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre la velocidad de movimiento y la carga relativa (% 1RM) en el ejercicio de dominadas, y estudiar el patrón de pérdida de velocidad que tiene lugar durante una serie hasta alcanzar el fallo muscular con el propio peso corporal.

Método: Cincuenta y dos sujetos realizaron una primera evaluación (T1) consistente en un test incremental hasta alcanzar la 1RM y un test de máximo número de repeticiones con el propio peso corporal (MNR) en el ejercicio de dominadas. Treinta nueve sujetos realizaron una segunda evaluación (T2) de ambos test tras 12 semanas de entrenamiento.

Resultados: Observamos una relación fuerte entre la velocidad media propulsiva (VMP) y el porcentaje de 1RM ($r = -0.96$). La velocidad media alcanzada con la carga de 1RM (V_{1RM}) fue de $0.20 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ e influyó en el VMP alcanzada con cada porcentaje de 1RM. Aunque el valor de 1RM aumentó un 3.4% del T1 a T2, la relación entre VMP y el porcentaje de 1RM, y la V_{1RM} se mantuvo estable. Por otro lado, también observamos como la V_{1RM} se mantuvo estable independientemente de la fuerza relativa de los sujetos. Finalmente, observamos la existencia de una relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad que tuvo lugar dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado con el propio peso corporal ($R^2 = 0.88$), la cual se mantuvo estable a pesar de un aumento del 15% en el MNR. Finalmente, observamos la existencia de una relación directa entre VMP máxima alcanzada con el propio peso corporal y el MNR ($r = 0.71$; $P < 0.01$) y entre los porcentajes de cambio en ambas variables ($r = 0.56$; $P < 0.01$) tras las 12 semanas de entrenamiento.

Conclusiones: Estos resultados nos permiten confirmar que cada porcentaje de la 1RM tiene su propia velocidad en el ejercicio de dominadas. Además, dichas velocidades se mantienen estables a pesar de los cambios en el rendimiento. Por otro lado, dada la alta relación observada entre el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado, podemos conocer de una manera muy aproximada cuántas repeticiones podría hacer el sujeto en la serie y cuántas ha realizado. Finalmente, tanto la velocidad propulsiva máxima alcanzada sin añadir carga externa (V_{Max}) como la velocidad media propulsiva del test incremental alcanzada con las cargas absolutas comunes son indicadores válidos para detectar cambios en el rendimiento en el ejercicio

de dominadas, pudiendo evitar así la necesidad de realizar el máximo número de repeticiones (XRM) o alcanzar la 1RM para evaluar el rendimiento.

ESTUDIO III

Objetivo: El objetivo de este estudio fue analizar los efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza en los que se alcanzan diferentes grados de fatiga dentro de la serie ante la misma intensidad relativa realizado de manera concurrente con entrenamiento de resistencia sobre el rendimiento tanto en la fuerza como en la resistencia.

Método: Treinta tres sujetos fueron aleatoriamente distribuidos en tres grupos: grupo que realizó el entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad permitida dentro de la serie del 15% (VL15, n = 11), grupo que realizó el entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad permitida dentro de la serie del 45% (VL45, n = 11), y grupo que realizó únicamente en entrenamiento de resistencia (GC, n = 11). Todos los grupos experimentales realizaron el mismo entrenamiento de resistencia. Los sujetos siguieron un programa de entrenamiento de 8 semanas constituido por dos sesiones de resistencia y 2 sesiones de fuerza (para VL15 y VL45) realizadas en días alternos. 1RM estimada ($1RM_{est}$) y el perfil carga-velocidad en el ejercicio de sentadilla completa (velocidad media propulsiva con las cargas absolutas comunes, VMP_C), la altura del CMJ con (CMJ_C) y sin cargas (CMJ), el tiempo en recorrer 20 metros, el VO_{2max} , la vVO_{2max} y el tiempo límite en tapiz ($Tlim_T$) y en pista ($Tlim_P$) fueron evaluados en dos ocasiones (pre- y post-entrenamiento).

Resultados: Después del periodo experimental, $1RM_{est}$, VMP_C , CMJ_C y CMJ incrementaron significativamente en VL15 y VL45 ($P < 0.05$ a $P < 0.001$) mientras que $1RM_{est}$ y VMP_C disminuyó significativamente ($P < 0.05$) y, CMJ_C y CMJ permaneció sin cambios en GC. Se observaron diferencias significativas post-entrenamiento en el valor de $1RM_{est}$ y en la VMP_C para VL15 y VL45 con respecto a GC, mientras que la altura del CMJ y la VMP con las cargas ligeras ($\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; $VMP \geq 1$) solo mostraron diferencias significativas entre VL15 y GC. La vVO_{2max} , $Tlim_T$ y $Tlim_P$ incrementaron significativamente en los 3 grupos experimentales ($P < 0.05$ a $P < 0.001$) sin observarse diferencias significativas entre grupos. El entrenamiento realizado por VL15 mostró un “*posible-casi seguro*” mejor efecto sobre el rendimiento en CMJ y un “*probable-casi seguro*” mejor efecto sobre el rendimiento en $VMP \geq 1$ y, finalmente, un “*probable*” mejor efecto sobre la vVO_{2max} que el entrenamiento realizado por VL45 y GC, respectivamente.

Conclusiones: 8 semanas de entrenamiento de fuerza y resistencia realizado de manera concurrente permite adaptaciones positivas sobre ambas cualidades, manifestándose un efecto aditivo sobre el rendimiento en resistencia. El entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad moderada dentro de la serie (15%) resultó en similares e incluso superiores ganancias en el rendimiento, principalmente en acciones realizadas a alta velocidad. Por tanto, nuestros hallazgos sugieren que una vez que se ha alcanzado una pérdida de velocidad aproximadamente del 15% en la serie con respecto a la primera repetición en la misma serie, mayores incrementos del grado de esfuerzo dentro de la serie no producen mayores ganancias, y que incluso este exceso de repeticiones podría producir descensos en el rendimiento en acciones realizadas a velocidades altas.



INTRODUCCIÓN

1 Introducción

En la presente Tesis Doctoral se abordan una serie de problemáticas relacionadas con la mejora del entendimiento sobre: i) aquellos factores que pueden ser determinante para el rendimiento en el ejercicio de dominadas; ii) como cuantificar y controlar la carga de entrenamiento en el ejercicio de dominadas; y, iii) sobre la influencia que puede tener la realización de dos grados de esfuerzo diferentes, determinados estos por la pérdida de velocidad dentro de la serie, durante el entrenamiento de fuerza del miembro inferior sobre el rendimiento en fuerza y resistencia en carrera tras un periodo de entrenamiento concurrente de ambas modalidades.

La fuerza y resistencia muscular, así como la resistencia cardiorrespiratoria son reconocidas en la actualidad como cualidades físicas fundamentales que tiene influencia sobre distintas manifestaciones de rendimiento deportivo, así como para el mantenimiento de la salud y la mejora de la calidad de vida de las personas. Además, determinados niveles en dichas cualidades físicas son necesarias para el desempeño con éxito de diferentes tareas ocupacionales tales como militares, policías y bomberos (Harman et al., 2008; Johnson, Lynch, Nash, Cygan, & Mayhew, 2009; Williford, Duey, Olson, Howard, & Wang, 1999). Por tanto, no es de extrañar que estas cualidades sean habitualmente evaluadas durante el proceso de selección de candidatos para ocupar dichas profesiones.

Como parte de dichos procesos de selección, los aspirantes deben superar un conjunto de pruebas físicas que tienen como objetivo principal valorar los niveles de fuerza y resistencia tanto muscular como cardiorrespiratoria. Entre dichas pruebas se encuentra habitualmente una evaluación de la resistencia muscular a través del número máximo de repeticiones hasta el fallo muscular en el ejercicio de dominadas, una evaluación de la resistencia cardiorrespiratoria en carrera, una evaluación de la capacidad de salto vertical y una evaluación de la velocidad de desplazamiento. Por lo tanto, nos encontramos ante un tipo de deportista que presenta, por un lado, necesidades de resistencia muscular de la musculatura de los brazos, espalda y hombro y, por otro lado, necesidades de desarrollar de manera simultánea la fuerza y la resistencia de las piernas.

Un método comúnmente utilizado para evaluar la fuerza consiste en determinar el mayor peso que el deportista es capaz de desplazar una sola vez (1RM) a través del rango de

movimiento completo del ejercicio seleccionado. Por otro lado, la resistencia muscular suele ser evaluado a través de la realización del máximo número de repeticiones posibles ante una carga absoluta determinada o por el máximo número de repeticiones realizadas ante el peso corporal mediante ejercicios de tipo calisténico (por ejemplo: flexiones, dominadas, etc.).

Alcanzar determinados niveles de fuerza muscular va ser un factor determinante del rendimiento en las diferentes disciplinas deportivas. Para ello, el entrenamiento de fuerza es presentado, hoy en día, como el mejor método para mantener o aumentar la fuerza muscular (McCartney, 1999; Sale, 1988). Además, se ha observado como el entrenamiento de fuerza realizado de manera combinada con el entrenamiento de resistencia puede tener un efecto aditivo sobre el rendimiento en resistencia a la vez que permite mantener el desarrollo de la fuerza (Leveritt, Abernethy, Barry, & Logan, 1999). Por tanto, la presencia del entrenamiento de la fuerza dentro de cualquier modalidad deportiva toma hoy en día relevancia, y se hace necesaria tanto para la mejora del rendimiento deportivo como de la condición física y la salud.

Los avances en el conocimiento sobre los distintos componentes que definen el entrenamiento de fuerza, y como la manipulación de estos influye sobre el rendimiento deportivo y la salud es hoy día indiscutible. Desde las primeras investigaciones que tuvieron como objetivo el empleo del entrenamiento de fuerza para aumentar o recuperar el rendimiento físico (Delorme, 1945) hasta la actualidad, los efectos beneficiosos que un programa de entrenamiento de fuerza bien diseñado podría tener sobre la mejora de la condición neuromuscular, la rehabilitación e incluso para retrasar o paliar algunas patologías funcionales asociadas al envejecimiento ha sido ampliamente estudiado. No obstante, sigue existiendo la necesidad de seguir contribuyendo a la creación de un cuerpo de conocimiento auténticamente científico, que ayude a los técnicos deportivos y profesionales de las Ciencias de la Actividad Física y del Deporte a tener visión crítica y poder discernir entre el verdadero conocimiento y la información no fundamentada, la publicidad o las modas y tendencias pasajeras, tan frecuentes y, a menudo, influyentes en el mundo del deporte y del ejercicio. Esto pasa por la realización, y posterior difusión, de estudios e investigaciones rigurosos que permitan dar una orientación más racional al entrenamiento deportivo.

En la presente Tesis Doctoral se han llevado a cabo tres estudios en torno a cuestiones relacionadas con la mejora del conocimiento sobre aquellos factores que pueden ser

determinante para el rendimiento y sobre las características de la curva velocidad de ejecución / carga de un ejercicio utilizado habitualmente en el entrenamiento de fuerza (**Estudio I** y **Estudio II**) y sobre el conocimiento de la carga de entrenamiento óptima para la mejora conjunta del rendimiento tanto en fuerza como en resistencia (**Estudio III**). Para resolver dichas cuestiones, los tres estudios han sido enmarcados dentro de un grupo particular de deportistas con necesidades simultáneas de rendimiento en ejercicios de fuerza y de resistencia, y que además deben realizar el ejercicio de dominadas como ejercicio de competición (opositores a Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y Servicios de Extinción de Incendios y Salvamento). Por tanto, todos los estudios se han realizado tomando como muestra diferentes grupos de adultos (varones jóvenes) con experiencia en el entrenamiento de fuerza muscular, en el entrenamiento de resistencia y en el ejercicio de dominadas.

ESTUDIO I:

En el estudio I se analizó la relación entre diferentes indicadores de fuerza máxima y relativa en el ejercicio de polea al pecho con el rendimiento en el ejercicio de dominadas, cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones que pueden ser realizado con el propio peso corporal. Además, se estudió la relación entre la composición corporal y el somatotipo sobre el rendimiento en ambos ejercicios.

ESTUDIO II:

En el estudio II se examinó la posibilidad de usar la velocidad de movimiento (velocidad media propulsiva) como variable para estimar la carga relativa (% 1RM) y, por tanto, la intensidad o grado de esfuerzo que supone la realización del ejercicio de dominadas. Este estudio muestra la aplicación práctica de utilizar la velocidad de ejecución como forma de prescribir y controlar la carga de entrenamiento de fuerza en el ejercicio de dominadas. Además, también se estudió la relación entre la pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al número máximo de repeticiones posibles con el propio peso corporal. Con ello se ha pretendido describir las características mecánicas del ejercicio de dominadas para así mejorar nuestro entendimiento sobre dicho ejercicio.

ESTUDIO III:

En el estudio III se analizaron los efectos de distintos tipos de grados de esfuerzos, determinados por la pérdida de velocidad en la serie (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), en el entrenamiento de fuerza del miembro inferior, realizados junto con entrenamiento de resistencia, sobre la fuerza, la velocidad, la capacidad de salto, la resistencia y el consumo de oxígeno. Con ello se ha pretendido describir las diferencias que provocan los distintos tipos de esfuerzo realizados sobre el rendimiento en las distintas variables analizadas.

Este proyecto se enmarca dentro de una línea de investigación actualmente abierta en El Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportiva de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, liderada por el profesor Dr. *Juan José González Badillo*, cuyas líneas de investigación son: 1) Factores determinantes del rendimiento físico y deportivo; 2) Análisis conceptual y métodos de entrenamiento de las cualidades físicas básicas; 3) Desarrollo de la técnica y la táctica deportivas; 4) Control y evaluación del rendimiento y las cargas de entrenamiento: regulación del entrenamiento físico y deportivo. La presente Tesis Doctoral pretende contribuir a estas líneas de trabajo con el estudio de unos problemas que forman parte del propio entrenamiento deportivo, como es el conocimiento de las características mecánicas de los distintos ejercicios de entrenamiento y los efectos que provocan distintos grados de esfuerzo o de fatiga, sobre el rendimiento físico y deportivo.

Por tanto, la presente Tesis Doctoral puede contribuir, por una parte, a la mejora de la metodología del entrenamiento del ejercicio de las dominadas, ya que aborda de manera directa el conocimiento de dos elementos fundamentales para el propio sistema de entrenamiento. El primero de estos elementos es el conocimiento de la carga que se aplica al sujeto en dicho ejercicio, la cual será cuantificada y definida de manera precisa a través de la velocidad de la primera repetición (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). El segundo de estos elementos es la pérdida de velocidad en la serie (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), la cual, junto con el primer elemento, va definir el grado de esfuerzo al que el deportista es sometido (González-Badillo & Ribas, 2002). Por otra parte, la presente Tesis Doctoral puede dar información sobre qué estímulo de entrenamiento de fuerza, realizado de manera conjunta con entrenamiento de resistencia, es más favorable para el desarrollo simultáneo de la fuerza y la resistencia.

ORIGEN DE LA PROBLEMÁTICA OBJETO DE ESTUDIO



2 Origen de la problemática objeto de estudio

El entrenamiento de fuerza es definido por una serie de variables como son el volumen (habitualmente expresado como número de repeticiones), la intensidad (habitualmente expresada como porcentaje de 1 repetición máxima [1RM] o como número máximo de repeticiones por serie [XRM]), tipo y orden de los ejercicios, relación entre el tiempo de trabajo y descanso (Fleck & Kraemer, 1987; Kraemer & Ratamess, 2004), número de repeticiones realizado en relación al máximo número de repeticiones realizables en la serie, es decir, carácter del esfuerzo (CE) (González-Badillo, 1992), la velocidad de ejecución (González-Badillo & Gorostiaga, 2002; González-Badillo & Ribas, 2002; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) y la pérdida de velocidad (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Debido a que el sistema neuromuscular se adapta de manera específica al estímulo al que es sometido (Coffey & Hawley, 2007), las adaptaciones fisiológicas y mecánicas que se producen como respuesta al estímulo que supone el entrenamiento de fuerza dependerán de la manera en la que se combinen dichas variables (Bird, Tarpenning, & Marino, 2005; Spiering et al., 2008).

La intensidad es una de las variables más importantes en relación a las adaptaciones que puedan producirse debido al entrenamiento de fuerza (Spiering et al., 2008). Esta variable suele ser habitualmente expresada como porcentaje de una repetición máxima (%1RM) (Fry, 2004). La expresión de intensidad como % de 1RM presenta una serie de ventajas e inconvenientes. Las principales ventajas que presentan es que permite programar el entrenamiento a muchos deportistas al mismo tiempo, ya que un mismo esfuerzo se puede expresar en términos relativos (%1RM) y cada cual calcular la carga absoluta con la que debería realizar su entrenamiento y, además, esta expresión de intensidad permite obtener una información clara sobre la evolución de la carga de entrenamiento (González-Badillo, Marques, & Sánchez-Medina, 2011). Sin embargo, la principal desventaja deriva de la necesidad de cuantificar el propio valor de una repetición máxima (1RM) para cada deportista. Su medición puede estar asociado con lesiones cuando es aplicado de forma incorrecta o realizado por deportistas jóvenes o por sujetos no habituados a este tipo de esfuerzos (González-Badillo et al., 2011). Por otra parte, la medición directa de esta variable podría suponer un esfuerzo excesivo y, en la mayoría de los casos, no se mide con precisión, porque la velocidad a la que se hace no se corresponde con la velocidad propia de la RM del ejercicio que se mide (González-Badillo, 2000). Además, dichos

autores exponen que el valor real de la RM puede cambiar en pocas sesiones, lo que haría necesario un control continuo de su valor, pero la constante realización de test de 1RM podría suponer un estrés incluso mayor que el propio entrenamiento, por lo que podría influir sobre las adaptaciones que el entrenamiento programado podría producir (González-Badillo, 2000). Finalmente, el tiempo que requiere hace difícil su aplicación en grupos grandes (Braith, Graves, Leggett, & Pollock, 1993; Brzycki, 1993; Mayhew, Ball, Arnold, & Bowen, 1992).

Otro método utilizado para prescribir la intensidad del entrenamiento con sobrecargas consiste en determinar el número de repeticiones máximas que pueden completarse con una carga determinada (XRM) (González-Badillo et al., 2011). De esta forma, nos encontramos con intensidades de 12RM, 10RM, 8RM, 6RM, 5RM, etc. Cuando se emplean las repeticiones/serie como expresión de la intensidad del entrenamiento de fuerza, lo que se programa es la realización de un número concreto de repeticiones sin determinar ningún porcentaje de 1RM. Este método está basado en la relación existente entre los diferentes porcentajes de 1RM y el número de repeticiones que se puede realizar hasta el fallo muscular (Brzycki, 1993; Sakamoto & Sinclair, 2006). Aunque expresar la intensidad a través del número de repeticiones máximas elimina la necesidad de realizar un test de 1RM, este conlleva la necesidad de realizar un test de XRM, el cual podría suponer un esfuerzo incluso más estresante que el propio test de 1RM (Gorostiaga et al., 2012; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Por tanto, la expresión de la intensidad como porcentaje de una repetición máxima (% 1RM) y/o como el número de repeticiones máximas que pueden completarse con una carga absoluta determinada (XRM) presentan una serie de inconvenientes los cuales conlleva que estos métodos no sean los más apropiados para controlar con precisión y valorar el esfuerzo real que el atleta está realizando en cada sesión de entrenamiento (González-Badillo et al. 2011).

Como una alternativa a dichas expresiones de intensidad, se ha propuesto usar la relación fuerza-velocidad, y más concretamente, la velocidad del levantamiento, como indicador de intensidad en el ejercicio de entrenamiento (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Dichos autores observaron la existencia de una estrecha relación entre la velocidad de movimiento y la intensidad relativa en el ejercicio de press de banca (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Dicha relación permite estimar con suficiente precisión la intensidad relativa (% 1RM) que representa un peso (masa·g) a partir de la velocidad de

movimiento, lo cual significa que cada %1RM tiene su propia velocidad, que variará en función de la velocidad propia de la RM de cada ejercicio (González-Badillo, 2000; González-Badillo & Ribas, 2002). Este hallazgo permite determinar, con suficiente precisión, qué porcentaje de 1RM está utilizando un sujeto nada más realizar, a la máxima velocidad posible, la primera repetición con una carga dada, solucionando en gran medida los inconvenientes ocasionados para determinar el grado de esfuerzo a través de los métodos tradicionalmente utilizados (1RM y XRM). Dicha relación entre intensidad relativa y velocidad ha sido posteriormente observada en otros ejercicios como remo (Sánchez-Medina et al., 2014), sentadilla completa (Pallarés, Sánchez-Medina, Pérez, De La Cruz-Sánchez, & Mora-Rodriguez, 2014; Sánchez-Medina, García-Pallarés, Pérez, Fernandes, & González-Badillo, 2011; Sánchez-Medina et al., 2017) media sentadilla (Conceição et al., 2016; Loturco, et al., 2016) y prensa de piernas (Conceição et al., 2016). Por tanto, dada la validez de la velocidad de ejecución para determinar la intensidad relativa de entrenamiento, se hace necesario un aumento del conocimiento en torno a las características de la curva fuerza-velocidad de los ejercicios más comúnmente empleados en el entrenamiento con el fin de ampliar nuestro conocimiento sobre la mejor manera de optimizar el desarrollo de la fuerza muscular.

La intensidad por sí sola no determina las adaptaciones que se inducirán en el organismo (Mitchell et al., 2012), sino que para una descripción más completa del estímulo que supondrá el entrenamiento, habría que añadir el volumen (número de repeticiones) a realizar con dicha carga. Se ha observado que diferentes sistemas, entre ellos el nervioso, metabólico, hormonal y muscular, son sensibles a los cambios en los volúmenes de entrenamiento (Häkkinen, Pakarinen, Alen, Kauhanen, & Komi, 1987; Kraemer et al., 2000; Kramer et al., 1997). No obstante, la expresión del volumen de entrenamiento como el número de repeticiones que se realizan también presenta sus inconvenientes. A pesar de la relación existente, ya comentada, entre los diferentes porcentajes de 1RM y el número de repeticiones que se puede realizar hasta el fallo muscular (Brzycki, 1993; Sakamoto & Sinclair, 2006), se ha observado que el número de repeticiones realizables ante una misma intensidad relativa puede variar entre individuos que participan en distintas disciplinas deportivas (Desgorces, et al., 2010; Panissa et al., 2013; Richens & Cleather, 2014). Por tanto, fijar de antemano un número fijo de repeticiones ante una intensidad relativa determinada podría suponer un estímulo diferente para distintos deportistas.

En un estudio llevado a cabo por Sánchez-Medina & González-Badillo (2011) se observó cómo la pérdida de velocidad alcanzada dentro de la serie podría ser utilizada como predictor del grado de esfuerzo o fatiga que tiene lugar durante la serie o el entrenamiento (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). En dicho estudio, la pérdida de velocidad en la serie mostró una relación alta con indicadores de fatiga mecánica (pérdida de altura en un salto vertical y la pérdida de velocidad ante la carga de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y metabólica (lactato y amonio) en el ejercicio de sentadilla y press banca. Estas relaciones vienen a ratificar la validez del empleo de la pérdida de velocidad en la serie como un indicador suficientemente preciso para determinar el *grado de esfuerzo* que está suponiendo para el sujeto el entrenamiento que realiza. Por otro lado, en un trabajo llevado a cabo por González-Badillo et al. (2017), se observó la existencia de una relación alta entre el porcentaje de pérdida de velocidad que tenía lugar durante la serie y el porcentaje de repeticiones realizadas con respecto al máximo número de repeticiones posibles en el ejercicio de press de banca ante distintas intensidades relativas. Además, en este mismo trabajo se observó una buena fiabilidad absoluta para el porcentaje de repeticiones realizadas ante una determinada pérdida de velocidad establecida. Este hecho cobra especial relevancia de cara al control y dosificación de la carga de entrenamiento, ya que, aunque no todos los sujetos realizan las mismas repeticiones ante la misma intensidad relativa (% 1RM) (Desgorces et al., 2010; Panissa et al., 2013; Richens & Cleather, 2014), se ha observado que si realizan el mismo porcentaje aproximado de las repeticiones con respecto a las máximas posibles ante una misma pérdida de velocidad en la serie (González-Badillo, et al., 2017). Estos resultados ponen de manifiesto la posibilidad de utilizar la pérdida de velocidad dentro de la serie como método para determinar el número de repeticiones que cada individuo debe de realizar para provocar en él un determinado grado de esfuerzo deseado, en el ejercicio de press de banca. Por tanto, dada la validez de dicho método, parece razonable seguir estudiando la relación entre la pérdida de velocidad en la serie y el porcentaje de repeticiones realizadas en los diferentes ejercicios de entrenamiento.

A raíz de los estudios científicos publicados, el *grado de esfuerzo* programado debería venir definido por la velocidad de la 1ª repetición y por la pérdida de velocidad en la serie (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). A través del control de estas dos variables podríamos hacer una estimación del grado de esfuerzo que representa una determinada actividad de entrenamiento con cargas

adicionales. Según nuestro conocimiento, hasta la fecha solo se han publicado dos estudios (Pareja-Blanco, Sánchez-Medina, Suárez-Arrones, & González-Badillo, 2016; Pareja-Blanco et al., 2016) que hayan tomado como variables independientes la velocidad de la primera repetición y la pérdida de velocidad en la serie. Dada las ventajas que nos proporciona este procedimiento para el control de la carga de entrenamiento y la escasez de trabajos que lo han empleado, se hace necesario más estudios que utilicen dichas variables para comprender mejor la relación entre el grado de esfuerzo realizado y el efecto sobre el rendimiento físico y deportivo.

La realización de manera simultánea (durante la misma sesión, mismo día, o días alternos) del entrenamiento de la fuerza y la resistencia es conocido habitualmente como entrenamiento concurrente. Desde el estudio pionero de Hickson (1980) hasta la actualidad, los efectos del entrenamiento simultáneo de la fuerza y la resistencia, así como los efectos de ambos tipos de entrenamiento realizados de manera aislada, sobre el rendimiento tanto en la fuerza como en la resistencia han recibido abundante atención por parte de la comunidad científica. Hasta la fecha, estas investigaciones han producido resultados inconsistentes y en algunos casos contradictorios. En algunos estudios se ha observado que el entrenamiento concurrente inhibe el desarrollo de la fuerza y la potencia, pero no afecta a los factores aeróbicos (Craig, Lucas, Pohlman, & Stelling, 1991; Dudley & Djamil, 1985; Hennessy & Watson, 1994; Hickson, 1980; Kraemer et al., 1995). Por el contrario, otros autores contemplaron que dicho entrenamiento no tiene efecto inhibitorio sobre el desarrollo de la fuerza o la resistencia (Abernethy & Quigley, 1993; Bell, Petersen, Wessel, Bagnall, & Quinney, 1991; McCarthy, Agre, Graf, Pozniak, & Vailas, 1995; Sale, MacDougall, Jacobs, & Garner, 1990) y que el desarrollo de la capacidad aeróbica se ha visto comprometida por el entrenamiento concurrente (Nelson, Arnall, Loy, Silvester, & Conlee, 1990). Finalmente, en algunos trabajos se ha observado un efecto aditivo sobre el rendimiento en resistencia por la incorporación de un entrenamiento de fuerza adicional al entrenamiento de resistencia habitual (Hoff, Gran, & Helgerud, 2002; Hoff, Helgerud, & Wisloeff, 1999; Østerås, Helgerud, & Hoff, 2002; Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2011; Rønnestad, Hansen, Hollan, & Ellefsen, 2015).

Las discrepancias en los resultados dentro de la literatura sobre entrenamiento concurrente posiblemente se deben a la utilización de diferentes protocolos de entrenamiento en cada estudio. Por ejemplo, algunos estudios han utilizado protocolos de

entrenamiento de fuerza de características isocinéticas (Abernethy & Quigley, 1993; Dudley & Djamil, 1985; Nelson et al., 1990), mientras que otros han empleado protocolos de entrenamiento de fuerza de características isoinerciales (Craig et al., 1991; Hennessy & Watson, 1994; Hickson, 1980; Kraemer et al., 1995; McCarthy et al., 1995; Sale et al., 1990). La naturaleza del entrenamiento de resistencia también difiere entre los estudios. Las modalidades de carrera (Damasceno et al., 2015; Hennessy & Watson, 1994; Kraemer et al., 1995; Taipale et al., 2014), pedaleo (Dudley & Djamil, 1985; Rønnestad et al., 2015; Sale et al., 1990; Sunde et al., 2010), remo (Bell et al., 1991; Bell, Syrotuik, Socha, Maclean, & Quinney, 1997) y una combinación de carreras y ciclismo (Hickson, 1980) han sido todos realizados como componentes de entrenamiento de resistencia de diversos estudios de entrenamiento concurrentes.

La naturaleza del entrenamiento de la fuerza utilizada también difiere entre los estudios de entrenamiento concurrente realizados hasta la fecha. La mayoría de dichos estudios han utilizado el tradicionalmente denominado entrenamiento de fuerza máxima o entrenamiento con cargas pesadas, entendido este como aquel que utiliza cargas que permiten realizar entre 1RM y 15RM (Knuttgen & Kraemer, 1987). Una característica habitual en muchos de estos estudios fue la realización del máximo número de repeticiones posibles (CE máximo) ante una carga determinada (por ejemplo: 5RM, 8RM, 10RM). La realización del máximo número de repeticiones posible (entrenamiento hasta el fallo muscular) ha sido asumido por muchos como uno de los pilares del entrenamiento de fuerza (Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Häkkinen, 2003; Campos et al., 2002; Drinkwater et al., 2005; Kraemer & Ratamess, 2004; Phillips, 2009), siendo esto necesario para maximizar las ganancias de fuerza y masa muscular. Sin embargo, cada vez más son los trabajos que cuestionan la eficacia de realizar el máximo número de repeticiones posible en cada serie (Drinkwater et al., 2007; Folland, Irish, Roberts, Tarr, & Jones, 2002; Izquierdo et al., 2006; Kramer et al., 1997). Estos autores argumentan que el entrenamiento de fuerza llevado hasta el fallo muscular puede reducir la cantidad de fuerza que el musculo es capaz de generar como consecuencia del daño muscular originado por el mismo. Además, la capacidad del sistema nervioso de activar voluntariamente la musculatura se puede ver comprometida como consecuencia de la fatiga asociada a la realización del máximo número de repeticiones posibles (Häkkinen, 1993). Del mismo modo, la capacidad del musculo de producir fuerza rápidamente ('rate of force development', RFD) y, la potencia propia de la gran mayoría de los movimientos

deportivos podría verse comprometida (Häkkinen & Kauhanen, 1989). Por tanto, a raíz de que gran parte de los estudios sobre entrenamiento concurrente han utilizados CE máximos durante el entrenamiento de fuerza, y que el entrenamiento hasta el fallo muscular parece no ser el más adecuado para la mejorar de la mayoría de los movimientos deportivos, consideramos necesario estudiar los efectos que el entrenamiento de fuerza, realizando el máximo número de repeticiones posibles o, aproximadamente, la mitad de dichas repeticiones, tiene sobre el rendimiento en la fuerza y en la resistencia, cuando el entrenamiento de ambas cualidades se realiza de manera concurrente.



ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

3 Estado actual del conocimiento

3.1 Aspectos generales del ejercicio de dominadas

La dominada es un ejercicio de cadena cinética cerrada, multiarticular, que puede ser utilizado para mejorar la fuerza y la estabilidad de la cintura escapular, así como la capacidad de aplicar altos valores de fuerza en ejercicios de tracción (Ellenbecker & Davies, 2001). En dicho ejercicio, el deportista se encuentra sustentado de sus manos (con un agarre en pronación, supinación o neutro) sobre una barra horizontal situada por encima de su cabeza. Con la ayuda de la fuerza de los brazos, hombros y espalda (Youdas et al., 2010), el cuerpo es desplazado verticalmente hasta que la barbilla sobrepasa el borde superior de la barra horizontal.

La ejecución técnica del ejercicio de dominadas con el agarre en pronación ha sido descrita por diferentes autores (Ellenbecker & Davies, 2001; Floyd & Thompson, 2012; Ronai & Scibek, 2014). Dentro de la descripción de dicho ejercicio, habitualmente se diferencian tres fases: posición inicial, fase ascendente y fase descendente. Durante la posición inicial, el individuo realiza un agarre ligeramente más amplio que la anchura de los hombros sobre una barra situada por encima de la cabeza quedando colgado verticalmente. En esta posición, el tronco se mantiene en posición neutral (entre flexión y extensión) y vertical (Ronai & Scibek, 2014). En la fase ascendente, el cuerpo es desplazado con una trayectoria lineal hasta que la parte inferior de la barbilla está a nivel con o por encima del borde superior de la barra (Floyd & Thompson, 2012; LaChance & Hortobagyi, 1994; Ricci, Figura, Felici, & Marchetti, 1988; Youdas et al., 2010). Durante su ejecución es importante tratar de evitar todo tipo de balanceo, patadas, o movimientos de rotación, y hacer una pausa momentánea para permitir que la barbilla pase por encima de la parte superior de la barra horizontal. Finalmente, durante la fase descendente, la acción excéntrica de los músculos ayuda al cuerpo a seguir una trayectoria lineal y controlada, con el objetivo de evitar una excesiva elevación de la escapula, flexión de la articulación glenohumeral, extensión del codo y flexión y/o extensión del tronco. Los ejecutantes deben tratar de mantenerse rectos y evitar dejarse caer en la fase descendente (descenso controlado; Floyd & Thompson, 2012; LaChance & Hortobagyi, 1994).

Normalmente, los individuos se ven limitados a usar únicamente su propio peso como resistencia, aunque un peso extra puede ser añadido mediante el uso de cinturones o chalecos especializados para lograr una mayor resistencia (Baker & Newton, 2004;

Vanderburgh & Edmonds, 1997). Como variante de dicho ejercicio, los individuos pueden realizar el agarre en supinación o neutro (Ronai & Scibek, 2014) incrementando así la activación del bíceps braquial (Youdas et al., 2010), siendo considerado generalmente más fácil para individuos con poca experiencia.

El ejercicio de dominadas es utilizado habitualmente durante el entrenamiento en disciplinas deportivas que requieren altos valores de fuerza en acciones de tracción tales como el Piragüismo (García-Pallarés, Sánchez-Medina, Carrasco, Díaz, & Izquierdo, 2009; Izquierdo-Gabarren & Izquierdo, 2010), la Escalada (Bacon et al., 2012; Grant, Hynes, Whittaker, & Aitchison, 1996) o el Kayak (McKean & Burkett, 2014). Además, ha sido utilizado tradicionalmente para evaluar la fuerza y la resistencia muscular del miembro superior en niños, adolescentes, hombres y mujeres (Flanagan, Vanderburgh, Borchers, & Kohstall, 2003; Ronai & Scibek, 2014; Youdas et al., 2010). Por otro lado, se ha observado que la capacidad de levantar el peso corporal es necesaria para el desempeño de tareas especificadas relacionadas con determinados puesto de trabajo tales como militares, policías y bomberos (Harman et al., 2008; Williford et al., 1999). Por ejemplo, Williford et al. (1999) hallaron que el mejor modelo para predecir el tiempo para completar un circuito de evaluación del rendimiento físico consistente en la realización de acciones típicas realizadas por bomberos incluía el número de repeticiones realizadas hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas, además del tiempo en recorrer 1.5 millas y la masa libre de grasa (MLG). Hoy en día, el rendimiento en el ejercicio de dominadas, evaluado mediante el número máximo de repeticiones que pueden ser desarrolladas hasta el fallo muscular, forma parte habitualmente de los procesos de selección para los aspirantes que quieren acceder a Las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (Cuerpo Nacional de Policía, Cuerpos de Policía dependientes de las Comunidades Autónomas, y Cuerpos de Policía dependientes de las Corporaciones Locales) y Servicio de Extinción de Incendios y Salvamento (Bomberos).

En la presente Tesis Doctoral se han realizado dos estudios (**Estudio I y II**) sobre el ejercicio de dominadas con el agarre en pronación con el objetivo de ampliar el conocimiento sobre aquellos factores que pueden ser relevantes para la mejora del rendimiento en dicho ejercicio.

3.2 Factores determinantes del rendimiento en dominadas

3.2.1 Influencia de la fuerza y la resistencia muscular sobre el rendimiento

En un intento de aumentar el conocimiento sobre aquellas variables que pueden tener influencia sobre el rendimiento en el máximo número de repeticiones realizado con el propio peso corporal en el ejercicio de dominadas, son varios los autores que han analizado las posibles relaciones entre diferentes variables de fuerza y resistencia muscular en el movimiento de tracción de un ejercicio aparentemente similar al ejercicio de dominadas, como es el ejercicio de polea al pecho, y el rendimiento en el ejercicio de dominadas (Chandler, Ware, & Mayhew, 2001; Halet, Mayhew, Murphy, & Fanthorpe, 2009; Johnson et al., 2009).

El método comúnmente más utilizado para la evaluación de la fuerza muscular es a través de la repetición máxima (1RM), el cual requiere que el sujeto desplace el máximo peso posible a través de un rango completo de movimiento en un ejercicio determinado. Por otra parte, la evaluación de la resistencia muscular suele realizarse mediante el máximo número de repeticiones posibles ante una determinada carga. Dicha resistencia muscular suele expresarse en términos absolutos o relativos. Ambos enfoques requieren la realización de tantas repeticiones como sea posible dentro de un límite de tiempo o hasta el fallo muscular. La expresión absoluta de la resistencia muscular utiliza una cantidad fija de peso seleccionada en base a algún criterio relevante para el grupo que está siendo evaluado. La expresión relativa a menudo utiliza un porcentaje de 1RM o el propio peso corporal. Los test de resistencia que utilizan ejercicios de tipo calistenia, como por ejemplo las dominadas o las flexiones, típicamente implican el levantamiento de la totalidad o parte de la masa del cuerpo tantas veces como sea posible dentro de un plazo determinado de tiempo o hasta el fallo muscular en un movimiento que imita a un ejercicio de resistencia (Johnson et al., 2009).

Los autores mencionados anteriormente (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009; Johnson et al., 2009) se han centrado principalmente en analizar la relación entre indicadores de fuerza máxima (1RM) y resistencia muscular expresados en términos relativos (máximo número de repeticiones posibles con una carga equivalente al 60 y al 80% de 1RM en el ejercicio de polea al pecho, y con la propia masa corporal en el ejercicio de dominadas), en ambos ejercicios, además de estudiar la influencia de la composición corporal sobre

dichos indicadores. En dos de los estudios citados se observó que el número de repeticiones realizadas hasta el fallo en el ejercicio de dominadas no tuvo relación con el valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho y con el número máximo de repeticiones realizadas con el 60 y 80% de 1RM en dicho ejercicio (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009). Sin embargo, Halet et al. (2009) observaron la existencia de una correlación moderada ($r = 0.69$) entre el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas y el valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho cuando éste fue relativizado con respecto a la masa corporal ($1RM/masa\ corporal [MC]$). En este sentido, en un análisis realizado por Halet et al. (2009), en el que los individuos fueron divididos en función del grado de fuerza relativa a la MC en el ejercicio de polea al pecho, se observó que aquellos individuos con una mayor fuerza relativa ($\geq 1.0\ kg/kg\ MC$) realizaron significativamente un mayor número de repeticiones en el ejercicio de dominadas que aquellos individuos con menor fuerza relativa ($< 1.0\ kg/kg\ MC$).

Como síntesis de todos estos estudios, parece ser que no se observaron relaciones claras entre ambos ejercicios. Esto podría ser debido a que el número de repeticiones hasta el fallo muscular en el ejercicio de dominadas puede ser considerado como una manifestación de resistencia muscular relativa a la MC, mientras que el número de repeticiones en el ejercicio de polea al pecho ante el 60 y 80% de 1RM, a pesar de ser también un indicador de resistencia muscular, no está relacionado con la MC de los individuos. La falta de relación entre estos ejercicios era de esperar debido a que se están evaluando indicadores de resistencia muscular diferentes, como veremos a continuación. Lo mismo ocurre cuando lo comparamos con el valor de 1RM. Mientras que en el ejercicio de dominadas evaluaríamos valores de fuerza relativos a la MC, en el ejercicio de polea al pecho se miden valores absolutos de fuerza. De ahí la necesidad de relativizar los valores en función a la MC en el ejercicio de polea al pecho para observar relaciones entre ambos ejercicios. De hecho, cuando la fuerza máxima (1RM) fue evaluada en ambos ejercicios queda de manifiesto la existencia de una relación grande ($r = 0.78$) entre ellos (Johnson et al., 2009). Por tanto, la fuerza de la musculatura del hombro, brazo y espalda parece ser un factor determinante del rendimiento en el ejercicio de dominadas siempre y cuando se tenga en cuenta la relación de esta con la MC de los individuos.

Por tanto, en el **Estudio I** se analizó de nuevo la relación entre ambos ejercicios incluyendo, por primera vez, una medida de resistencia muscular ante una carga

equivalente al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho. Este estudio nos puede ayudar a mejorar nuestro conocimiento sobre aquellos factores determinantes del rendimiento en el ejercicio de dominadas.

3.2.2 Influencia de la composición corporal sobre el rendimiento

Además, en los estudios citados anteriormente, también se analizó la influencia que la composición y la masa corporal tuvo sobre el rendimiento en 1RM en el ejercicio de polea al pecho y sobre el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas. Por ejemplo, Halet et al. (2009) observaron la existencia de una relación negativa y significativa entre la MC ($r = -0.47$), la masa libre de grasa ([MLG], $r = -0.43$) y la masa grasa ([MG], $r = -0.44$) con respecto al número máximo de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas, mientras que dichas relaciones se tornaron positivas con respecto al valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho ($r = 0.38$, $r = 0.41$, $r = 0.41$, respectivamente). Resultados similares a estos últimos fueron observados por Johnson et al. (2009) entre el valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho y la MC ($r = 0.47$) y la MLG ($r = 0.55$). No obstante, en este último trabajo (Johnson et al., 2009), en el que la fuerza máxima (1RM) fue evaluada en el ejercicio de dominadas, la relación con dichas variables de composición corporal (MC y MLG) también fueron positivas ($r = 0.67$, y $r = 0.76$, respectivamente). Estos resultados parecen indicar que la influencia que la composición corporal sobre el ejercicio de dominadas y polea al pecho variará en función de la manifestación del rendimiento que pretendamos evaluar (fuerza o resistencia muscular).

En la presente Tesis Doctoral (**Estudio I**) se estudió la influencia de la composición corporal y el somatotipo sobre el rendimiento en ambos ejercicios. Este estudio puede añadir información sobre aquellos componentes de la composición corporal que tienen influencia sobre el rendimiento en el ejercicio de dominadas, cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones que pueden ser realizado con la propia masa corporal.

3.3 La velocidad de ejecución como medio para la programación, el control y la evaluación del entrenamiento de fuerza

3.3.1 La velocidad de ejecución como indicador de intensidad relativa

El proceso de entrenamiento exige un constante control y análisis tanto de la carga de trabajo como de los efectos de la misma para la optimización del rendimiento deportivo. Una de las problemáticas a las que se enfrentan diariamente los entrenadores es la de cómo cuantificar y controlar objetivamente la carga real de entrenamiento. La intensidad es reconocida por la comunidad científica como la variable más importante a considerar cuando se diseña un programa de entrenamiento de fuerza (Fry, 2004; Hoffman, 2014; Kraemer, Fleck, & Deschenes, 1988; Kraemer & Ratamess, 2004).

La intensidad debe entenderse como el grado de esfuerzo desarrollado al realizar un ejercicio o actividad de entrenamiento en cada unidad de acción (repetición) (González-Badillo & Ribas, 2002). Ésta puede expresarse en términos absolutos (el peso en kg utilizado en cada serie de ejercicio) o relativos (mediante el porcentaje que representa dicho peso del máximo que el atleta puede levantar en ese ejercicio). Dicho máximo es lo que se conoce comúnmente como una repetición máxima (1RM).

Como ya hemos comentado en párrafos anteriores, la expresión de la intensidad como porcentaje de una repetición máxima (%1RM) o como el número de repeticiones máximas que pueden completarse con una carga determinada (XRM) presentan una serie de inconvenientes los cuales conllevan a que estos métodos no sean los más apropiados para controlar con precisión el esfuerzo real que el atleta está realizando en cada sesión de entrenamiento.

Como alternativa a estos métodos, se ha propuesto usar la relación fuerza-velocidad, y más concretamente, la velocidad del levantamiento, como indicador de intensidad en el ejercicio de entrenamiento (González-Badillo, 1991). La relación fuerza-velocidad del músculo esquelético es un fenómeno bien conocido desde los trabajos pioneros de A.V. Hill (Hill, 1938, 1953), y ha sido extensamente estudiada bajo condiciones tanto in vitro como in vivo (Caiozzo, Perrine, & Edgerton, 1981; Gülch, 1994). De forma similar, la relación carga-velocidad ha sido descrita para el ejercicio de fuerza realizado en

condiciones isoinerciales y con máxima voluntariedad por parte del sujeto (Cronin, Mcnair, & Marshall, 2003; Jidovtseff et al., 2008). Investigaciones recientes (Crewther, Cronin, & Keogh, 2005; Frost, Cronin, & Newton, 2008; Jidovtseff et al., 2006; Schilling, Falvo, & Chiu, 2008) han destacado la importancia de llevar a cabo análisis mecánicos de los ejercicios más comúnmente empleados en el entrenamiento de fuerza con el fin de mejorar nuestro conocimiento sobre la mejor manera de optimizar el desarrollo de la fuerza y la potencia muscular. Por tanto, el papel que desempeña la velocidad de ejecución del movimiento en acciones dinámicas, parece ser una cuestión importante a tener en cuenta para el control y dosificación de la carga de entrenamiento en el ejercicio de fuerza muscular.

Hasta donde llega nuestro conocimiento, el trabajo de González-Badillo & Sánchez-Medina (2010) fue el primero en examinar la relación entre la intensidad relativa (% 1RM) y la velocidad del movimiento. El principal hallazgo de dicho estudio fue la estrecha relación ($R^2 = 0.98$) encontrada entre la intensidad relativa (% 1RM) y la velocidad media propulsiva (VMP) del levantamiento, lo cual indica que cada porcentaje de 1RM tiene su propia velocidad. Estos resultados arrojan importantes implicaciones para la dosificación y el control de la carga de entrenamiento ya que permite determinar, con gran precisión, qué porcentaje de la 1RM está utilizando un sujeto nada más realizar, a la máxima velocidad posible, la primera repetición con una carga dada, es decir, permite conocer la intensidad relativa con la que entrena el sujeto. Por tanto, si la velocidad de la repetición es controlada habitualmente es posible determinar si la carga (kg) propuesta para una sesión de entrenamiento dada verdaderamente representa el esfuerzo real (% 1RM) que se pretendía (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). En este mismo estudio se observó que la VMP correspondiente a cada porcentaje de 1RM se mantuvo estable (diferencia desde 0.00 a 0.01 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) a pesar de un incremento del 9.3% en el valor de 1RM en un grupo de 56 individuos que repitieron la medición tras 6 semanas de entrenamiento. Estos resultados apoyan firmemente la hipótesis de los autores de que la velocidad (VMP) con la que se desplaza una carga es un indicador válido y muy estable del porcentaje de la 1RM que representa cada carga absoluta (peso).

Otro hallazgo observado en el citado estudio fue la velocidad a la que tiene lugar 1RM (V_{1RM}) en el ejercicio de press de banca. Estos autores observaron que la V_{1RM} fue de $0.16 \pm 0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y siguió una distribución normal que fue desde $0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a $0.24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Estos valores están en concordancia con los ofrecidos, por primera vez, por González-

Badillo (2000), y posteriormente a estos, por Izquierdo et al. (2006). Conocer la velocidad a la que tiene lugar 1RM nos va a proporcionar información importante para el control y dosificación de la carga de entrenamiento del ejercicio en concreto. Poder proporcionar un valor propio de V_{1RM} nos va permitir diferenciar entre un valor real de 1RM y uno falso. Esta diferenciación es importante ya que como han determinado González-Badillo & Sánchez-Medina (2010), la V_{1RM} influye en la velocidad que se alcanza con cada porcentaje de 1RM. Este hallazgo está respaldado por la tendencia ($r = 0.27$; $P < 0.01$) al aumento de la velocidad media ante todos los porcentajes a medida que aumenta la V_{1RM} que encontraron en el mencionado estudio. Esto supone que, si no se mide la velocidad con la que se alcanza la 1RM, algo bastante frecuente, no se puede detectar el error en la medida, y por ello la velocidad correspondiente a cada porcentaje de 1RM, y los valores de los propios porcentajes, se alejan de los valores verdaderos.

Los resultados obtenidos en dicho estudio permitieron a los investigadores llegar a las siguientes conclusiones (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010):

- “Cada porcentaje de 1RM tiene su propia velocidad media. Esto significa que la velocidad media alcanzada en la primera repetición dentro de la serie determina la intensidad real del esfuerzo que está teniendo lugar”.
- “La velocidad media alcanzada con cada porcentaje de 1RM permanece estable después de que el valor de 1RM de un sujeto se vea modificado después de un período de entrenamiento de la fuerza”.
- “La velocidad media alcanzada con la 1RM (V_{1RM}) determina los cambios sutiles que podrían tener lugar en la VMP con cada porcentaje de 1RM cuando se repite una prueba después de un período de entrenamiento”.
- “En el ejercicio de press de banca, sólo aquellas repeticiones cuya VMP no es mayor que $0.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ deben ser consideradas como verdadera 1RM. Cuando la V_{1RM} supera esta cifra, las VMP alcanzadas con cada %1RM se desviarían de sus valores verdaderos”.
- “La velocidad de movimiento, expresada como velocidad media propulsiva (VMP), puede ser considerada como una variable estable para evaluar la fuerza muscular en condiciones isoinerciales”.

Posteriormente al trabajo de González-Badillo & Sánchez-Medina (2010) se han realizado varios trabajos que han estudiado la relación entre la intensidad relativa

(%1RM) y la velocidad de desplazamiento (velocidad media y VMP) en diferentes ejercicios tanto del miembro superior como del miembro inferior. Entre ellos, Sánchez-Medina et al. (2014) observaron una relación alta ($R^2 = 0.94$) en el ejercicio de remo. Con respecto a los ejercicios del miembro inferior, también se ha observado una relación alta ($R^2 \sim 0.95$) en el ejercicio de sentadilla completa (Sánchez-Medina, et al. 2017), media sentadilla (Conceição et al., 2016; Loturco, et al., 2016) y prensa de piernas (Conceição et al., 2016). Todos estos resultados destacan la importancia práctica de considerar la velocidad de movimiento para el control y dosificación de la carga de entrenamiento en los ejercicios de fuerza muscular.

En la presente Tesis Doctoral (**Estudio II**) se examinó la posibilidad de usar la velocidad de movimiento (velocidad media propulsiva) como variable para estimar la intensidad relativa (%1RM) y, por tanto, la intensidad o grado de esfuerzo, en el ejercicio de dominadas.

3.3.2 La pérdida de velocidad dentro de la serie como indicador de fatiga

Enoka & Stuard (1992) definieron la fatiga como la disminución inevitable de la fuerza aplicada después de un esfuerzo. Se ha propuesto que “la disminución de la velocidad del movimiento ante una misma carga, que es consecuencia de la fuerza aplicada, expresará de manera muy precisa el grado de fatiga” (González-Badillo et al., 2017). Esta propuesta viene fundamentada por los resultados del estudio llevado a cabo por Sánchez-Medina & González-Badillo (2011). En el citado estudio, se analizó los efectos de 15 tipos distintos de CE (6[12], 8[12], 10[12], 12[12], 6[10], 8[10], 10[10], 4[8], 6[8], 8[8], 3[6], 4[6], 6[6], 2[4] y 4[4]) sobre indicadores de fatiga de carácter mecánicos (pérdida de velocidad media propulsiva [VMP] dentro de la serie [%], pérdida de VMP ante la carga de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ y pérdida de altura en el salto vertical [CMJ]), metabólicos (concentración de amonio, lactato y glucosa, medida en sangre capilar total) y hormonales (concentración de testosterona total, GH, IGF-1, cortisol, insulina y péptido-C, medida en suero).

Uno de los principales resultados observados por dichos autores fue que tanto la pérdida de VMP dentro de la serie, como la pérdida de VMP con la carga de $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ aumentó gradualmente a medida que el número de repeticiones realizado en cada serie se acercaba al número de repeticiones posibles para cada intensidad relativa utilizada (4RM, 6RM,

8RM, 10RM y 12RM). Del mismo modo, la concentración de lactato post-ejercicio aumentó linealmente a medida que el número de repeticiones realizado en cada serie se acercó al número máximo de repeticiones previsto, alcanzando sus valores pico ($\sim 10.5 - 12.5 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en sentadillas y, $\sim 7.5 - 8.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ en press banca) para los CE máximos (8[8], 10[10], y 12[12]). Además, los niveles de amonio post-ejercicio fueron significativamente más altos a los valores de reposo para los grados de esfuerzos: 3x12 [12], 3x10 [12], 3x10 [10], 3x8 [10], 3x8 [8], y 3x6 [6] para el ejercicio de press de banca y, para los grados de esfuerzos: 3x12 [12], 3x10 [12], 3x10 [10], y 3x8 [8] para el ejercicio de sentadillas. Finalmente, en relación a las variables hormonales, la concentración sanguínea de testosterona incrementó por encima de los valores de reposos cuando el CE fue máximo, o cuando se realizaron dos repeticiones menos de las posibles, cosa que no ocurrió al realizar solamente la mitad de las repeticiones posibles dentro de cada tipo de CE. La concentración de GH aumentó con cada CE, especialmente en 12[12], 10[12], 8[12], 10[10] y 8[8] en sentadillas y 12[12], 10[12], 10[10] y 6[6] en press de banca. Finalmente, los niveles post-ejercicio de cortisol e insulina mostraron una ligera tendencia a aumentar a medida que disminuía la diferencia entre el número de repeticiones realizadas y el realizable para cada tipo de CE.

Otro novedoso resultado observado por dichos autores (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011) fue la relación existente entre la pérdida de VMP dentro de la serie y los diferentes indicadores de fatiga evaluado. Además, la pérdida de VMP dentro de la serie presentó la misma tendencia en los ejercicios de sentadilla y press de banca, y dicha pérdida fue progresivamente creciente a medida que aumenta el CE, es decir, conforme aumenta el número de repeticiones realizadas con respecto a las realizables. Por ejemplo, cuando se realizó aproximadamente el 50% del máximo número de repeticiones posibles para cada uno de los tipos de CE analizados, las pérdidas VMP dentro de la serie en ambos ejercicios fueron similares (aproximadamente el 20%). Sin embargo, cuando se realizó el máximo número de repeticiones posible en cada grado de esfuerzo, las pérdidas fueron mayores en el ejercicio de press banca que en sentadillas (60% vs. 45%, respectivamente). Este hecho viene explicado por la diferencia observada en la velocidad a la que se realiza la 1RM en ambos ejercicios (aproximadamente 0.16 y $0.40 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, para el ejercicio de press banca y sentadillas, respectivamente) (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2011). Por otra parte, para el ejercicio de sentadillas, se encontraron correlaciones altas entre el porcentaje de pérdida de altura del CMJ pre-post

ejercicio y la pérdida media de VMP en tres series ($r = 0.92$, $P < 0.001$). Resultados similares fueron observados con el pico de lactato post-ejercicio para los ejercicios de sentadillas ($r = 0.97$, $P < 0.001$) y press banca ($r = 0.95$, $P < 0.001$). A diferencia del lactato, que aumentó linealmente cuanto mayor fue la pérdida de velocidad, la respuesta del amonio siguió una relación curvilínea. Algunos protocolos, especialmente, aquellos que consistieron en ocho o más repeticiones por serie y realizados hasta el fallo (8[8], 10[10], 12[12]), causaron aumentos de la concentración de amonio por encima de los valores de reposo, lo cual podría indicar una acelerada degradación de los nucleótidos de purina, por lo que sugieren que estos protocolos podrían requerir mayores periodos de tiempo para volver a recuperar los niveles de rendimiento iniciales (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Estos autores proporcionaron unos umbrales de máxima pérdida de velocidad permitida en la serie (~30% para sentadillas y ~35% para press de banca) si el objetivo es que los valores de amonio en sangre no aumenten por encima de los valores de reposo. La evolución del amonio presentó también una relación curvilínea muy estrecha con las pérdidas de velocidad dentro de la serie ($R^2 = 0.85$ y $R^2 = 0.89$, para para sentadillas y press de banca, respectivamente). Con respecto a las variables hormonales, tanto la concentración sanguínea de testosterona ($r = 0.83$ y $r = 0.81$, en sentadillas y press banca, respectivamente) como GH ($r = 0.82$ y $r = 0.83$, en Sentadillas y press banca, respectivamente) mostraron una relación significativa con la pérdida de VMP dentro de la serie. Al igual que testosterona y GH, el cortisol e insulina mostraron una relación con las distintas variables mecánicas que fueron desde $r = 0.56$ a $r = 0.88$.

Estos resultados constatan la existencia de una relación entre los distintos grados de esfuerzo (CE) y el estrés metabólico y hormonal. Además, dicho estrés metabólico y hormonal presentó una relación con la pérdida de velocidad dentro de la serie, después de la serie y pérdida de altura en un salto vertical. Estas relaciones vienen a ratificar la validez del empleo de la pérdida de velocidad en la serie como un indicador suficientemente preciso para determinar el grado de esfuerzo que está suponiendo para el sujeto el entrenamiento que realiza.

En la presente Tesis Doctoral utilizaremos la pérdida de velocidad dentro de la serie como variable independiente durante el **estudio III** para diferenciar entre los dos grados de esfuerzos realizados durante el entrenamiento de fuerza.

3.3.3 La pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado

La variable intensidad, por sí sola, no determina las adaptaciones que el entrenamiento de fuerza inducirá en el organismo (Mitchell et al., 2012), sino que, para una descripción más completa del estímulo que supondrá el entrenamiento habría que añadir otras variables como volumen, tipo y orden de los ejercicios, relación entre el tiempo de trabajo y descanso (Kraemer & Ratamess, 2004).

El volumen hace referencia a la total de cantidad trabajo realizada en una sesión de entrenamiento, en una semana, en un ciclo completo, en una temporada, etc. La mejor forma de expresar el volumen es por medio del número de repeticiones que se realizan, ya que esto tiene relación directa con el tiempo bajo tensión o duración del estímulo (González-Badillo & Gorostiaga, 2002). No obstante, como ya hemos comentado, la expresión del volumen de entrenamiento como el número de repeticiones que se realizan también presenta sus inconvenientes.

En un estudio reciente se analizó la relación entre la pérdida de velocidad (VMP) dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones posibles (González-Badillo et al., 2017). Dichos autores observaron la existencia de una relación alta ($R^2 = 0.96 - 0.97$) entre el porcentaje de pérdida de VMP dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizadas en relación al máximo número de repeticiones que pueden realizarse hasta alcanzar el fallo muscular con 8 intensidades relativas diferentes en el ejercicio de press de banca (50, 55, 60, 65, 70, 75, 80 y 85% de 1RM). Además, estos mismos autores observaron la existencia de una alta fiabilidad absoluta (Coeficiente de variación [CV] = 2.1 – 6.6%) para el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones que pueden realizarse hasta el fallo para cada magnitud de porcentaje de pérdida de velocidad. Estos resultados ponen de manifiesto la posibilidad de utilizar la pérdida de velocidad dentro de la serie como una variable para determinar el número de repeticiones que deben ser realizadas. Este hallazgo nos permite dar solución a una serie de problemáticas relacionadas con la determinación de un número fijo de repeticiones por series como volumen de entrenamiento, práctica habitual en el entrenamiento de la fuerza. Como se ha observado previamente, existe una variabilidad entre individuos en el número de repeticiones

máximas que pueden ser realizadas ante una misma intensidad relativa (González-Badillo et al., 2017; Richens & Cleather, 2014; Sakamoto & Sinclair, 2006; Shimano et al., 2006; Terzis, Spengos, Manta, Sarris, & Georgiadis, 2008). Por tanto, si durante una sesión de entrenamiento todos los participantes realizan el mismo número de repeticiones por serie ante la misma carga relativa es muy probable que estén sometidos a un grado de esfuerzo diferente, el cual viene determinado por las posibles diferencias existentes en el número de repeticiones en reserva (es decir, aquellas repeticiones que no son completadas).

En lugar de fijar un número de repeticiones fijas por serie, parece ser más apropiado detener o terminar cada serie de entrenamiento tan pronto como se detecta un cierto nivel de fatiga neuromuscular (Pareja-Blanco, et al., 2016; Pareja-Blanco, et al., 2016). Durante el entrenamiento de fuerza en condiciones isoinerciales, y suponiendo que cada repetición se realiza con el máximo esfuerzo voluntario, se observa una disminución involuntaria de la fuerza, la velocidad y, por tanto, de la potencia a medida que el número de repeticiones realizado se aproxima al máximo número de repeticiones realizables, fallo muscular (Izquierdo et al., 2006; Pareja-Blanco, et al., 2016; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). La relación observada entre la pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado con respecto a las realizables va permitir: i) determinar el grado real de esfuerzo que el deportista realiza durante cada ejercicio; e ii) igualar el grado de esfuerzo para cada sujeto durante el entrenamiento. Por ejemplo, los resultados arrojados por González-Badillo et al. (2017) para el ejercicio de press de banca indican que, cuando un individuo alcanza una pérdida en la VMP dentro de la serie comprendida entre el 25-30% con intensidades relativas entre el 50 - 70% 1RM, habría realizado aproximadamente el 50% de las repeticiones posibles (dejando el otro 50% sin hacer). Sin embargo, si la serie se continúa hasta que se produzca una pérdida en la VMP del 70%, el porcentaje de repeticiones completadas habría aumentado aproximadamente hasta el 90% (dejando sólo el 10% de repeticiones en reserva).

Dada la utilidad práctica de este método para controlar el grado de esfuerzo en el ejercicio de press de banca, parece razonable seguir ampliando el conocimiento a diferentes ejercicios. Por tanto, en la presente Tesis Doctoral (**Estudio II**) se estudió la relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado en relación al máximo número de repeticiones que pueden ser realizadas hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas.

3.3.4 Efectos del entrenamiento de fuerza con distintos pérdida de velocidad

Como hemos mencionado en el apartado 3.3.2, una mayor o menor pérdida de velocidad dentro de la serie estuvo asociado con mayores o menores manifestaciones de fatiga, permitiendo así una estimación del grado de esfuerzo que supone una determinada pérdida de velocidad, observándose las diferencias más acentuadas cuando comparamos aquellos esfuerzos donde se realizan la mitad de las repeticiones posibles (por ejemplo: 4[8] o 6[12]) con aquellos donde se realizan todas las repeticiones posibles (por ejemplo: 8[8] o 12[12]) (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Por otro lado, en el apartado 3.3.3, hemos comentado como un método apropiado para igualar el grado de esfuerzo entre distintas personas consiste en igualar la pérdida de velocidad que tiene lugar dentro de la serie (González-Badillo et al., 2017). Una vez conocidos estos avances para la programación y el control de la carga durante el entrenamiento de fuerza, se hace necesario repasar los resultados de estudios que hayan utilizado dicha metodología con el objetivo de analizar los efectos que distintos porcentajes de pérdida de velocidad dentro de la serie tienen sobre el rendimiento físico y deportivo.

En este sentido, según nuestro conocimiento, solo dos trabajos han estudiado los efectos de un entrenamiento de fuerza con diferentes grados de esfuerzo, determinados éstos mediante la pérdida de velocidad (VMP) permitida dentro de la serie (Pareja-Blanco et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2016) sobre el rendimiento físico y deportivo. En uno de ellos (Pareja-Blanco et al., 2016), dichos autores tuvieron como objetivo analizar los efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza que utilizaron la misma intensidad relativa pero con un volumen de entrenamiento diferente, determinado a través de la pérdida de velocidad dentro de la serie (15% [VL15] vs. 30% [VL30]), sobre el rendimiento en 1RM estimada, altura del salto vertical, el tiempo en recorrer 30 m y un test intermitente “Yo-yo”, en un grupo de futbolistas profesionales. Los deportistas realizaron 18 sesiones de entrenamiento distribuidas a lo largo de 6 semanas de entrenamiento, con un rango de intensidades que fueron desde una VMP de $1.13 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~50% 1RM) hasta una VMP de $0.82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~70% 1RM). El grupo VL15 mejoró significativamente el valor de 1RM estimada ($P < 0.05$), la altura del salto vertical ($P < 0.05$) y el tiempo en el test intermitente “Yo-yo” ($P < 0.01$), mientras que el grupo VL30 mostró mejoras solo en el test intermitente ($P < 0.01$). La altura del salto vertical reveló una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ a favor del grupo VL15.

Posteriormente, estos mismos autores (Pareja-Blanco et al., 2016) realizaron un nuevo estudio con el objetivo de examinar los efectos de 8 semanas (16 sesiones) de entrenamiento de fuerza con un rango de intensidades que fueron desde una VMP de $0.85 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\sim 70\% 1\text{RM}$) hasta una VMP de $0.62 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\sim 85\% 1\text{RM}$) en dos grupos de entrenamiento, con la única diferencia de que a un grupo se le permitía un pérdida de velocidad dentro de la serie del 20% con respecto a la mejor VMP obtenida en la propia serie (VL20) y al otro grupo un 40% (VL40), sobre las adaptaciones estructurares y funcionales del musculo. Como fue observado por Sánchez-Medina y González-Badillo (2011), estos porcentajes equivalen a realizar aproximadamente la mitad de las repeticiones posibles en el caso de VL20 y prácticamente todas las repeticiones posibles en el caso de VL40 para el ejercicio de sentadillas.

En dicho estudio se observó que VL20 alcanzó unas ganancias en fuerza de miembro inferior medida a través de 1RM estimada en el ejercicio de sentadillas (Sánchez-Medina et al., 2011) similares a las de VL40 (17.6% y 13.5%, respectivamente), pero mayores ganancias en la capacidad de salto vertical (9.1% y 3.7%, respectivamente). El área de sección transversal (CSA) media de la fibra muscular aumentó de manera similar en ambos grupos (10.5%) tras la intervención del entrenamiento de fuerza. El análisis de ATPasa mostró que el entrenamiento realizado por VL40 redujo significativamente el porcentaje de fibras tipo IIX y el área relativa de fibras tipo IIX, mientras que permanecieron estables para VL20. El análisis de la composición de la cabeza pesada de miosina (MHC) mostró que el porcentaje de MHC IIX descendió en VL40 ($P < 0.001$) tras el entrenamiento mientras que se mantuvo para VL20. Finalmente, con respecto al área de sección transversal anatómica y volúmenes musculares, tras el entrenamiento, el volumen total de los cuádriceps y del vasto medial aumentaron significativamente en ambos grupos mientras que el volumen de vasto lateral y vasto interno sólo aumentó de manera significativa para el grupo VL40. El volumen del recto femoral permaneció sin cambios para ambos grupos. Por tanto, una mayor magnitud de pérdida de velocidad dentro de la serie (VL40) parece ser más adecuado para maximizar la respuesta hipertrófica, pero tiende a inducir un cambio en el fenotipo de la fibra muscular de rápida a lenta. A pesar de las mayores adaptaciones hipertróficas observadas en VL40, el grupo VL20 consiguió unas ganancias de fuerza similares en el ejercicio de sentadillas y superiores en el rendimiento en el salto vertical.

Estos estudios ponen de manifiesto que la pérdida de velocidad alcanzada durante la serie es una variable que debería tenerse en cuenta cuando se diseña un programa de entrenamiento de fuerza, ya que influye sobre las adaptaciones obtenidas. Aunque los diferentes grupos experimentales de ambos estudios entrenaron con la misma intensidad relativa (%1RM) en cada sesión y realizaron cada repetición a la máxima velocidad posible, una baja pérdida de velocidad dentro de la serie (15 - 20%) estuvo asociada con equivalentes o incluso superiores incrementos en el rendimiento que entrenar con una alta pérdida de velocidad (30 - 40%). Los autores dan como posible explicación de estos resultados el mantenimiento del porcentaje y del área relativa de fibras musculares tipo IIX experimentado por parte del grupo que trabajó con una baja pérdida de velocidad dentro de la serie y el mayor grado de hipertrofia muscular y la reducción significativa del porcentaje de fibras tipo IIX experimentado por el grupo que entrenó con una mayor magnitud de pérdida de velocidad dentro de la serie (Pareja-Blanco, et al. 2016).

3.4 Entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia

El entrenamiento de la fuerza y la resistencia llevado a cabo de manera simultánea se conoce como entrenamiento concurrente. Este tipo de entrenamiento pretende conseguir de forma combinada las adaptaciones asociadas a cada uno de ellos. En numerosos estudios se recomienda la prescripción de programas de entrenamientos que incluyan ejercicios de fuerza y de resistencia realizados de manera simultánea para la mejora del rendimiento deportivo (Balabinis, Psarakis, Moukas, Vassiliou, & Behrakis, 2003) y la salud (Garber et al., 2011).

El músculo esquelético es un tejido altamente maleable capaz de adaptarse metabólica y morfológicamente en respuesta a las alteraciones en la homeostasis celular inducida por el ejercicio (Coffey & Hawley, 2007; Flück & Hoppeler, 2003). Las adaptaciones del músculo esquelético son específicas para el modo de ejercicio realizado, junto con la frecuencia, la intensidad y la duración del estímulo de ejercicio (Hawley, 2002). Por tanto, el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia representa dos modalidades de ejercicios divergentes, cada una de ellas induciendo respuestas distintas dentro del músculo con el fin de minimizar el estrés celular durante las series de ejercicios posteriores (Mahoney & Tarnopolsky, 2005; Stepto et al., 2009).

Una de las principales adaptaciones al ejercicio crónico de fuerza es la hipertrofia de la fibra muscular (Fry, 2004), que es el resultado acumulativo de los aumentos transitorios de la síntesis neta de proteínas por encima de la descomposición de proteínas (Atherton & Smith, 2012; Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf, & Wolfe, 1997), dando lugar a un incremento de la fuerza contráctil máxima (Folland & Williams, 2007; Tesch, 1988). Por el contrario, el entrenamiento de resistencia produce adaptaciones opuestas, como son el incremento de la densidad mitocondrial y capacidad oxidativa (Holloszy, 1967), al tiempo que promueve alteraciones en el metabolismo de los sustratos (Holloszy & Coyle, 1984), que culminan en un aumento de la capacidad aeróbica de todo el cuerpo (VO_{2max}) (Hawley, 2002). Las adaptaciones máximas y simultáneas a ambos tipos de entrenamiento es compleja, ya que cuando se estimula un sistema de producción de energía y adaptación neuromuscular el sistema opuesto se inhibe (González-Badillo & Ribas, 2002). Por tanto, el entrenamiento de la fuerza y de la resistencia representa dos modalidades de ejercicios divergentes, cada una de ellas induciendo respuestas distintas

dentro del musculo esquelético con el fin de minimizar el estrés celular durante las series de ejercicios posteriores (Mahoney & Tarnopolsky, 2005; Stepto et al., 2009).

Todas las especialidades deportivas necesitan ciertos niveles de fuerza y de resistencia para alcanzar los mayores niveles de rendimiento. Así, según González-Badillo y Ribas (2002), “si el resultado en competición depende claramente de la fuerza máxima y de la producción de fuerza en la unidad de tiempo, lo más prudente es no entrenar la resistencia o hacerlo de una manera muy específica y moderada. Si el resultado depende claramente de la resistencia, el entrenamiento de fuerza puede jugar un papel relevante, y es poco probable que se produzcan graves problemas de interferencia entre las dos cualidades si la forma de entrenar la fuerza es la adecuada. Pero si el rendimiento depende en gran medida del desarrollo de ambas cualidades, el riesgo de que el entrenamiento de una de ellas interfiera en la mejora de la otra se acentúa”. La problemática que se plantea y las posibles alternativas de solución son muy variadas según las características de la especialidad de la que se trate.

3.4.1 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en fuerza y en resistencia

El Dr. Robert Hickson publicó en 1980 el primer estudio que analizó las posibles consecuencias que el entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia podría tener sobre el desarrollo de dichas cualidades en comparación con el entrenamiento independiente de las mismas. Dicho estudio, con el título “*Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance*”, se conoce hoy en día como el estudio seminal sobre el entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia.

En el citado estudio (Hickson, 1980) existieron 3 grupos experimentales, uno de los cuales realizó solamente el entrenamiento de fuerza (F), otro realizó solamente el entrenamiento de resistencia (R) y un tercer grupo que realizó ambos entrenamientos de manera concurrente (CON). El entrenamiento de fuerza consistió en 5 sesiones semanales durante 10 semanas, y fue diseñado exclusivamente para aumentar la fuerza de las piernas, realizando todos los ejercicios con tanto peso como fuese posible. El entrenamiento de resistencia consistió en 6 sesiones por semana durante el mismo período de 10 semanas y constaba de 3 sesiones de ciclismo y 3 sesiones de carrera. El grupo que llevó a cabo el

entrenamiento concurrente realizó todos los protocolos de entrenamiento de fuerza y resistencia en un orden no normalizado con un descanso de entre 15 minutos y 2 horas entre ellos. Al final del periodo de entrenamiento, el grupo F mejoró un 4% en el $VO_{2\text{máx}}$ en la bicicleta sin cambios cuando se midió en tapiz. Por el contrario, el grupo R y el grupo CON incrementaron en un 17% el $VO_{2\text{máx}}$ en tapiz y aproximadamente un 20% en la bicicleta. Esto autores llegaron a la conclusión de que el entrenamiento de fuerza no influyó negativamente en el rendimiento de resistencia. En cuanto a la fuerza, tanto el grupo F como el grupo CON, obtuvieron un incremento similar a lo largo de las primeras 6-7 semanas de entrenamiento. No obstante, la fuerza siguió aumentando a lo largo de todo el período de entrenamiento de 10 semanas solamente en el grupo F, mientras que se estabilizó entre la semana 7 y 8 en el grupo CON y, sorprendentemente, disminuyó durante la semana 9 y 10 de entrenamiento. A raíz de estos resultados, los autores llegaron a la conclusión de que el entrenamiento simultáneo de la fuerza y la resistencia reducirá la capacidad de desarrollar la fuerza sin tener una influencia negativa sobre la mejora del $VO_{2\text{máx}}$.

Posteriormente, en un segundo trabajo titulado “*Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance*”, Hickson et al. (1988) analizaron los efectos de añadir un entrenamiento de fuerza con cargas altas al entrenamiento habitual de resistencia sobre el rendimiento en resistencia en los ejercicios de carrera y pedaleo. El entrenamiento de fuerza consistió en 3 días por semana, mientras que, durante el entrenamiento de resistencia, los sujetos simplemente mantuvieron su entrenamiento habitual. Después de las 10 semanas de entrenamiento, la fuerza de las piernas incrementó en un 30%, pero la circunferencia del muslo, la biopsia de las fibras musculares del vasto lateral (fibras rápidas y lentas) y la actividad de la enzima citrato sintasa se mantuvieron sin cambios. El $VO_{2\text{max}}$ también se mantuvo sin cambios durante el pedaleo ($55 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) y la carrera ($60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Sin embargo, la resistencia de corta duración (4-8 min) se incrementó en un 11% y un 13% durante el pedaleo y la carrera, respectivamente. La resistencia de larga duración pedaleando (máximo tiempo posible hasta el agotamiento a una intensidad equivalente al 80% de $VO_{2\text{max}}$) aumentó de 71 a 85 min, mientras que para la resistencia de larga duración corriendo (10 km), los resultados no fueron concluyentes. Los autores llegaron a la conclusión de que ciertos tipos de rendimiento de resistencia, en particular los que requiere el reclutamiento de fibras de contracción rápida,

se pueden mejorar mediante la administración suplementaria de un entrenamiento de fuerza.

Los estudios de Hickson (1980; 1988) establecieron dos de los principales hallazgos que hoy en día han sido extensamente analizados dentro de la literatura científica. En primer lugar, la mejora de la fuerza, pero no de la resistencia, podría verse comprometida cuando se realizaban de forma concurrente en el mismo día sesiones de entrenamiento de carrera y fuerza de alta frecuencia semanal e intensidad. En segundo lugar, el entrenamiento de fuerza añadido al entrenamiento habitual de resistencia parece ayudar a mejorar el rendimiento en resistencia. Desde entonces y hasta la fecha, las investigaciones sobre los efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en fuerza y en resistencia son muy numerosas y han producido resultados inconsistentes. La comparación de los resultados entre los distintos estudios de intervención sobre este tópico es compleja, y la extrapolación de los resultados se torna difícil, principalmente, por las diferencias existentes en los distintos protocolos.

3.4.1.1 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en fuerza

Los resultados sobre los efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en fuerza han mostrado resultados inconsistentes. Distintos autores han observado un efecto atenuante sobre las ganancias en la fuerza (Bell, Syrotuik, Martin, Burnham, & Quinney, 2000; Dudley & Djamil, 1985; Hennessy & Watson, 1994; Hickson, 1980; Hunter, Demment, & Miller, 1987; Kraemer et al., 1995), en la potencia (Häkkinen et al., 2003; Hennessy & Watson, 1994; Hunter et al., 1987; Kraemer et al., 1995) y la hipertrofia muscular (Bell et al., 2000; Kraemer et al., 1995) del miembro inferior cuando el entrenamiento de fuerza se realizó de manera concurrente con el entrenamiento de resistencia. Por el contrario, otros autores han observado que ambas modalidades pueden ser entrenados simultáneamente sin interferencia sobre los aumentos de la fuerza (Balabinis et al., 2003; Davis, Wood, Andrews, Elkind, & Davis, 2008; Gravelle & Blessing, 2000; Häkkinen et al., 2003; McCarthy et al., 1995; Nelson et al., 1990; Silva et al., 2012).

En un trabajo de Meta-Análisis realizado por Wilson et al. (2012), compuesto por 21 artículos con un total de 422 tamaños del efecto (ES), se observó que ES para la

hipertrofia y la fuerza no fueron significativamente diferentes entre el entrenamiento concurrente y el entrenamiento de fuerza aislado (1.44 vs. 1.76, respectivamente). Por el contrario, el desarrollo de la potencia fue significativamente menor en el grupo de entrenamiento concurrente (0.55) comparado con el grupo que entreno la fuerza únicamente (0.91). Estos autores observaron que cuando el entrenamiento de fuerza era realizado de manera concurrente con la resistencia en carrera, y no en bicicleta, resultó en una disminución significativa de la hipertrofia y de la fuerza. Además, dichos autores observaron una correlación negativa entre la frecuencia y la duración del entrenamiento de resistencia y el incremento de la hipertrofia, la fuerza y la potencia muscular. Estos hallazgos sugieren que la potencia puede ser más susceptible al fenómeno de interferencia que la fuerza o la hipertrofia muscular como consecuencia del entrenamiento concurrente. Además, la modalidad, la duración y la frecuencia del entrenamiento de resistencia son factores a tener en cuenta cuando se quiere analizar el fenómeno de interferencia. La magnitud de la incompatibilidad también puede depender del estado de entrenamiento del individuo, de la modalidad de entrenamiento, de los test utilizados para evaluar el rendimiento, la secuenciación u orden de realización del entrenamiento de resistencia y fuerza, y del volumen, frecuencia e intensidad de ambos tipos de entrenamiento (Gergley, 2009).

El efecto atenuante del entrenamiento concurrente sobre el desarrollo de la fuerza es conocido en la literatura como “fenómeno de interferencia” (Docherty & Sporer, 2000). Una serie de mecanismos crónicos y agudos han sido propuestas para explicar el fenómeno de interferencia sobre las adaptaciones de la fuerza durante el entrenamiento concurrente. La hipótesis crónica establece que el musculo esquelético es colocado en un estado de antagonismo fisiológico con el entrenamiento concurrente (Leveritt et al., 1999). Dentro de los mecanismos crónicos se ha propuesto que el entrenamiento concurrete de la fuerza y la resistencia puede provocar: i) alteraciones en los patrones de reclutamiento asociado con contracciones voluntarias máximas (Chromiak & Mulvaney, 1990); ii) cambios en la transición de tipos de fibras musculares desde fibras tipo IIX hacia IIA (Kraemer et al., 1995; Nelson et al., 1990; Putman et al., 2004; Sale et al., 1990); iii) elevadas concentraciones de cortisol (Bell et al., 2000; Bell et al., 1997; Kraemer et al., 1995); y, iiiii) atenuaciones en la hipertrofia muscular (Bell et al., 2000; Davis et al., 2008; Gergley, 2009; Karavirta et al., 2011; Kraemer et al., 1995; Nelson et al., 1990; Putman, Xu, Gillies, MacLean, & Bell, 2004), los cuales han sido sugeridos como factores

limitantes de las ganancias en la fuerza y la potencia muscular. Además, también se ha observado que el entrenamiento concurrente puede atenuar la densidad de células satélite (Babcock et al., 2012), y provocar alteraciones en la señalización molecular de la síntesis de proteínas y las vías de biogénesis mitocondrial (Baar, 2006; Baar, 2014; Coffey, Pilegaard, Garnham, O'Brien, & Hawley, 2009; Coffey et al., 2006).

Por otro lado, la hipótesis aguda propuesta por Craig et al. (1991) sostiene que la fatiga residual del componente de resistencia del entrenamiento concurrente compromete la capacidad de desarrollar tensión del músculo durante el entrenamiento de la fuerza. El grado de tensión desarrollado por el músculo durante el entrenamiento es un factor crítico para el óptimo desarrollo de la fuerza (Atha, 1981). Se ha sugerido que la programación de las distintas modalidades de entrenamiento, de manera que las condiciones en las que se realizan el segundo modo de entrenamiento no se vean mermadas por la fatiga residual como consecuencia del primer modo de entrenamiento, tiene influencia sobre el fenómeno de interferencia (Leveritt et al., 1999). Esta interferencia puede estar asociada a distintos factores tales como: i) la fatiga residual, que puede conducir a la interferencia en el desarrollo de la fuerza explosiva mediada en parte por las limitaciones de la activación neuronal voluntaria rápida de los músculos entrenados (Häkkinen et al., 2003); ii) al daño muscular como consecuencia del entrenamiento de fuerza (Doma et al., 2015), el cual puede tener una influencia mayor sobre las fibras rápidas (Twist & Eston, 2005) y por tanto sobre el rendimiento en resistencia a intensidades altas; y, iii) el bajo contenido de glucógeno muscular como consecuencia de la primera modalidad de entrenamiento (Baar, 2006), el cual puede tener una influencia negativa sobre la economía de carrera y la cinética del VO_2 (Gualano et al., 2011; Suriano, Edge, & Bishop, 2010).

3.4.1.2 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en resistencia

Una cuestión interesante dentro del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia es la posible influencia que pueda tener el entrenamiento y la mejora de la fuerza sobre el rendimiento en resistencia. Los efectos del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia han sido durante mucho tiempo objeto de debate entre entrenadores, atletas y científicos del deporte.

El rendimiento en deporte de resistencia depende de una compleja interacción de factores fisiológicos y biomecánicos. Tradicionalmente, la capacidad cardiorrespiratoria se ha

considerado como el principal factor limitante del rendimiento en resistencia. El consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}) y el umbral de lactato, conocido en el mundo anglosajón como “lactate threshold” (LT) son habitualmente utilizados para predecir el potencial de rendimiento de los corredores, ciclistas, triatletas y esquiadores de fondo (Bassett & Howley, 2000). Sin embargo, atletas de elite en resistencia con valores similares de VO_{2max} pueden tener diferentes niveles de rendimientos, por tanto, la máxima captación de oxígeno, por si sola, no puede explicar completamente el rendimiento en carrera. La economía del esfuerzo, y las evaluaciones que incluyen un componente de potencia muscular específica, tales como la velocidad o la potencia a la que se alcanza en consumo máximo de oxígeno (vVO_{2max} / wVO_{2max}) y/o velocidad anaeróbica máxima de carrera ($vMART$), han sido propuestas como indicadores de rendimiento en resistencia más relevantes en atletas de elite (Paavolainen, Nummela, & Rusko, 2000).

Existe información contradictoria acerca de los efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en resistencia. Algunos de los estudios pioneros no identificaron ningún efecto positivo por añadir un entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia (Jensen, 1963; Paavolainen et al., 1991; Tanaka et al., 1993), o una disminución en las adaptaciones cardiovasculares (Dudley & Djamil, 1985; Hickson, 1980; Hunter et al., 1987; Izquierdo, Häkkinen, Ibañez, Kraemer, & Gorostiaga, 2005; Kraemer et al., 1995; Nelson et al., 1990) en comparación con el entrenamiento de resistencia aislado. Por el contrario, otros estudios han sugerido que el entrenamiento concurrente puede conducir a adaptaciones similares (Bell et al., 1991; Bell et al., 2000; Ferrauti et al., 2010; Izquierdo et al., 2005; Izquierdo et al., 2004; Kelly, Burnett, & Newton, 2008; McCarthy et al., 1995; McCarthy, Pozniak, & Agre, 2002; Schumann et al., 2014) o incluso superiores (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Millet, et al., 2002; Østerås et al., 2002; Paavolainen, Häkkinen, Hämmäläinen, Nummela, & Rusko, 1999; Rønnestad et al., 2011; Rønnestad et al., 2015; Storen, Helgerud, Stoa, & Hoff, 2008; Sunde et al., 2010) a los alcanzados por el entrenamiento de resistencia aislado.

3.4.1.2.1 Efectos del entrenamiento concurrente sobre VO_{2max}

El VO_{2max} está asociado con el éxito en deportes de resistencia (Saltin & Astrand, 1967) y es una de las principales características que determinan el nivel de rendimiento (Di Prampero, 2003). Es importante destacar que el valor más alto de VO_{2max} no equivale

necesariamente al mejor rendimiento en resistencia, pero que el mejor rendimiento en resistencia normalmente exige altos valores de VO_{2max} (Costill, Thomason, & Roberts, 1972; Lucia, Pardo, Durantez, Hoyos, & Chicharro, 1998; Saltin & Astrand, 1967).

Diferentes autores han observado una mejora conjunta de la fuerza y la resistencia, sin que se dé un aumento paralelo del VO_{2max} o que el incremento sea similar tanto para el grupo que realizó el entrenamiento concurrente como para el grupo que entrenó la resistencia de manera aislada. Por ejemplo, Hickson et al. (1988) observaron, en deportistas moderadamente entrenados en resistencia, aunque no competidores en esta especialidad, y tras la incorporación de un entrenamiento de fuerza (3 días / semana) a su entrenamiento habitual de resistencia, un incremento del tiempo hasta el agotamiento al 80% de VO_{2max} (~20%) y la resistencia en esfuerzos de corta duración (4-8 minutos) en tapiz (~13%) y en cicloergómetro (~11%) sin modificaciones en VO_{2max} , todos ellos acompañados por un incremento medio en la fuerza de las piernas de aproximadamente el 30%. Posteriormente, Kraemer et al. (1995) observaron, en un grupo de militares físicamente activos, incrementos similares en el VO_{2max} en carrera (7.8% vs. 11.8%) entre el grupo que realizó el entrenamiento concurrente y el grupo que entrenó solo resistencia, acompañados por un incremento significativamente mayor en la fuerza de las piernas para el grupo que realizó el entrenamiento concurrente en comparación con el grupo que entrenó la resistencia de manera aislada (19.5% vs. 1.7%, respectivamente).

En deportistas entrenados o muy entrenados, se ha observado un efecto trivial del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre el VO_{2max} , en comparación con el entrenamiento de resistencia realizado por sí solo, en diferentes disciplinas deportivas. Por ejemplo, en ciclistas entrenados y de elite se ha observado una ausencia de cambio (Aagaard et al., 2011; Levin, Mcguigan, & Laursen, 2009; Rønnestad et al., 2015; Sawyer et al., 2014; Sunde et al., 2010) o cambios similares a los conseguidos con el entrenamiento aislado de resistencia (Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2010a, 2010b; Rønnestad et al., 2011) en el VO_{2max} tras la incorporación de un entrenamiento de fuerza al entrenamiento habitual de ciclismo. Por otro lado, en corredores (Johnson, et al., 1997; Mikkola, Rusko, Nummela, Paavolainen, & Häkkinen, 2007; Mikkola et al., 2011; Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2006; Spurrs, Murphy, & Watsford, 2003; Støren et al., 2008; Taipale et al., 2010; Johnston, & Schwane, 2003), triatletas (Millet et al., 2002) y esquiadores de fondo (Hoff et al., 1999; Mikkola et al., 2007; Østerås et al., 2002;

Rønnestad, Kojedal, Losnegard, Kvamme, & Raastad, 2012) entrenados no se observaron incrementos en VO_{2max} tras la incorporación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento de resistencia habitual. Por tanto, parece ser que los efectos aditivos del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia no se manifiestan principalmente en la capacidad máxima de consumir oxígeno (VO_{2max}) de los deportistas.

3.4.1.2.2 Efectos del entrenamiento concurrente sobre el umbral de lactato

La fracción del VO_{2max} que puede ser sostenido durante un tiempo determinado está asociado con el grado de acumulación de lactato que tiene lugar durante el ejercicio (Farrell, Wilmore, Coyle, Billing, & Costill, 1979). A lo largo de los años se han ideado diferentes métodos para expresar la relación entre la concentración de lactato en sangre ([La]) y la fracción del VO_{2max} (Faude, Kindermann, & Meyer, 2009). Una de estas expresiones habitualmente utilizadas es la de umbral de lactato (UL), que describe una estimación de un punto de inflexión en la curva de [La] como consecuencia de la intensidad del ejercicio (Tokmakidis, Léger, & Piliandis, 1998). Dicho UL es expresado comúnmente como velocidad y/o potencia a la cual se produce dicho cambio en la curva de [La]. Diferentes autores han observado una relación alta entre la velocidad y/o la potencia de UL y el rendimiento en resistencia de larga duración tanto en corredores como en ciclistas (Farrell et al., 1979; Impellizzeri, Marcora, Rampinini, Mognoni, & Sassi, 2005; Lucia et al., 1998; Slattery, Wallace, Murphy, & Coutts, 2006).

Los resultados de los estudios en los que se ha analizado el efecto del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre el UL han sido equívocos. Diferentes autores han observado en corredores cambios pequeños en UL (Ferrauti et al., 2010; Hoff et al., 2002; Mikkola et al., 2011; Paavolainen et al., 1999; Støren et al., 2008), mejoras sustanciales en la velocidad de UL (Guglielmo, Greco, & Denadai, 2009; Mikkola et al., 2007; Mikkola et al., 2011; Schumann et al., 2014; Taipale & Häkkinen, 2013), o ningún efecto adicional sobre UL (Aagaard et al., 2011; Bishop, Jenkins, Mackinnon, McEniery, & Carey, 1999; Østerås et al., 2002) tras la realización de un periodo de entrenamiento concurrente. Recientemente, Rønnestad et al. (2015) observaron un efecto adicional sobre la potencia de UL (3.2%) en cicloergómetro en el grupo que añadió un entrenamiento de fuerza a su entrenamiento habitual de resistencia comparado con el grupo que realizó exclusivamente el entrenamiento de resistencia (-4.1%). Aunque no se dieron diferencias

significativas entre grupos, el tamaño del efecto reveló un efecto moderado ($ES = 0.81$) a favor del grupo que realizó el entrenamiento concurrente. Además, el grupo que llevó a cabo el entrenamiento concurrente alcanzó un incremento de aproximadamente el 20% en la fuerza isométrica máxima en el ejercicio de media sentadilla. Es importante destacar que, según nuestro conocimiento, ninguno estudio ha encontrado un efecto negativo del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia sobre la velocidad o la potencia de UL.

3.4.1.2.3 Efectos del entrenamiento concurrente sobre la economía del ejercicio

La economía del ejercicio ha sido definida como el consumo de oxígeno (VO_2) requerido para una intensidad absoluta de ejercicio submáxima (Barnes & Kilding, 2015). La economía de carrera ha mostrado una estrecha relación con el rendimiento en resistencia en deportistas entrenados con similares VO_{2max} (Costill, 1967).

Diferentes autores han observado mejoras en la economía de carrera y de pedaleo tras entrenamiento concurrente de la fuerza y de la resistencia mientras que el grupo que solo realizó el entrenamiento de resistencia no manifestó cambios. Más concretamente, la economía de carrera se ha visto mejorada por la incorporación de un entrenamiento con cargas pesada (Guglielmo et al., 2009; Hoff et al., 2002; Johnson et al., 1997; Millet et al., 2002; Taipale et al., 2010) y entrenamiento de la fuerza explosiva (Spurrs et al., 2003; Turner et al., 2003). La mayoría de estos estudios han sido realizados con sujetos físicamente activos o moderadamente entrenados en resistencia en carrera. No obstante, este fenómeno también ha sido observado en deportistas altamente entrenados en carrera de media y larga distancia (Mikkola et al., 2007; Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2006; Sedano, Marín, Cuadrado, & Redondo, 2013; Støren et al., 2008). Recientemente, Beattie et al. (2017) analizaron los efectos de la inclusión de un entrenamiento de fuerza al entrenamiento habitual de resistencia, durante un periodo de 40 semanas, en un grupo de corredores de larga distancia. Estos autores observaron un incremento significativo en la economía de carrera tras 20 semanas de entrenamiento para el grupo que realizó en entrenamiento concurrente (~5%). Además, para la semana 20, el grupo que realizó el entrenamiento concurrente manifestó una mejora en la fuerza relativa del miembro inferior (1RM sentadilla dividido por el peso corporal) de aproximadamente un 20%, significativamente mayor a la obtenida por el grupo que realizó el entrenamiento de

resistencia aislada (~5%). Estos autores llegaron a la conclusión de que añadir un entrenamiento de fuerza que incluye intensidades de baja a altas realizado 2-3 veces por semana durante 8-40 semanas puede ser una estrategia adecuada para mejorar la economía de carrera en deportistas de distinto nivel de rendimiento (Beattie, Carson, Lyons, Rossiter, & Kenny, 2017). Finalmente, en un trabajo de revisión llevado a cabo por Balsalobre-Fernández et al. (2016), en el cual fueron incluidos 5 artículos, se llegó a la conclusión de que un entrenamiento de fuerza constituido por 2-4 ejercicios de fuerza con intensidades entre el 40-70% de 1RM, sin alcanzar el fallo muscular, acompañados por ejercicios de saltos, realizado 2 o 3 veces por semana con un ratio entrenamiento de resistencia-entrenamiento de fuerza 3:1, durante al menos 8-12 semanas, es una estrategia segura para conseguir mayores incrementos en la economía de carrera en corredores de media y larga distancia en comparación con el entrenamiento de resistencias aislado.

3.4.1.2.4 Efectos del entrenamiento concurren sobre la velocidad o potencia de VO_{2max}

La capacidad máxima de consumir oxígeno, el umbral de lactato y la economía del ejercicio explican más del 70% de la variabilidad entre sujetos en el rendimiento de larga distancia (Di Prampero, Atchou, Brückner, & Moia, 1986). La velocidad y/o la potencia a la que el VO_{2max} es alcanzado (vVO_{2max} / wVO_{2max}) es otro factor que contribuye al rendimiento en resistencia (Lucia et al., 1998; Noakes, Myburgh, & Schall, 1990), el cual, tiene la capacidad de poder predecir el rendimiento en resistencia en corredores y ciclistas entrenados (McLaughlin, Howley, Bassett, Thompson, & Fitzhugh, 2010; Millet, Dréano, & Bentley, 2003). La velocidad y/o potencia de VO_{2max} está influenciado por el VO_{2max} , umbral de lactato y la economía del ejercicio, pero también incorpora aspectos relacionados con la capacidad anaeróbica y las características neuromusculares (Jones & Carter, 2000). Por tanto, además de la capacidad cardiovascular, las limitaciones del rendimiento en resistencia de deportistas de elite pueden estar determinadas por otros factores, incluyendo la función neuromuscular.

Diferentes autores han observado que el entrenamiento concurrente de fuerza con cargas altas y resistencia puede incrementar la vVO_{2max} / wVO_{2max} o el tiempo hasta el agotamiento para vVO_{2max} / wVO_{2max} en tapiz y cicloergómetro (Aagaard et al., 2011; Hickson et al., 1988; Mikkola et al., 2011; Millet et al., 2002; Østerås et al., 2002; Rønnestad et al., 2010a, 2010b; Sawyer et al., 2014; Støren et al., 2008; Sunde et al.,

2010; Taipale & Häkkinen, 2013; Taipale et al., 2010). Sin embargo, este efecto positivo no ha sido observado en ciclistas mediante el entrenamiento de fuerza explosiva realizado simultáneamente con entrenamiento de resistencia (Bastiaans, Diemen, Veneberg, & Jeukendrup, 2001; Levin et al., 2009). En un estudio realizado por Taipale et al. (2010) donde se analizaron los efectos de 8 semanas de entrenamiento empleando tres tipos de entrenamiento de fuerza diferentes, denominados como entrenamiento de fuerza máxima (3 series de 4-6 repeticiones con cargas equivalentes al 80-85% de 1RM, en el ejercicio de sentadillas y prensa de piernas), fuerza explosiva (3 series de 6 repeticiones con cargas equivalentes al 30-40% 1RM) y entrenamiento de circuito (3 series de 40-50s en los ejercicios de sentadillas, flexiones, lunges, extensiones de gemelos y prensa de piernas) sobre el rendimiento en resistencia en carrera. Estos autores observaron que la $v\text{VO}_{2\text{max}}$ incrementó significativamente en todos los grupos experimentales acompañado todos ellos por incrementos en la fuerza del miembro inferior (Taipale et al., 2010). Del mismo modo, Beattie et al. (2017) observaron incrementos significativos en la $v\text{VO}_{2\text{max}}$ (~4%) tras 40 semanas de entrenamiento concurrente acompañados por incrementos en la fuerza del miembro inferior.

3.4.1.3 Posibles mecanismos responsables de los efectos aditivos del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia

3.4.1.3.1 Transformación de la fibra muscular

Uno de los mecanismos propuestos como potencialmente responsable de la mejora de la capacidad de resistencia por la incorporación de un entrenamiento de fuerza es el aumento de la proporción de fibras tipo IIA y la reducción de la proporción de fibras tipo IIX (Aagaard & Andersen, 2010; Rønnestad & Mujika, 2014). Aagaard et al. (2011) observaron un incremento en el porcentaje (% área) de fibras tipo IIA del 26% al 34% y una reducción de las fibras tipo IIX del 5% al 0.6% en un grupo de ciclistas de alto nivel ($\text{VO}_{2\text{max}} \sim 75 \text{ ml}/\text{min}^{-1}/\text{kg}^{-1}$) tras 16 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza con cargas pesadas (2 - 3 sesiones / semana, cargas que fueron desde 10-12RM a 5-6RM) mientras que no se observaron cambios en el grupo que realizó solamente el entrenamiento de resistencia. Aunque ambos grupos mejoraron de forma similar (3 - 4%) la resistencia en esfuerzos de corta duración (5 min), solo el grupo que realizó en entrenamiento concurrente mejoró (~8%) la resistencia de larga duración (45 min). El incremento de las fibras tipo IIA, las cuales son menos fatigables que las IIX, y además

poseen la capacidad de generar valores altos de potencia durante la contracción (Bottinelli, Pellegrino, Canepari, Rossi, & Reggiani, 1999), pudo haber contribuido a la mejora adicional de la resistencia observada en el grupo que realizó el entrenamiento concurrente. Una menor dependencia de las fibras musculares tipo II menos eficientes, puede contribuir a la mejora la economía del ejercicio, dar lugar a un vaciado más lento de las reservas de glucógeno, una reducción de la fatiga muscular en general, y un posible aumento del rendimiento a alta intensidad o un incremento del tiempo hasta el agotamiento a una intensidad dada (Coyle, Sidossis, Horowitz, & Beltz, 1992; Hickson, Dvorak, Gorostiaga, Kurowski, & Foster, 1988). Un programa de 12 semanas de entrenamiento de la fuerza con cargas altas (2 - 3 sesiones / semana, 3 series de 6-8RM) resultó en un mayor contenido de fosfocreatina, glucógeno y una menor [La] al final de un esfuerzo de 30 minutos en cicloergómetro al 72% del VO_{2max} , a pesar de ningún cambio en el VO_{2max} (Goreham, Green, Ball-Burnett, & Ranney, 1999). Por el contrario, Bishop et al. (1999) no observaron cambios en la composición de las fibras musculares en un grupo de ciclistas entrenadas ($VO_{2max} \sim 48 \text{ ml/min}^{-1}/\text{kg}^{-1}$) que realizaron 12 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza (2 sesiones / semana, de 3 a 5 series de 6-8RM a 2-4RM) y resistencia, y entrenamiento únicamente de resistencia. Ambos grupos no mostraron mejoras en el rendimiento en resistencia (1 hora en cicloergómetro). En esta misma línea, McCarthy et al. (2002) tampoco observaron cambios en la composición de las fibras musculares en un grupo de sujetos sedentarios tras 10 semanas de entrenamiento concurrente (3 sesiones / semana, 4 series de 6RM) o entrenamiento de resistencia. Estos resultados contradictorios pueden haber sido causados por el uso de un entrenamiento de fuerza de corta duración (10 semanas), en lugar de un entrenamiento de larga duración (≥ 12 semanas), que parece ser más óptimo para la obtención de adaptaciones neuromusculares y para producir cambios en la composición de la fibra muscular (Aagaard, 2003; Andersen & Aagaard, 2000). Además, la falta de adaptación de la capacidad de resistencia podría también deberse a un bajo volumen de entrenamiento de fuerza utilizado por dichos autores (Bishop et al., 1999). Las diferencias entre los entrenamientos de fuerza realizados pueden explicar las diferencias en los resultados.

3.4.1.3.2 Incremento de la fuerza máxima y de la RFD

Otro posible mecanismo responsable de la mejora del rendimiento en resistencia como consecuencia del entrenamiento concurrente es la mejora de la fuerza máxima y/o la

mejora de la capacidad de producir fuerza rápidamente (RFD) (Aagaard & Andersen, 2010; Rønnestad & Mujika, 2014). Un incremento de la fuerza máxima puede significar una reducción de la intensidad relativa (relativa con respecto a la propia masa corporal) que supone cada paso durante la carrera o cada pedalada. Además, la mejora de la RFD puede reducir el tiempo necesario para alcanzar determinado valor de fuerza deseado en cada movimiento cíclico. Un tiempo de contracción más corto o un menor tiempo necesario para alcanzar un determinado valor de fuerza puede aumentar el flujo de sangre a los músculos mediante la reducción de tiempo en el que el flujo de sangre está restringido (Rønnestad & Mujika, 2014). Esto dará lugar a una fase de propulsión más corta y por consiguiente una fase de relajación más amplia. Esta fase de relajación muscular prolongada aumentará el tiempo de perfusión del músculo, lo que aumenta el tiempo medio de tránsito capilar (Aagaard & Andersen, 2010). Si el flujo sanguíneo se mejora después de un período de entrenamiento concurrente no se ha investigado a fondo, pero en teoría un aumento en el flujo sanguíneo aumentará la entrega de O_2 y de sustratos para los músculos en funcionamiento contribuyendo así a la mejora del rendimiento de resistencia (Rønnestad & Mujika, 2014). Esta mejora de la eficiencia muscular es un importante mecanismo que se encuentra detrás de la mejora de la economía de trabajo y de la mejora del rendimiento en resistencia.

Los aumentos en la fuerza máxima y la RFD a menudo son causados por el aumento de la activación neural (Aagaard, 2003). Diferentes autores han observado que, tras 14 semanas (2 sesiones / semana) de entrenamiento de fuerza con cargas pesadas y/o entrenamiento de fuerza explosiva, tuvo lugar un incremento en la actividad neural durante contracciones musculares máximas acompañado por incrementos en la fuerza máxima (1RM), la economía de carrera (medido como VO_2 para 10 y 12 km/h), la vVO_{2max} y la altura del salto vertical (medido a través de un salto con contramovimiento [CMJ]) (Taipale et al., 2010). En la misma línea, 8 semanas (3 sesiones / semana) de entrenamiento de fuerza explosiva resultó en un incremento en la actividad neural media en las primeras fases (0 – 500 ms) de una acción isométrica seguidos por incrementos en la fuerza máxima, la RFD, la velocidad anaeróbica máxima y la economía de carrera (VO_2 a $14\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$) (Mikkola et al., 2007). Se ha observado que mayores ganancias en la fuerza máxima y la RFD van acompañadas por mayores ganancias en la economía del ejercicio (Heggelund, Fimland, Helgerud, & Hoff, 2013).

3.4.1.3.3 Incremento en la rigidez del sistema musculo-tendón

Durante la carrera, tiene lugar un almacenamiento de energía durante la fase excéntrica del movimiento para su posterior utilización en la fase concéntrica. Se ha observado que la rigidez del sistema musculo-tendón está asociada con la economía de carrera (Craib et al., 1996; Trehearn & Buresh, 2009). Dicha rigidez se ha visto incrementada en estudios sobre entrenamiento concurrente tanto con programas de entrenamiento con cargas pesadas como con entrenamientos de fuerza explosiva (Millet et al., 2002; Spurrs et al., 2003; Beattie et al. 2017). Una mejor utilización de la energía elástica en el sistema músculo-tendón reduciría la demanda de ATP incluso a bajas intensidades submáximas, mejorando así la economía de carrera. Este mecanismo es poco probable que sea igualmente importante al montar en bicicleta, debido a la falta de fase excéntrica pronunciada desde la cual se puede utilizar la energía elástica (Rønnestad & Mujika, 2014).

3.4.2 Características del entrenamiento de fuerza en los estudios sobre entrenamiento concurrente

Los efectos del entrenamiento están condicionados por la manipulación de los componentes que definen la dosis del estímulo aplicado (volumen, intensidad, tipo de ejercicio y orden, carácter del esfuerzo, velocidad de ejecución, recuperación, densidad, etc.). La diversidad e inconsistencia de los protocolos de entrenamiento de fuerza utilizados en los estudios sobre entrenamiento concurrente es amplia, por lo que dificulta sacar conclusiones sobre cómo organizar las diferentes variables que definen el entrenamiento de fuerza para conseguir las adaptaciones óptimas tanto en la fuerza como en la resistencia.

En muchos estudios sobre entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia se ha utilizado lo denominado como entrenamiento de fuerza máxima o entrenamiento con cargas pesadas. Este tipo de entrenamiento ha sido definido como “todo entrenamiento que tiene como objetivo aumentar o mantener la capacidad de generar fuerza máxima de un músculo o de un grupo de músculos” (Knuttgen & Kraemer, 1987) y equivale tradicionalmente a entrenar con cargas que permiten entre 1RM y 15RM (Aagaard et al., 2011; Bell et al., 2000; Damasceno et al., 2015; Hausswirth et al., 2010; Heggelund et al., 2013; Hickson, 1980; Hickson et al., 1988; Johnson et al., 1997; Kelly et al., 2008;

Kraemer et al., 1995; McCarthy et al., 2002; Millet et al., 2002; Østerås et al., 2002; Rønnestad et al., 2010a, 2010b; Rønnestad et al., 2015; Sawyer et al., 2014; Sedano et al., 2013; Støren et al., 2008; Sunde et al., 2010). Otro tipo de entrenamiento que también ha sido analizado dentro de los estudios de entrenamiento concurrente es el denominado como entrenamiento de fuerza explosiva, definido este por el uso de cargas externas que van desde 0 al 60% de 1RM y con una movilización máxima en la fase concéntrica (Chtara et al., 2008; Mikkola et al., 2007; Paavolainen et al., 1999). Además, programas de entrenamiento que combinan ambas modalidades (Häkkinen et al., 2003; Schumann et al., 2014; Taipale et al., 2014; Beattie et al. 2017) y que utilizan distintos ejercicios polimétricos también han sido analizados (Berryman, Maurel, & Bosquet, 2010; Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003; Turner et al., 2003).

Ambos tipos de entrenamiento (entrenamiento con cargas pesadas y entrenamiento de fuerza explosiva) han mostrado una influencia positiva sobre el rendimiento en resistencia. Más concretamente, el rendimiento en resistencia pedaleando se ve más favorecido por el entrenamiento con cargas pesada realizados con una velocidad de ejecución máxima durante la fase concéntrica, mientras que ambos tipos de entrenamiento de fuerza han mostrado efectos aditivos sobre el rendimiento en resistencia en carrera (Rønnestad & Mujika, 2014). Además, los estudios en los que se han comparado las diferencias en las adaptaciones tras la realización de entrenamiento de fuerza con cargas pesadas o entrenamiento de fuerza explosiva, apuntan hacia adaptaciones más favorables como consecuencia del entrenamiento con cargas pesadas (Barnes, Hopkins, Mcguigan, Northuis, & Kilding, 2013; Guglielmo et al., 2009; Mikkola et al., 2011).

En muchos de los estudios analizados hemos podido observar como durante el entrenamiento de fuerza los deportistas deben de realizar el máximo número de repeticiones posibles (CE máximo) con la carga de entrenamiento dada (por ejemplo: 5RM, 8RM, 10RM). El entrenamiento realizando el máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular ha sido asumido por muchos como uno de los pilares del entrenamiento de fuerza (Ahtiainen, Pakarinen, Kraemer, & Häkkinen, 2003; Campos et al., 2002; Drinkwater et al., 2005; Kraemer & Ratamess, 2004; Phillips, 2009), considerando que esto es necesario para maximizar las ganancias de fuerza y masa muscular. El entrenamiento hasta el fallo muscular y su mayor influencia sobre las ganancias en fuerza se ha sustentado de dos motivos principalmente. El primer motivo

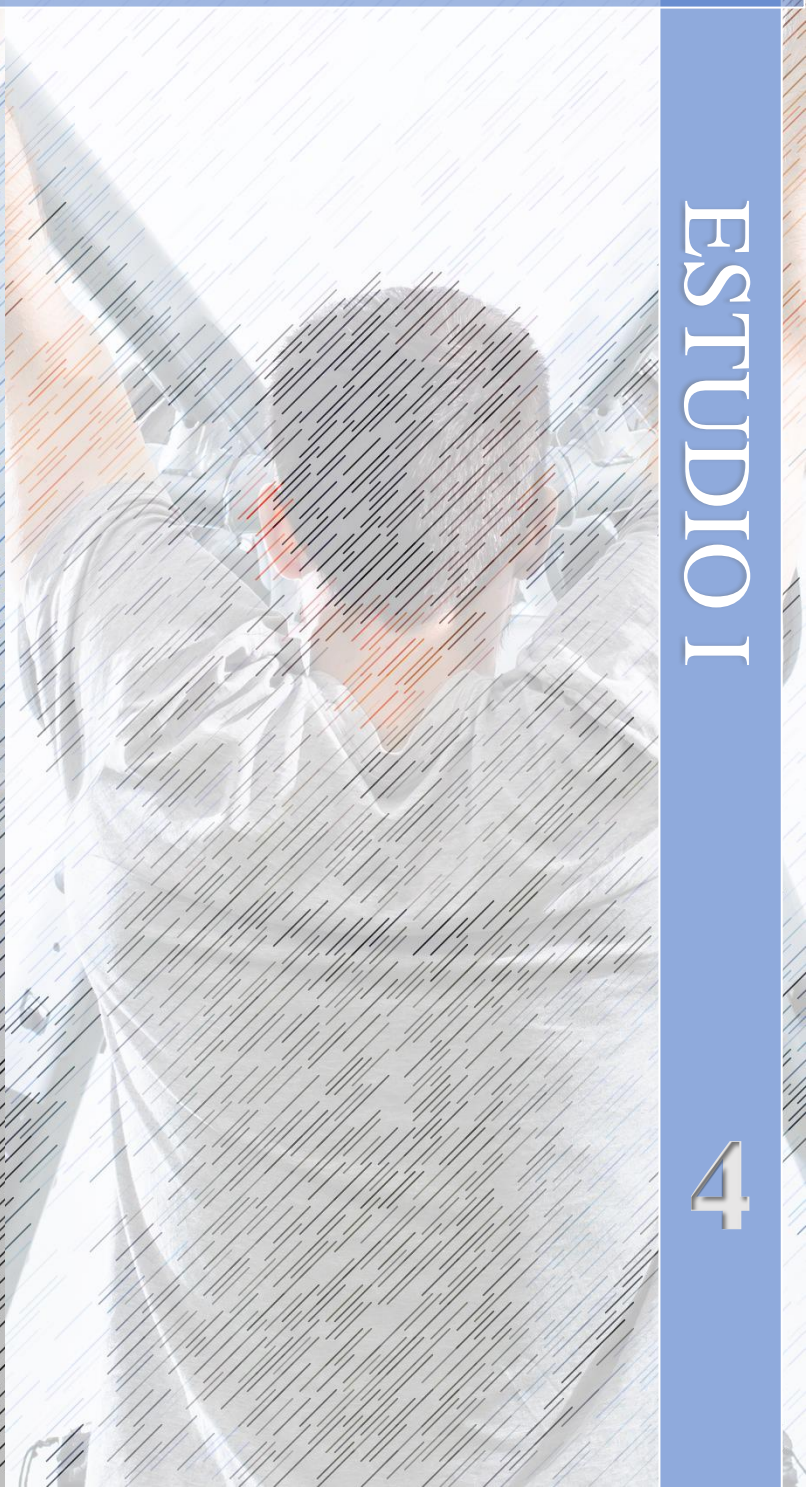
estaría relacionado con alcanzar una mayor activación de las unidades motoras (Drinkwater et al., 2005; Rooney, Herbert, & Balnave, 1994). El segundo motivo hace referencia al mayor estrés mecánico inducido sobre las estructuras contráctiles del músculo esquelético con la subsiguiente expresión génica asociada al proceso de daño/reparación del tejido muscular (Goldspink et al., 1992; Willardson, 2007). Sin embargo, a medida que se realizan repeticiones, a causa de la fatiga, se reduce la fuerza que se puede aplicar en cada repetición (Izquierdo et al., 2006; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), junto con descensos en la aplicación de fuerza en la unidad de tiempo (RFD), la velocidad de ejecución y la potencia propias de la gran mayoría de los movimientos deportivos (Häkkinen & Kauhanen, 1989). Esta excesiva fatiga y enlentecimiento en la contracción muscular podrían ser los responsables de las transformaciones no deseadas hacia isoformas más lentas en la expresión de la miosina de las fibras musculares típicamente observadas tras la realización de entrenamientos de fuerza hasta el fallo muscular (Fry, 2004; Pareja-Blanco et al., 2016). Este hecho puede ser negativo para ciertos deportes, en especial para todas aquellas modalidades donde la producción de fuerza en la unidad de tiempo (RFD) juega un papel fundamental en el rendimiento (correr, saltar, lanzar, etc.). Hoy en día, cada vez hay más evidencias científicas que sugieren que realizar el máximo número repeticiones posibles en cada serie podría no ser un estímulo necesario para obtener las mayores ganancias de fuerza (Davies, Orr, Halaki, & Hackett, 2016; Drinkwater et al., 2007; Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2006; Sampson & Groeller, 2015; Sanborn et al., 2000).

Según nuestro conocimiento, en el contexto del entrenamiento concurrente, solo un estudio ha comparado los efectos de la realización de un entrenamiento de fuerza similar en todas sus variables excepto en el número de repeticiones realizadas (fallo vs. no fallo) (Izquierdo-Gabarren et al. 2010). En dicho trabajo, se examinó los efectos de 8 semanas de entrenamiento de fuerza llevado hasta el fallo muscular frente al mismo entrenamiento sin llegar al fallo muscular con volumen bajo y moderado sobre la fuerza del miembro superior y sobre variables cardiovasculares dentro de un programa de entrenamiento que combinaba el entrenamiento de fuerza con el de resistencia. Los participantes (43 hombres, remeros entrenados) fueron distribuidos dentro de cuatro grupos que desarrollaron el mismo entrenamiento de resistencia y donde la única diferencia fue el entrenamiento de fuerza realizado: 4 ejercicios realizados hasta el fallo muscular (4RF), 4 ejercicios no llevados al fallo muscular (4NRF), 2 ejercicios no llevados al fallo muscular

(2NRF) y grupo control. Los autores observaron que la fuerza del miembro superior, medidas a través de 1RM en el ejercicio de remo y la potencia experimento mayores ganancias en 4NRF (4.5% y 6.4%, respectivamente) en comparación con 4RF (2.1% y -1.2%) y 2NRF (0.6% y -0.6%). Además, 4NRF y 2NRF experimentaron mayores ganancias en la potencia media medida en 10 paleadas (3.6% y 5%) y en la potencia media durante 20 min evaluado en remoergómetro (7.6% y 9%) en comparación con 4RF (-0.1% y 4.6%). Los autores llegaron a la conclusión de que el entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia con un programa de entrenamiento de fuerza que utiliza un número moderado de repeticiones no realizadas al fallo muscular (grupo 4NRF) proporciona un entorno más favorable para el logro de mayores ganancias en la fuerza, la potencia y el rendimiento en remo en comparación con la realización de repeticiones hasta el fallo muscular en remeros entrenados. En este mismo sentido, en un trabajo de revisión realizado por Balsalobre-Fernández et al. (2016) se llegó a la conclusión de que el entrenamiento de fuerza sin alcanzar el fallo muscular puede ser más adecuado para conseguir mayores incrementos en la economía de carrera en corredores de media y larga distancia en comparación con el entrenamiento de resistencias aislado.

Por tanto, a raíz de los resultados arrojados por Izquierdo-Gabarren et al. (2010) y que el entrenamiento hasta el fallo muscular parece no ser el más adecuado para la mejorar de la mayoría de los movimientos deportivos, en la presente Tesis Doctoral (**Estudio III**) examinamos los efectos de la realización de dos entrenamientos de fuerza similares en todas sus características excepto en el número de repeticiones realizado en cada serie, determinadas estas por la pérdida de velocidad dentro de la serie (45% vs. 15%) y equivalentes a realizar el máximo número de repeticiones posibles o realizar la mitad de las repeticiones posibles (o muy próximo a estas) en el ejercicio de sentadillas, sobre el rendimiento tanto en la fuerza como en la resistencia, cuando estas son entrenadas simultáneamente.

RELACIÓN ENTRE DISTINTAS
MANIFESTACIONES DE FUERZA Y
RESISTENCIA MUSCULAR EN EL
EJERCICIO DE DOMINADAS Y POLEA AL
PECHO E INFLUENCIA DE LA
COMPOSICIÓN CORPORAL Y EL
SOMATOTIPO



ESTUDIO I

4

4 Estudio I. Relación entre distintas manifestaciones de fuerza y resistencia muscular en el ejercicio de dominadas y polea al pecho e influencia de la composición corporal y el somatotipo

4.1 Planteamiento del problema y propósito de la investigación

Una vez revisada la bibliografía pertinente, podemos ver que solo existen tres estudios (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009; Johnson et al., 2009) que hayan analizado la relación entre diferentes medidas de fuerza y resistencia muscular en el movimiento de tracción del hombro y la influencia que la composición corporal tiene sobre dichas manifestaciones de fuerza en el ejercicio de dominadas y su análogo ejercicio de resistencia polea al pecho. Estos estudios han concluido que estos dos ejercicios, aparentemente similares, no pueden ser considerados intercambiables debido a la ausencia de relación observada entre las variables utilizadas. Como ya hemos discutido en apartados anteriores, esta aparente falta de relación puede ser explicada por el hecho de no haber tenido en cuenta el peso corporal en todas estas relaciones, ya que el ejercicio de dominadas es habitualmente utilizado para evaluar la resistencia muscular con el peso corporal como única carga a soportar. Por tanto, volver a analizar estas relaciones teniendo en cuenta el peso corporal y añadir una medida de resistencia muscular relativa al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho se muestra relevante para seguir aportando información acerca de los aspectos comunes entre ambos ejercicios.

Por otro lado, en la revisión realizada no hemos encontrado ningún estudio en el que se haya analizado la influencia del somatotipo sobre ambos ejercicios. Por tanto, la inclusión de esta medida junto con el análisis de la composición corporal puede proporcionar información relevante para la mejora del rendimiento en ambos ejercicios. Además, la realización de todos estos análisis sobre un grupo de deportistas entrenado en ambos ejercicios puede resultar útil para seguir aportando conocimiento sobre los mismos.

Estos aspectos, como ya hemos explicado en apartados anteriores, serían de relevancia para mejorar nuestro conocimiento sobre las similitudes entre estos ejercicios de entrenamiento del movimiento de tracción del hombro y conocer de qué manera la composición corporal y el somatotipo influyen en el rendimiento en ambos ejercicios. Por

consiguiente, parece existir un vacío de conocimiento en torno a estas cuestiones, dándose las condiciones necesarias para justificar la formulación de uno o varios problemas de investigación. Por tanto, los problemas que nos planteamos son:

- 1) ¿Cuál es la relación entre el número máximo de repeticiones en el ejercicio de dominadas y el rendimiento en el ejercicio de polea al pecho en 1RM, en la 1RM relativa al peso corporal, en el número de repeticiones con el 80% de 1RM y el número de repeticiones con una carga equivalente al peso corporal?
- 2) ¿Cuál es la influencia del somatotipo y la composición corporal sobre la fuerza y la resistencia muscular manifestada en ambos ejercicios?

4.1.1 Objetivos de la investigación

La problemática objeto de estudio da lugar a los siguientes objetivos:

- Comprobar la relación entre el número máximo de repeticiones en el ejercicio de dominadas y el rendimiento en el ejercicio de polea al pecho con los valores de las siguientes variables:
 - 1RM
 - La fuerza relativa: 1RM dividida por el peso corporal
 - Número de repeticiones con el 80% de 1RM
 - Número de repeticiones con una carga equivalente al peso corporal
- Estudiar la relación entre los componentes de la masa corporal y el rendimiento en los ejercicios de dominada (número máximo de repeticiones) y polea al pecho (1RM, fuerza relativa al peso corporal, número máximo de repeticiones).
- Analizar que agrupación de variables antropométricas y de fuerza máxima explican en mayor medida el rendimiento en el número máximo de repeticiones en el ejercicio de dominadas.
- Comprobar si existen diferencias en 1RM y en las variables antropométricas entre dos grupos que realizan un número significativamente distinto de repeticiones en el ejercicio de dominadas.

4.1.2 Hipótesis

La falta de relación observada entre las diferentes medidas de fuerza y resistencia muscular en el ejercicio de dominadas y en el ejercicio de polea al pecho parecen indicar que no existen similitudes entre ambos (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009; Johnson et al., 2009). Esto podría ser debido a que, durante el ejercicio de dominadas, la carga a levantar es habitualmente el propio peso corporal, mientras que en el ejercicio de polea al pecho es una carga externa. Por consiguiente, mediante el ejercicio de dominadas se evalúan valores de fuerza relativa al peso corporal, mientras que en el ejercicio de polea al pecho se miden valores absolutos de fuerza ante una carga absoluta externa, la cual, no necesariamente, tiene que estar relacionada con el peso corporal del deportista. Por tanto, cuando se comparen indicadores de fuerza relativos al peso corporal en ambos ejercicios, es probable se den relaciones entre los rendimientos en ambos ejercicios. Por ello, nuestra primera hipótesis es la siguiente:

Hipótesis 1: Existe una relación significativa entre el número máximo de repeticiones en el ejercicio de dominadas y el rendimiento en el ejercicio de polea al pecho en la fuerza relativa al peso corporal y en el número de repeticiones con una carga equivalente al peso corporal.

La influencia que las variables antropométricas tienen sobre el rendimiento en el número máximo de repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas y el en el valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho han mostrado relaciones de signo opuesto (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009; Johnson et al., 2009). Variables como el peso corporal, la masa libre de grasas y la masa grasa han mostrado relaciones positivas con 1RM, mientras que dichas variables se relacionaron negativamente con el número de repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas. Por tanto, parece ser que cuando el rendimiento es evaluado en términos absolutos (1RM), una composición corporal más pesada parece ser favorable, mientras que, si el rendimiento es evaluado en términos relativo (el número de repeticiones en el ejercicio de dominadas, la fuerza relativa al peso corporal y el número de repeticiones con una carga equivalente al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho), dicha composición corporal influye negativamente sobre el mismo. Consecuentemente, nuestra segunda hipótesis es la siguiente:

Hipótesis 2: Existe una relación de signo opuesto entre los componentes de la masa corporal y el rendimiento en los ejercicios de dominada y polea al pecho en función del tipo de manifestación de fuerza que sea evaluada (fuerza máxima o fuerza relativa al peso corporal).

Se ha observado que deportistas con mayor fuerza relativa al peso corporal, medida en el ejercicio de polea al pecho (>1.0 kg/kg peso corporal), fueron significativamente más ligeros (menos peso corporal, masa libre de grasa, masa grasa y porcentaje graso), y obtuvieron un mayor rendimiento en el ejercicio de dominadas, que aquellos deportistas con una menor fuerza relativa (<1.0 kg/kg peso corporal) (Halet et al. 2009). Dado que el ejercicio de dominadas medido a través del máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular es considerado como un indicador de resistencia muscular ante el peso corporal, es de esperar que existan diferencias en dichas variables antropométricas entre grupos de distinto nivel en el ejercicio de dominadas. Consecuentemente, nuestra tercera hipótesis es la siguiente:

Hipótesis 3: Existen diferencias significativas en las diferentes variables antropométricas y en los valores de fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho al comparar entre deportistas de diferente nivel de rendimiento en dicho ejercicio de dominadas.

No disponemos de datos de referencia como para formular una hipótesis sobre la posible relación entre el somatotipo y los ejercicios de dominadas y polea al pecho. Dado que este estudio es de tipo descriptivo, no es estrictamente necesario formular hipótesis en todos los casos (Fox, 1969).

4.2 Metodología

4.2.1 Tipo de investigación

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

Dadas las características de los datos, nuestro estudio es una investigación cuantitativa. Por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del estudio, nuestra investigación es fundamentalmente descriptiva. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es principalmente correlacional. Por último, la investigación es de carácter transversal, ya que analizamos la relación entre los datos sincrónicamente, en un momento determinado, y no consideramos los posibles cambios que pudieran producirse en el tiempo.

4.2.2 Muestra

Veinticinco sujetos, todos aspirantes a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado (Policía Nacional) y a los Servicio de Extinción de Incendios y Salvamento (Bomberos) participaron en este estudio (edad 26.8 ± 6.3 años, estatura 176.2 ± 5.3 cm, masa corporal 70.9 ± 7.1 kg). Estos sujetos fueron seleccionados por su experiencia en ambos ejercicios (entre 2 y 4 años). Previo a la realización del estudio todos los sujetos habían completado un periodo de 8 meses de entrenamiento de fuerza (2 sesiones semanales) donde ambos ejercicios estaban presentes. Una vez seleccionados los sujetos que cumplían los requisitos y confirmada su disponibilidad, y tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todos ellos dieron su Consentimiento Informado, el cual se adjunta en el **ANEXO I**, antes de tomar parte en el estudio correspondiente, el cual fue aprobado por el Comité Científico Ético de la Universidad Pablo de Olavide.

4.2.3 Variables objeto de estudio

Las principales variables analizadas en este estudio descriptivo fueron:

- Fuerza dinámica máxima en el ejercicio de polea al pecho ($1RM_{PP}$), en kg

- Fuerza relativa a la masa corporal ($Fr = \frac{1RM}{Masa\ corporal}$) en el ejercicio de polea al pecho
- Resistencia muscular ante el 80% de 1RM en el ejercicio de polea al pecho, en número de repeticiones (MNR_{PP80%})
- Resistencia muscular ante una carga equivalente a la masa corporal en el ejercicio de polea al pecho, en número de repeticiones (MNR_{PPMC})
- Resistencia muscular en el ejercicio de dominadas, en número de repeticiones (MNR_D)
- Masa Corporal (MC), en kg
- Sumatorio de seis pliegues ($\Sigma 6$), en mm
- Porcentaje Graso (PG), estimado por la ecuación de Faulkner¹
- Masa Grasa (MG), en kg
- Masa Libre de Grasa (MLG), en kg
- Masa Muscular (MM), en kg²
- Porcentaje Muscular (PM)
- Somatotipo

4.2.4 Control de las variables extrañas

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

La ejecución técnica y el cumplimiento de los protocolos en los ejercicios que se aplicarían como test.

Este aspecto se controla en el momento de la realización de los tests en cada una de las sesiones programadas. El efecto de aprendizaje no ha existido o se ha eliminado, porque, como ya se ha indicado, el grupo de sujetos estaba familiarizado con el ejercicio y el tipo de test que tenía que ejecutar. Todas las sesiones de evaluación que componen este estudio se han llevado a cabo bajo la atenta supervisión del equipo de investigadores.

¹ Ecuación de Faulkner (Faulkner, 1968).

² Ecuación de Matiegka (Matiegka, 1921).

La situación ambiental de cada sesión de trabajo

Las variables situacionales se han minimizado al realizar cada sujeto las sesiones de la evaluación en las mismas condiciones (temperatura y humedad de la sala constantes, ausencia de actividad física previa ese día ni el anterior, período de descanso de al menos 8 horas y habiendo realizado la última comida al menos 2,5 horas antes de la sesión correspondiente).

La validez de la medida.

Para evitar posibles fuentes de error relacionadas con las medidas antropométricas, estas fueron realizadas por un mismo evaluador acreditado por el ISAK (International Society for Advancement in Kinanthropometry).

4.2.5 Evaluaciones

4.2.5.1 Evaluación de la composición corporal

Con el objetivo de describir adecuadamente la muestra, y como parte de las variables necesarias para estudiar algunos de los objetivos del estudio, se realizó una evaluación antropométrica y de composición corporal de cada sujeto. Las medidas antropométricas se realizan en base a la normativa del organismo de referencia en cineantropometría, en base al consenso internacional, la Internacional Society for the Avancement of Kinanthropometry (Sociedad Internacional para el Avance de la Kinantropometría). Con ello se determinó:

Masa corporal (kg): se pesó a los sujetos colocándolos, en posición erecta, en el centro de una báscula de precisión (Tanita, BC-543, Tokyo, Japón).

Talla (cm): es la distancia entre el vértex y las plantas de los pies. Los sujetos permanecieron de pie con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro (Quirumed, Valencia, España).

Pliegues cutáneos (mm): 7 pliegues cutáneos fueron tomados (pliegue del tríceps, subescapular, cresta iliaca, supraespinal, abdominal, muslo y pierna). Las medidas fueron obtenidas con un lipocalibre modelo Holtain LTD (Crymych, United Kingdom) (rango de medida de 0-46 mm; resolución de 0.2 mm para una presión de 10 g·mm; **Fig. 1**). La posición exacta de cada medición de pliegues fue realizada de acuerdo a un protocolo descrito previamente (ISAK, 2001). Los sujetos estuvieron descalzos y con la menor ropa

posible, en pantalón corto o calzoncillos, durante todas estas mediciones. Todas las mediciones fueron realizadas por duplicado por el mismo evaluador. En el caso de que existiese una diferencia superior al 5% entre estas dos medidas se realizaba una tercera medida teniendo en cuenta el promedio de las tres, en caso contrario se recogía la media de las dos mediciones realizadas.

Sumatorio de 6 pliegues (mm): sumatorio del pliegue tricípital, subescapular, supraespinal, abdominal, frontal del muslo y pierna.

Porcentaje Graso: Estimado a través de la ecuación propuesta por Faulkner en 1968.

$$\% \text{ graso} = (\text{pliegue del triceps} + \text{subescapular} + \text{suprailiaco} + \text{abdominal} \times 0,153) + 5,783$$

Masa Grasa (kg): Calculado de la forma que sigue (Heyward & Stolarczyk, 1996):

$$\text{Masa Grasa} = \frac{\text{Masa corporal} \times \text{Porcentaje graso}}{100}$$

Masa Libre de Grasa (kg): Calculado de la forma que sigue (Heyward & Stolarczyk, 1996):

$$\text{Masa Libre de Grasa} = \text{Masa corporal} - \text{Masa grasa}$$

Masa Muscular (kg): Estimado a través de la ecuación propuesta por Matiegka en 1921.

Masa Muscular

$$= \text{Masa corporal} - (\text{Masa grasa} + \text{Masa ósea} + \text{Masa Residual})$$

Porcentaje Muscular: Calculado de la forma que sigue:

$$\text{Porcentaje Muscular} = \frac{\text{Masa muscular}}{\text{Masa corporal}} \times 100$$

Diámetro (mm): 2 diámetros fueron tomados (húmero y fémur) con un calibre para diámetros óseos pequeños modelo Holtain LTD (Crymych, United Kingdom) (rango de medida de 0-144 mm; **Fig. 1**)

Perímetro (cm): 2 perímetros fueron tomados (brazo flexionado y contraído, y pantorrilla) con una cinta antropométrica flexible y no extensible de 6 mm de anchura modelo Lufkin Executive W606PM (Apex Tool Group, Mejico; **Fig. 1**).

4.2.5.2 Evaluación del somatotipo

Los componentes del somatotipo se calcularon de acuerdo con el método Health - Carter (Heath & Carter, 1967), que proporciona una derivación antropométrica de una clasificación de tres componentes (endomorfia, mesomorfia y ectomorfia) que muestra su dominio relativo. Los detalles relativos a las fórmulas de somatotipo son los siguientes:

Endomorfia: Calculado de la forma que sigue:

$$\begin{aligned} \text{Endomorfia} = & -0.7182 + (0.1451 \times [\Sigma 3\text{pliegue}^3 (\text{mm}) \times 170.18 / \text{altura}(\text{cm})]) \\ & - (0.00068 \times [\Sigma 3\text{pliegue} \times 170.18 / \text{altura}(\text{cm})])^2 \\ & + (0.0000014 \times [\Sigma 3\text{pliegue} \times 170.18 / \text{altura}(\text{cm})])^3 \end{aligned}$$

Mesomorfia: Calculado de la forma que sigue:

$$\begin{aligned} \text{Mesomorfia} = & [0.858 \times \text{diámetro del húmero (mm)} \\ & + 0.601 \times \text{diámetro del fémur (mm)} \\ & + 0.188 \times \text{perímetro del brazo corregido}^4 (\text{cm}) \\ & + 0.161 \times \text{perímetro de la pantorrilla corregido}^5 (\text{cm})] \\ & - [\text{altura}(\text{cm}) \times 0.131] + 4.5 \end{aligned}$$

Ectomorfia: Calculado de la forma que sigue:

1. Obtener cociente altura – peso (CAP): $CAP = \frac{\text{altura}}{\sqrt[3]{\text{peso}}}$
2. Para:
 - a. $CAP \geq 40.75$
 - i. $Ectomorfia = (0.732 \times CAP) - 28.58$
 - b. $40.75 > CAP > 38.25$
 - i. $Ectomorfia = (0.463 \times CAP) - 17.63$
 - c. $CAP \leq 38.25$
 - i. $Ectomorfia = 0.1$

³ Sumatorio pliegue tricipital, subescapular y creta iliaca.

⁴ $\text{Perímetro del brazo corregido} = \text{perímetro del brazo} - (\text{pliegue tricpes} / 10)$

⁵ $\text{Perímetro pantorrilla corregido} = \text{perímetro pantorrilla} - (\text{pliegue pierna medial} / 10)$



Fig 1. Instrumental para la medición de diámetros óseos (**superior izquierda**), pliegues cutáneos (**superior derecha**) y perímetros (**inferior**)

4.2.5.3 Evaluación de la fuerza dinámica máxima (1RM) en el ejercicio de polea al pecho

Se realizó un test incremental hasta la 1RM para determinar la fuerza dinámica máxima en el ejercicio de polea al pecho (1RM_{PP}). Para la realización de dicho test se utilizó una máquina (Steelflex PLLA, Taiwan) que consistía en un sistema de palancas de primer género con un brazo de fuerza con el doble de longitud (~90 cm) que el brazo de resistencia (~45 cm). Las piernas permanecieron fijadas a través de un soporte regulable situado sobre la parte superior del muslo. El asiento fue ajustado para permitir a los sujetos iniciar el movimiento con los brazos completamente extendidos (**Fig. 2**). Debido a la influencia que los diferentes tipos de agarre tiene sobre la actividad eléctrica de los músculos implicados en este ejercicio de polea al pecho (Signorile, Zink, & Szwed, 2002), todos los deportistas realizaron el mismo tipo de agarre, con las palmas de las manos en pronación y con una separación aproximada del 150% de la distancia biacromial. Para ello, la máquina donde se realizó la medición poseía una zona de agarre con una distancia máxima de aproximadamente 75 cm y mínima de 50 cm (**Fig. 2**). Cada repetición comenzó con los brazos completamente extendidos y se dio por completada cuando la barra se situó por debajo de la barbilla mientras la cabeza se mantuvo en posición neutral

(Fig. 3). Todos los sujetos realizaron el mismo calentamiento el cual consistió en dos series de entre 5 y 10 repeticiones con dos cargas submáximas (aproximadamente entre 60-70% de 1RM estimada) seleccionadas por el propio ejecutante. Después de descansar 5 minutos, una carga fue seleccionada siguiendo los criterios de los investigadores y del propio levantador y una repetición fue desarrollada. Si la repetición fue completada se incrementó la carga entre 2.5, 5 y 10 kg, dependiendo de la facilidad con la que el levantador completo la repetición. Tras 5 minutos de descanso, un nuevo intento fue realizado. Este proceso fue repetido hasta que la repetición no pudo ser completada. El peso correspondiente al último intento exitoso fue considerado como el valor de fuerza dinámica máxima ($1RM_{pp}$). Entre 4-6 intentos se realizaron para obtener el valor de 1RM. Al contar la máquina con dos brazos independientes, el valor de 1RM utilizado para los análisis corresponde a la suma de la carga absoluta colocada en ambos brazos. El coeficiente de correlación intraclass (CCI) de esta metodología ha sido previamente establecido entre 0.94 y 0.99 (Ball, 1993; Ball, Van Vleet, Lahey, & Glass, 1995; Hollander et al., 2007; Maior et al., 2007; Seo et al., 2012).



Fig. 2. Máquina para la evaluación de la fuerza y la resistencia en el movimiento de tracción en posición sentado (Steelflex PLLA, Taiwan)



Fig. 3. Ejecución del ejercicio de polea al pecho. Posición inicial (izquierda) y posición final (derecha)

4.2.5.4 Evaluación de la resistencia muscular en el ejercicio de polea al pecho

La resistencia muscular de la musculatura de los brazos, hombros y espalda en el ejercicio de polea al pecho fue evaluada mediante dos test que consistieron en realizar el máximo número de repeticiones posibles con: i) una carga equivalente al 80% de 1RM ($MNR_{PP80\%}$); y ii) con una carga equivalente a la masa corporal (MNR_{PPMC}) de los sujetos. El test $MNR_{PP80\%}$ fue realizado una vez terminado el test de 1RM, y tras 5 minutos de descanso mientras que, para MNR_{PPMC} , los sujetos volvieron al laboratorio tras 48-72 horas de recuperación. Antes de comenzar este último test, se realizó el mismo calentamiento que el empleado para el test de 1RM y, tras 5 minutos de descanso, los deportistas realizaron el máximo número de repeticiones con una carga equivalente a la masa corporal del sujeto. Todas las cargas levantadas en ambos test estuvieron dentro de un margen de 1kg de diferencia con respecto a la 1RM y la masa corporal de los sujetos. Para la colocación de la carga equivalente al 80% de 1RM se calculó, en primer lugar, el peso absoluto que correspondía a dicho porcentaje y, en segundo lugar, este fue dividido entre dos y el resultado de dicha operación fue colocado en cada brazo de la máquina. Por ejemplo, para un sujeto que tenía 1RM de 160 kg, el 80% de dicha 1RM correspondía a 128 kg ($160 \times 0.8 = 128$ kg). El peso que fue colocado en cada brazo fue de 64 kg ($128/2 = 64$ kg). Sin embargo, la carga equivalente a la masa corporal fue directamente colocada

en cada brazo de la máquina. Esto fue así para evitar que los deportistas realizaran un número de repeticiones excesivamente elevado, ya que dada las características que poseía la palanca de la máquina utilizada, la fuerza que el deportista debía realizar para desplazar la carga absoluta colocada en cada brazo fue aproximadamente la mitad de la fuerza que representaba dicha carga. El ritmo fue seleccionado individualmente por cada sujeto con una pausa de aproximadamente 1.5 segundos entre repeticiones (LaChance & Hortobagyi, 1994; Weir, Wagner, & Housh, 1994).

4.2.5.5 Evaluación de la resistencia muscular en el ejercicio de dominadas

La resistencia muscular en el ejercicio de dominada fue evaluada mediante el máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular (MNR_D). Dicho test fue realizado sobre una barra horizontal (diámetro = 2.6 cm), con un agarre con las manos en pronación y una separación similar a la de los test ya mencionadas (aproximadamente 150% de la distancia biacromial). El movimiento comenzaba con el sujeto en suspensión, con los brazos completamente estirados. Una repetición se considerada como completada cuando la barbilla sobrepasaba la barra horizontal por su parte superior, manteniendo la cabeza en posición neutra para evitar que la barbilla se levantase dando así la repetición por completada (**Fig. 4**). Los sujetos fueron instruidos para no realizar ningún tipo de balanceo que ayudara a romper la inercia al inicio del movimiento. Se impuso una pausa momentánea (~1.5 s) entre las fases excéntrica y concéntrica para minimizar la contribución del efecto del rebote y permitir minimizar los errores en la media, así como que la fase concéntrica se realizara siempre partiendo desde parado. Antes de iniciar el test, todos los sujetos realizaron un calentamiento idéntico que consistía en 10 minutos donde se realizaban ejercicio de movilidad articular y dos series submáximas de dominadas. Media repetición fue contada cuando los sujetos fueron capaces de alcanzar un ángulo de 90° en la articulación del codo. El CCI de esta metodología ha sido previamente establecido entre 0.92 y 0.95 (Ball, 1993; Vanderburgh & Edmonds, 1997).



Fig. 4. Ejecución del ejercicio de dominadas. Posición inicial (izquierda) y posición final (derecha)

4.2.6 Plan de trabajo

Se realizaron un total de 5 sesiones. En las 2 semanas previas al comienzo del estudio, dos sesiones de familiarización se llevaron a cabo con el propósito de hacer hincapié en la técnica correcta de ejecución en las diferentes pruebas evaluadas. Las distintas evaluaciones antropométricas se realizaron durante la segunda sesión de familiarización. Las sesiones se llevaron a cabo en un laboratorio de investigación neuromuscular bajo la supervisión directa de los investigadores y en condiciones ambientales constantes (20 °C, 60% de humedad). Dado que la hora del día puede influir en el rendimiento (Chtourou et al., 2012), todas las pruebas se llevaron a cabo dentro del mismo intervalo de tiempo, 17:00-21:00 h. El resto de pruebas se realizaron en 3 sesiones de evaluación separadas por 48-72 h, que se llevó a cabo en el siguiente orden: 1) Test del máximo número de repeticiones en el ejercicio de dominadas (MNR_D); 2) Test de 1RM en el ejercicio de polea al pecho ($1RM_{PP}$), seguido del test del máximo número de repeticiones ante una carga equivalente al 80% de 1RM ($MNR_{PP80\%}$); y 3) Test el máximo número de repeticiones ante una carga equivalente a la masa corporal (MNR_{PPMC}). Durante la

realización de estas pruebas, se alentó verbalmente a los sujetos para obtener su máximo esfuerzo.

4.2.7 Tratamiento estadístico

Análisis descriptivo.

Para la descripción de los datos se emplearon métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medias, desviaciones típicas (Standard deviation; SD) y coeficientes de variación (CV, %). Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk para comprobar la normalidad de la distribución en cada una de las variables.

Análisis de la relación entre variables.

La relación entre las distintas variables fue estudiada mediante el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r) y un intervalo de confianza del 90%. Con el objetivo de aislar la influencia de la masa corporal (MC) sobre el rendimiento en las distintas variables analizadas, se llevó a cabo un estudio de correlación parcial. Además, se realizó un análisis de regresión lineal múltiple por pasos para determinar el grado en que cada variable explicaba el rendimiento en MNR_D y $1RM_{PP}$. En el análisis de regresión múltiple, el peso estandarizado de beta se utilizó para evaluar la contribución relativa de cada variable independiente en la explicación de la varianza total.

Análisis de la influencia del nivel de rendimiento.

Para estudiar la influencia del nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas sobre las distintas variables analizadas, los sujetos fueron divididos dicotómicamente tomando como referencia el valor medio de MNR_D , de tal modo que se obtuvieron dos subgrupos con distinto nivel, alto ($MNR_{DA} \geq 16$) y bajo ($MNR_{DB} < 16$). Para analizar las diferencias entre ambos subgrupos se utilizó una prueba “t” para muestras independientes.

Análisis basado en la magnitud de cambio.

El tamaño del efecto (TE) se calculó usando la g de Hedges para estimar las posibles diferencias entre las diferentes variables analizadas dentro de cada subgrupo, como sigue: $g = (Test2 - Test1) / SD_{combinada}$ (Hedges & Olkin, 1985). Para las comparaciones entre grupos, la probabilidad de que los valores reales (desconocidos) fuesen *beneficioso/mejor* [por ej. Mayor que el mínimo cambio apreciable ($0.2 \times SD$ entre sujetos del Test 1, basado en el principio de TE de Cohen (Cohen, 1988))], *no claro*,

perjudicial/peor para el rendimiento fue calculada. La probabilidad cuantitativa de un efecto beneficioso/mejor o perjudicial/peor fue calculada cualitativamente como sigue: <1%, casi seguro que no; 1-5%, muy poco probable; 5-25%, poco probable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; y >99%, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto beneficioso/mejor o perjudicial/peor fueron ambas >5%, la verdadera diferencia fue evaluada como no clara (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). La estadística inferencial basada en la interpretación de la magnitud de los efectos se calculó utilizando una hoja de cálculo especialmente diseñada para el análisis de ensayos controlados (Batterham & Cox, 2006).

Significatividad.

En todos los casos en que se estableció una relación entre variables o se contrastaron las diferencias entre medias se consideraron significativas si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ($P \leq 0.05$). El paquete estadístico SPSS 18.0 se usó para el resto de análisis.

4.3 Resultados

4.3.1 Relación entre los ejercicios de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza y resistencia muscular

MNR_D mostró una relación significativa con MNR_{PPMC} y Fr ($r = 0.62$, y $r = 0.57$; $P < 0.01$, respectivamente; **Fig. 5A, 5B**). Sin embargo, MNR_D no reveló ninguna relación con 1RM_{PP} y MNR_{PP80%} (**Tabla 1**). Por otro lado, se observó una relación significativa entre 1RM_{PP} y MNR_{PP80%} y Fr ($r = -0.55$; y $r = 0.77$; $P < 0.01$, respectivamente; **Fig. 5C, 5D**). No se halló relación entre 1RM_{PP} y MNR_{PPMC} (**Tabla 1**). Para un mejor análisis, aquellas correlaciones más relevantes pueden verse representadas en la **Fig. 5**.

Tabla 1. Relación entre el ejercicio de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza y resistencia muscular

	MNR _D	1RM _{PP}	MNR _{PPMC}	MNR _{PP80%}
1RM _{PP}	0.09 (-0.24 a 0.42)			
MNR _{PPMC}	0.62 (0.41 a 0.83) **	0.00 (-0.33 a 0.34)		
MNR _{PP80%}	-0.14 (-0.47 a 0.19)	-0.55 (-0.78 a -0.32) **	-0.03 (-0.37 a 0.31)	
Fr	0.57 (0.33 a 0.79) **	0.77 (0.54 a 0.88) **	0.53 (0.29 a 0.77) **	-0.59 (-0.81 a -0.37) **

Los datos son presentados como coeficiente de correlación de Pearson (r) e intervalo de confianza al 90% (entre paréntesis). MNR_D: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas; 1RM_{pp}: valor de una repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho; MNR_{PPMC}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente a la masa corporal; MNR_{PP80%}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente al 80% de 1RM_{pp}; Fr: valor de 1RM_{pp} dividido por la masa corporal. *Significativo para $P < 0.05$; **Significativo para $P < 0.01$

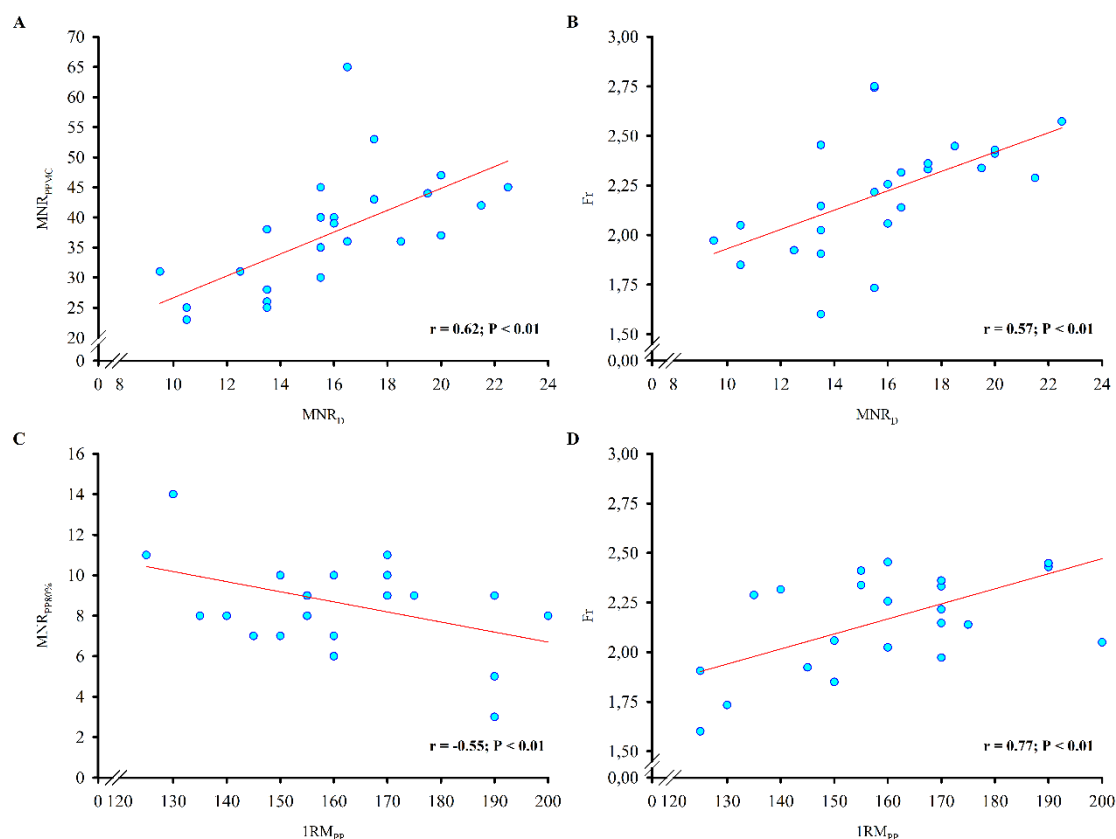


Fig. 5. Correlación entre el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y máximo número de repeticiones en el ejercicio de polea el pecho con un peso equivalente a la masa corporal (MNR_{PPMC} , **A**) y fuerza relativa a la masa corporal en el ejercicio de polea al pecho (Fr , **B**). Correlación entre el valor de 1 repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho ($1RM_{PP}$) y máximo número de repeticiones en el ejercicio de polea el pecho con un peso equivalente al 80% de 1RM ($MNR_{PP80\%}$; **C**) y fuerza relativa a la masa corporal en el ejercicio de polea al pecho (Fr , **D**). Las líneas continuas muestran los ajustes lineales de primer grado

4.3.2 Relación entre los ejercicios de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza muscular teniendo en cuenta la masa corporal

Tras controlar estadísticamente la MC, se observó una relación significativa entre MNR_D y $1RM_{PP}$ ($r = 0.56$; $P < 0.01$). Sin embargo, la relación directa observada entre MNR_D y MNR_{PPMC} (**Tabla 1**) descendió ligeramente (de $r = 0.62$, a $r = 0.43$; **Tabla 2**). MNR_D y $MNR_{PP80\%}$ no mostró relación significativa (**Tabla 2**). Por otro lado, $1RM_{PP}$ mostró una relación significativa con MNR_{PPMC} ($r = 0.50$, $P < 0.05$), mientras que la relación directa observada con $MNR_{PP80\%}$ (**Tabla 1**) incrementó ligeramente ($r = -0.61$; $P < 0.01$).

Tabla 2. Relación parcial entre el ejercicio de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza muscular controlando la masa corporal

	MNR_D	1RM_{PP}	MNR_{PPMC}
1RM_{PP}	0.56 (0.33 a 0.79) **		
MNR_{PPMC}	0.43 (0.16 a 0.70) *	0.50 (0.25 a 0.76) *	
MNR_{PP80%}	-0.22 (-0.54 a 0.09)	-0.61 (-0.82 a 0.40) **	-0.09 (-0.43 a 0.24)

Los datos son presentados como coeficiente de correlación de Pearson (r) e intervalo de confianza al 90% (entre paréntesis). MNR_D: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas; 1RM_{PP}: valor de una repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho; MNR_{PPMC}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente a la masa corporal; MNR_{PP80%}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente al 80% de 1RM_{PP}. *Significativo para P < 0.05; **Significativo para P < 0.01

4.3.3 Relación entre los ejercicios de dominadas y polea al pecho en las diferentes variables antropométricas y el somatotipo

MNR_D mostró una relación negativa y significativa (P < 0.01 – 0.05) con MC (r = -0.55), $\Sigma 6$ (r = -0.47), MG (r = -0.52), MLG (r = -0.50) y MM (r = -0.51) (**Fig. 6**), mientras que no se observó relación con PG y PM. Además, MNR_D mostró una relación significativa y negativa con el componente endomórfico (r = -0.44) y mesomórfico (r = -0.51) del somatotipo, mientras que dicha relación se tornó positiva (r = 0.40) con el componente ectomórfico (**Fig. 8**). 1RM_{PP} reveló una relación positiva y significativa (P < 0.01) con MC (r = 0.55), MLG (r = 0.55) y MM (r = 0.54) (**Fig. 7**), mientras no se observó relación con MG, PG, PM y los diferentes componentes del somatotipo (**Tabla 3**). MNR_{PPMC} mostró una relación significativa y negativa (P < 0.01 – 0.05) con MC (r = -0.61), $\Sigma 6$ (r = -0.43), MG (r = -0.53), MLG (r = -0.57) y MM (r = -0.56) (**Fig. 9**), mientras que no mostró relación con PG, PM y los diferentes componentes del somatotipo (**Tabla 3**). Finalmente, MNR_{PP80%} no mostró relación con ninguna de las variables antropométricas analizadas ni con los componentes del somatotipo (**Tabla 3**). Para un mejor análisis, aquellas correlaciones más relevantes pueden verse representadas en las **Fig. 6 a Fig. 9**.

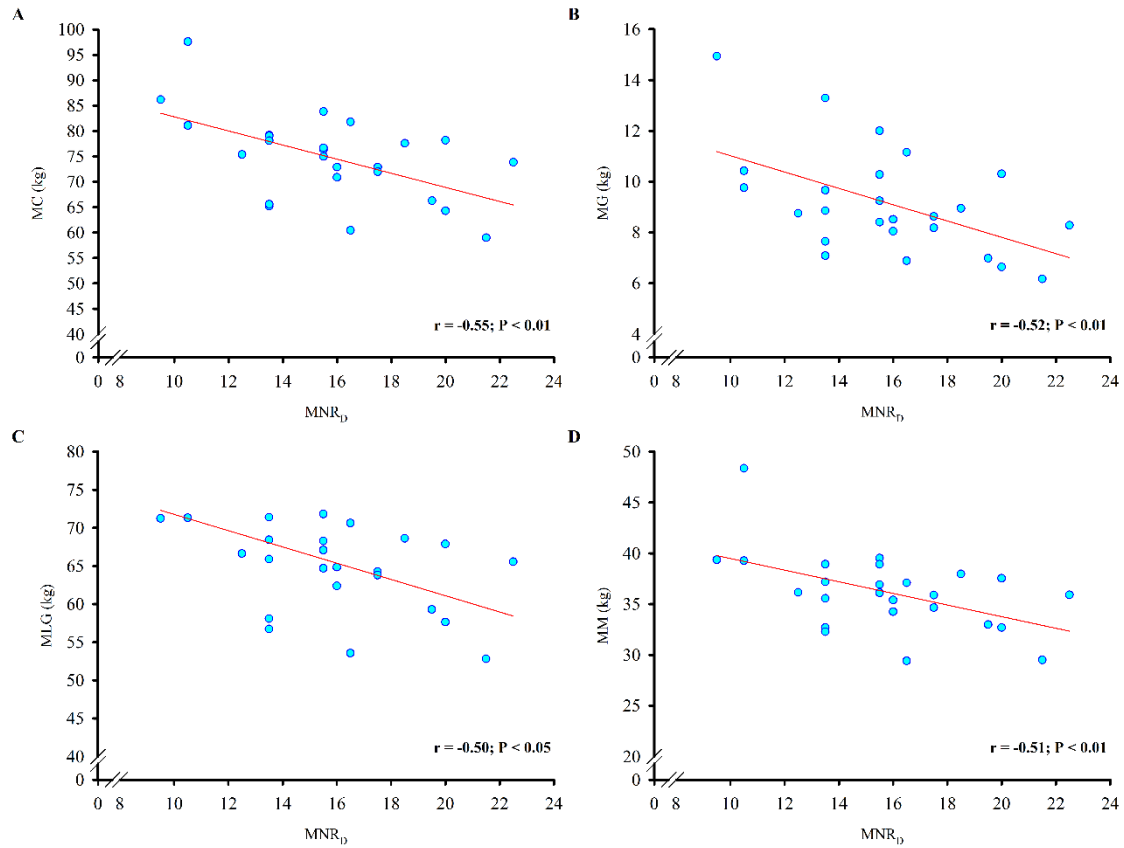


Fig. 6. Correlación entre el máximo número de repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y la masa corporal (MC; **A**), masa grasa (MG; **B**), masa libre de grasa (MLG; **C**) y masa muscular (MM; **D**). Las líneas continuas muestran los ajustes lineales de primer grado

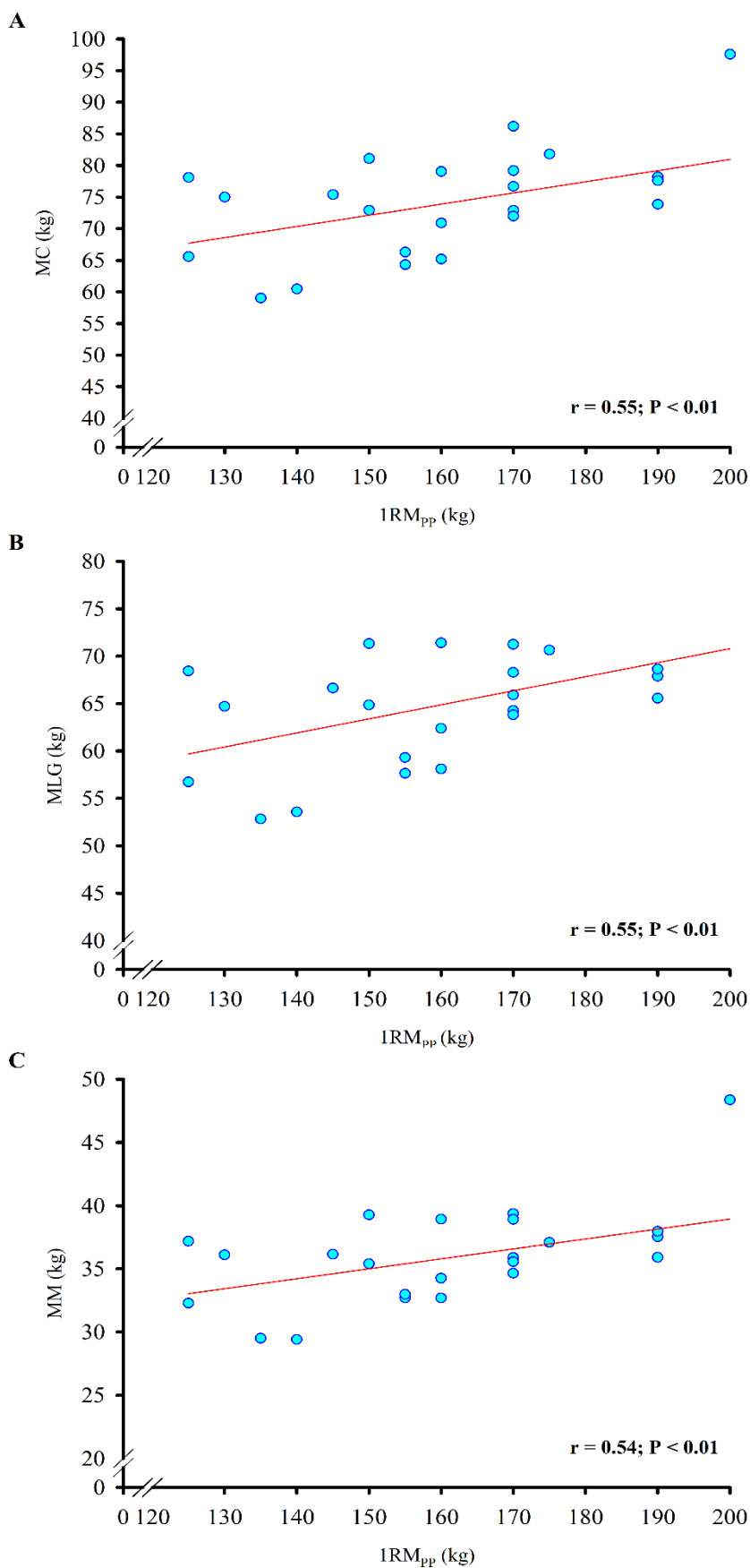


Fig. 7. Correlación entre el valor de una repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho (1RM_{pp}) y la masa corporal (MC; **A**), masa libre de grasa (MLG; **B**) y masa muscular (MM; **C**). Las líneas continuas muestran los ajustes lineales de primer grado

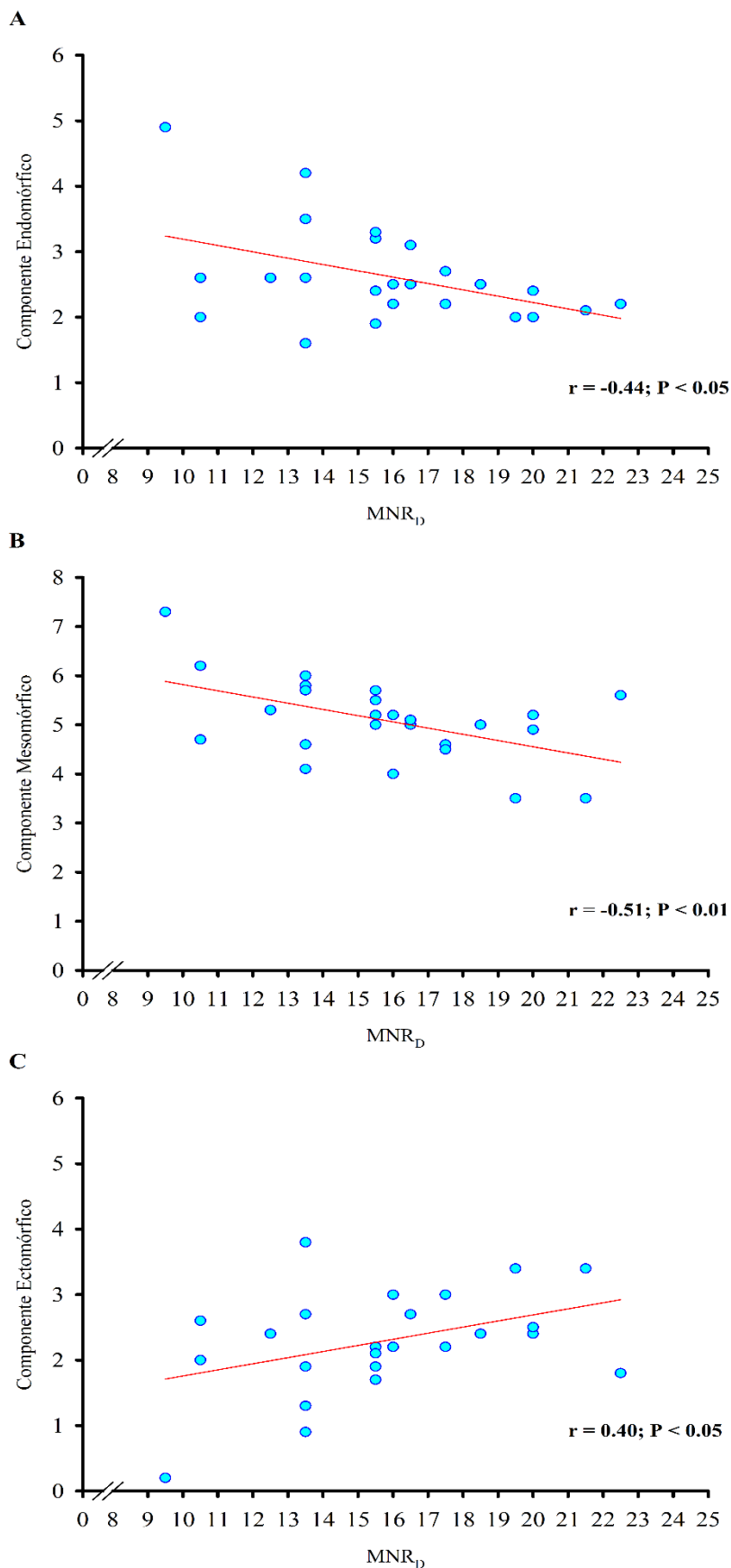


Fig. 8. Correlación entre el máximo número de repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y el componente endomórfico (A), mesomórfico (B) y ectomórfico (C). Las líneas continuas muestran los ajustes lineales de primer grado

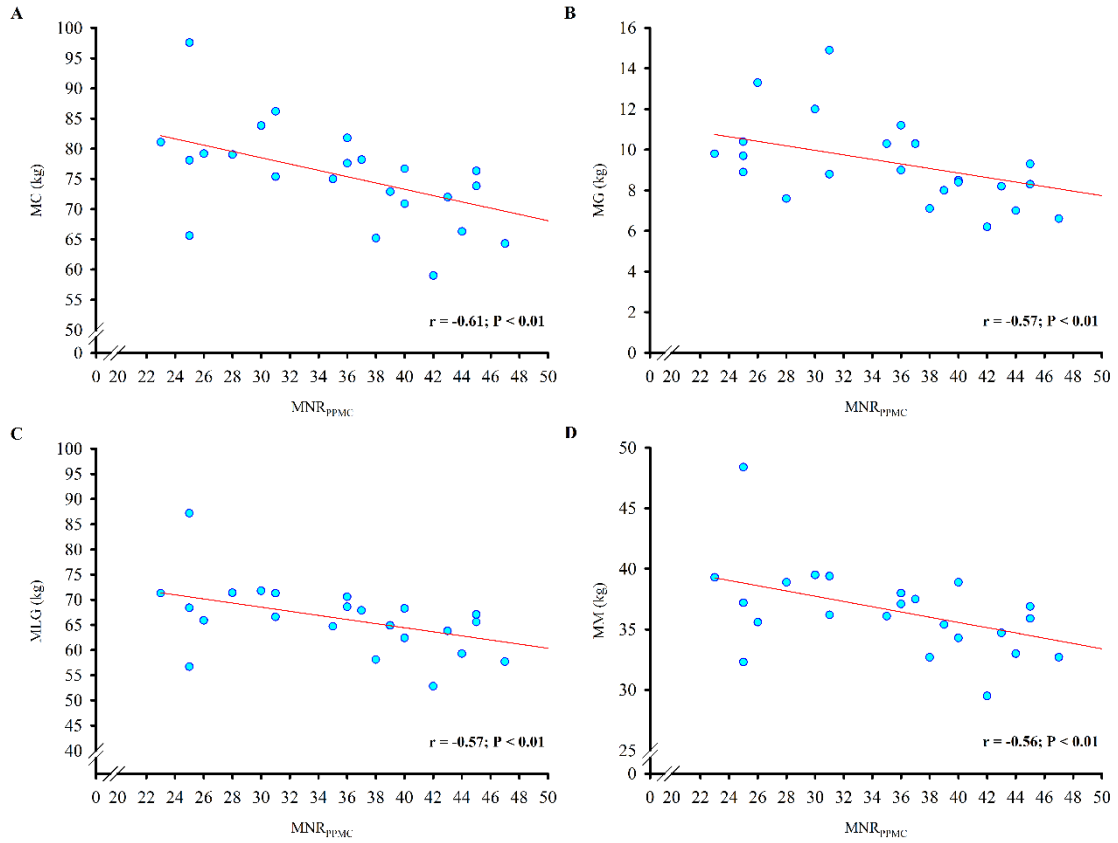


Fig. 9. Correlación entre el máximo número de repeticiones realizadas en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente a la masa corporal (MNR_{PPMC}) y la masa corporal (MC; **A**), masa grasa (MG; **B**), masa libre de grasa (MLG; **C**) y masa muscular (MM; **D**)

Tabla 3. Relación entre el ejercicio de dominadas y polea al pecho con las diferentes variables antropométricas y el somatotipo

	MNR_D	1RM_{PP}	MNR_{PPMC}	MNR_{PP80%}
MC	-0.55 (-0.78 a -0.32) **	0.55 (0.32 a 0.78) **	-0.61 (-0.82 a -0.40) **	-0.07 (-0.40 a 0.27)
Σ6	-0.47 (-0.73 a -0.20) *	-0.09 (-0.25 a 0.42)	-0.43 (-0.70 a -0.16) *	0.32 (0.02 a 0.62)
MG	-0.52 (-0.76 a -0.28) **	0.36 (0.07 a 0.65)	-0.53 (-0.77 a -0.29) **	0.14 (-0.19 a 0.47)
PG	-0.37 (-0.66 a -0.08)	0.14 (-0.19 a 0.47)	-0.36 (-0.65 a -0.07)	0.25 (-0.07 a 0.56)
MLG	-0.50 (-0.75 a -0.25) *	0.55 (0.32 a 0.78) **	-0.57 (-0.88 a -0.34) **	-0.12 (-0.45 a 0.21)
PM	0.31 (0.01 a 0.61)	-0.19 (-0.51 a 0.13)	0.33 (0.03 a 0.63)	-0.09 (-0.43 a 0.24)
MM	-0.51 (-0.76 a -0.26) **	0.54 (0.30 a 0.78) **	-0.56 (-0.79 a -0.34) **	-0.10 (-0.44 a 0.23)
END	-0.44 (-0.71 a -0.17) *	-0.02 (-0.35 a 0.32)	-0.32 (-0.62 a -0.02)	0.30 (-0.01 a 0.60)
MES	-0.51 (-0.76 a -0.26) **	0.21 (-0.11 a 0.53)	-0.30 (-0.61 a -0.01)	0.20 (-0.12 a 0.53)
ECT	0.40 (0.12 a 0.68) *	-0.10 (-0.43 a 0.23)	0.24 (-0.07 a 0.56)	-0.33 (-0.63 a -0.03)

Los datos son presentados como coeficiente de correlación de Pearson e intervalo de confianza al 90% (entre paréntesis).

MNR_D: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas; 1RM_{PP}: valor de una repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho; MNR_{PPMC}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente a la masa corporal; MNR_{PP80%}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente al 80% de 1RM_{PP}; MC: masa corporal; Σ6: sumatorio de 6 pliegues; MG: masa grasa; PG: porcentaje grasa; MLG: masa libre de grasa; PM: porcentaje muscular; MM: masa muscular; END: componente endomórfico; MES: componente mesomórfico; ECT: componente ectomórfico. *Significativo para P < 0.05; **Significativo para P < 0.01

4.3.4 Análisis de regresión lineal múltiple

4.3.4.1 Rendimiento en MNR_D

El análisis de regresión múltiple reveló que las variables MC y 1RM_{PP} fueron las únicas que entraron en la ecuación de regresión para la predicción del rendimiento en MNR_D. La ecuación predictora fue:

$$\text{MNR}_D = 0.34 \times \text{MC} + 0.72 \times \text{1RM}_{PP} + 29.37 \quad (R^2 = 0.52; \text{SEE} = 2.4)$$

4.3.4.2 Rendimiento en 1RM_{PP}

El análisis de regresión múltiple reveló que las variables MNR_D y MLG fueron las únicas que entraron en la ecuación de regresión para la predicción del rendimiento en 1RM_{PP}. La ecuación predictora fue:

$$1RM_{PP} = 2.93 \times MLG + 3.83 \times MNR_D + 87.8 \quad (R^2 = 0.48; SEE = 19.9)$$

4.3.5 Influencia del nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas sobre las distintas variables analizadas

4.3.5.1 Variables de fuerza y resistencia muscular

Cuando los sujetos fueron divididos en función a su nivel de rendimiento en MNR_D, aquellos sujetos con un mayor rendimiento (MNR_{DA}; n = 12) mostraron significativamente mayores valores en MNR_{PPMC} y Fr que aquellos sujetos con un nivel de rendimiento menor (MNR_{DB}; n = 13), sin embargo, no se observaron diferencias significativas en 1RM_{PP} y MNR_{PP80%} (**Tabla 4**). Finalmente, el grupo MNR_{DA} mostró un “*casi seguro*” y “*muy probable*” mejor rendimiento en MNR_{PPMC} y Fr, respectivamente, que el grupo MNR_{DB} (**Fig. 10**).

4.3.5.2 Variables antropométricas y el somatotipo

El grupo MNR_{DA} mostró valores significativamente menores ($P < 0.05$) de MC, MG, MLG y MM que el grupo MNR_{DB} (**Tabla 4**). Además, el PG y el $\Sigma 6$, a pesar de no alcanzar diferencias significativas entre ambos grupos (**Tabla 4**), mostraron un “*probable*” valor menor en el grupo MNR_{DA} (**Fig. 10**). Los componentes mesomórfico y ectomórfico del somatotipo presentaron diferencias significativas entre ambos grupos (**Tabla 4**). El grupo MNR_{DA} mostró un “*muy probable*” menor componente mesomórfico y “*probable*” mayor componente ectomórfico que el grupo MNR_{DB} (**Fig. 10**). Finalmente, a pesar de no alcanzar diferencias significativas, MNR_{DA} parece poseer un “*probable*” menor componente endomórfico que el grupo MNR_{DB} (**Fig. 10**).

Tabla 4. Comparación entre distinto nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas

	MNR _{DA}	MNR _{DB}	P-valor	Diferencias (Cohen) Estandarizadas (IC 90%)	Probabilidad de MNR _{DA} vs. MNR _{DB} de ser mayor/similar/menor	
Medidas de fuerza y resistencia muscular						
MNR _D	18.5 ± 2.2	13.3 ± 2.1	< 0.00	2.22 (1.60; 2.84)	100/0/0	<i>casi seguro</i>
1RM _{PP}	165.0 ± 19.1	165.0 ± 32.5	1.00	0.00 (-0.89; 0.89)	35/30/35	<i>no claro</i>
MNR _{PPMC}	43.9 ± 8.3	30.9 ± 6.8	< 0.00	1.46 (0.87; 2.05)	100/0/0	<i>casi seguro</i>
MNR _{PP80%}	8.2 ± 2.1	8.7 ± 2.7	0.60	-0.23 (-0.96; 0.50)	16/31/53	<i>no claro</i>
Fr	2.3 ± 0.1	2.1 ± 0.4	0.05	1.51 (0.25; 2.77)	96/3/2	<i>muy probable</i>
Variables antropométricas						
MC	70.9 ± 7.1	78.4 ± 8.3	0.02	-0.99 (-1.69; -0.30)	0/3/97	<i>muy probable</i>
Σ6	54.1 ± 12.2	65.6 ± 17.3	0.07	-0.62 (-1.18; -0.07)	1/9/90	<i>probable</i>
MG	8.2 ± 1.5	10.0 ± 2.2	0.03	-1.14 (-1.96; -0.32)	1/3/97	<i>muy probable</i>
PG	11.5 ± 1.0	12.8 ± 2.3	0.10	-1.11 (-2.23; 0.01)	3/6/91	<i>probable</i>
MLG	62.6 ± 5.7	68.4 ± 7.4	0.04	-0.94 (-1.67; -0.20)	1/4/95	<i>muy probable</i>
PM	48.7 ± 1.4	48.3 ± 1.7	0.46	0.32 (-0.40; 1.03)	61/28/11	<i>no claro</i>
MM	34.4 ± 2.8	37.8 ± 4.0	0.02	-0.79 (-1.35; -0.23)	0/4/96	<i>muy probable</i>
Somatotipo						
Endomorfia	2.4 ± 0.3	2.9 ± 0.9	0.08	-0.52 (-1.01; -0.04)	1/12/87	<i>probable</i>
Mesomorfia	4.7 ± 0.7	5.5 ± 0.8	0.01	-0.92 (-1.52; -0.33)	0/2/98	<i>muy probable</i>
Ectomorfia	2.7 ± 0.5	2.0 ± 0.9	0.03	0.70 (0.19; 1.22)	95/5/0	<i>probable</i>

Datos son expresados como media ± SD; IC: intervalo de confianza.

MNR_{DA}: sujetos cuyo rendimiento en MNR_D es mayor al rendimiento medio del grupo completo (n = 12); MNR_{DB}: sujetos cuyo rendimiento en MNR_D es menor al rendimiento medio del grupo completo (n = 13); MNR_D: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas; 1RM_{PP}: valor de una repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho; MNR_{PPMC}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente a la masa corporal; MNR_{PP80%}: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente al 80% de 1RM_{PP}; Fr: valor de 1RM_{PP} dividido por la masa corporal; MC: masa corporal; Σ6: sumatorio de 6 pliegues; MG: masa grasa; PG: porcentaje grasa; MLG: masa libre de grasa; PM: porcentaje muscular; MM: masa muscular

MNR_{DA} vs. MNR_{DB}

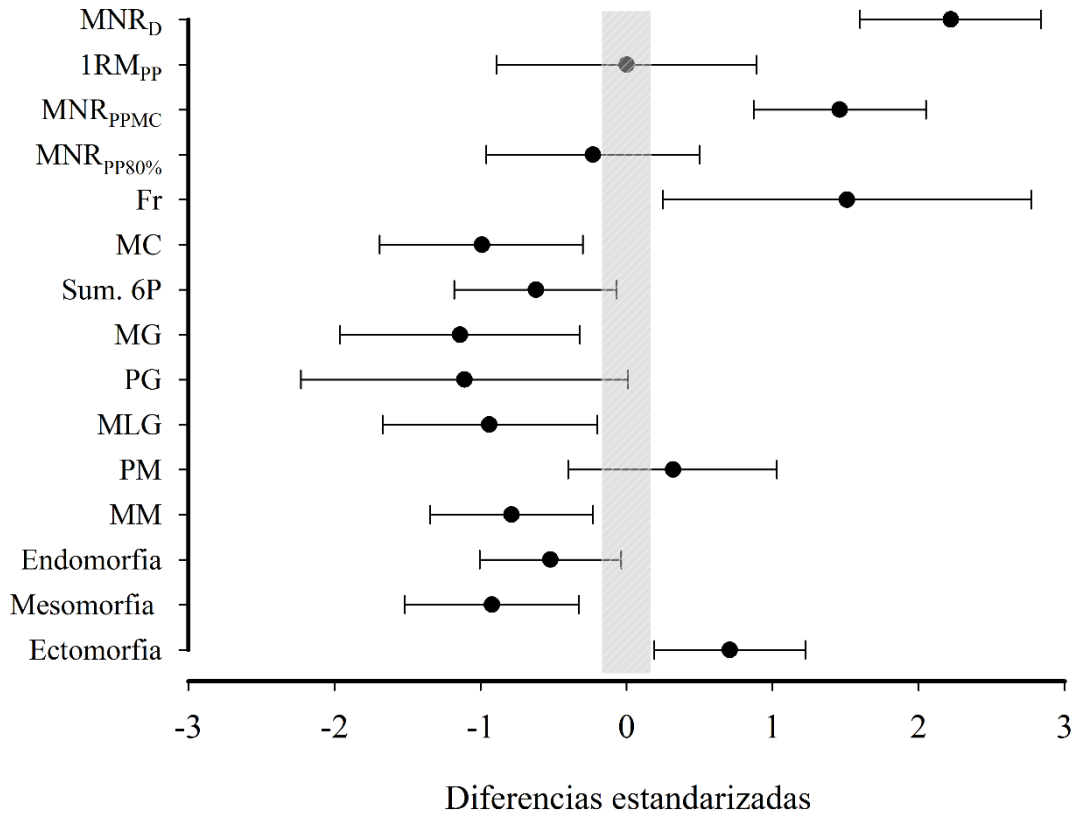


Fig. 10. Diferencias estandarizadas entre el grupo con mayor rendimiento en el número máximo de repeticiones en el ejercicio de dominadas (MNR_{DA}) y el grupo con menor rendimiento en dicho ejercicio (MNR_{DB}) en las diferentes variables analizadas. El área sombreada representa el mínimo cambio apreciable. Ver método para la interpretación de los resultados cualitativos. Todos los datos están representados como las diferencias entre MNR_{DA} y MNR_{DB} (MNR_{DA} vs. MNR_{DB}), así que los valores negativos o positivos van en dicha dirección.

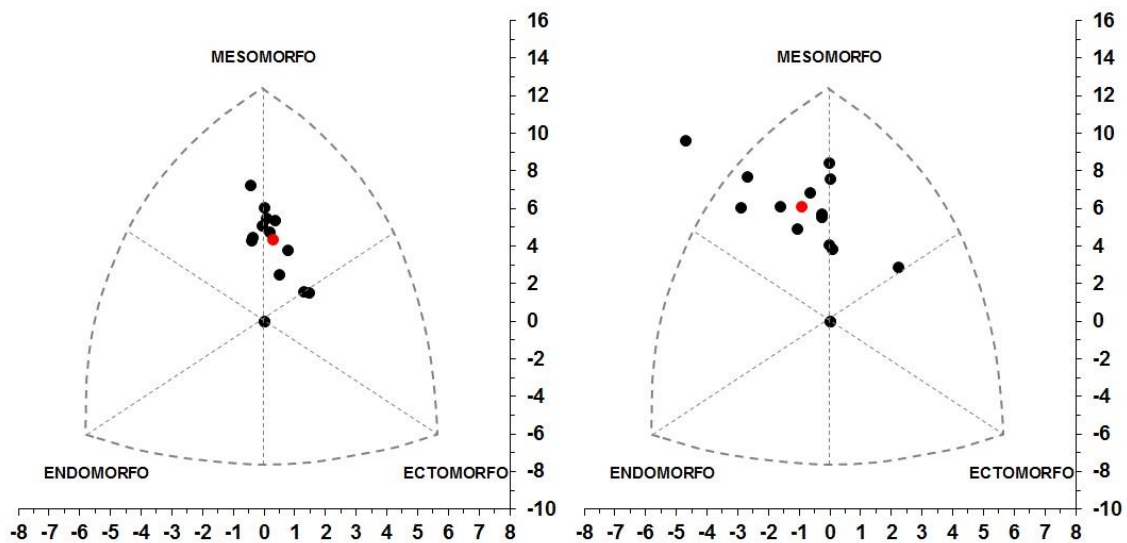


Fig. 11. Somatocarta grupo MNR_{DA} (izquierda) y grupo MNR_{DB} (derecha)

4.4 Discusión

Según nuestro conocimiento, este es el primer estudio que analiza la relación entre la fuerza relativa a la masa corporal en el ejercicio de polea al pecho y el rendimiento en el ejercicio de dominadas. Uno de los principales resultados de este estudio fue que el rendimiento en dominadas, evaluado a través del máximo número de repeticiones con el propio peso corporal (MNR_D), mostró una relación significativa con las diferentes medidas de fuerza relativa a la masa corporal en el ejercicio de polea al pecho (MNR_{PPMC} y Fr), mientras que las medidas de fuerza sin tener en cuenta la masa corporal ($1RM_{PP}$ y $MNR_{PP80\%}$) no mostraron ninguna relación con el rendimiento en dominadas. Además, la relación observada entre MNR_D y las diferentes variables antropométricas sugiere la existencia de una influencia del valor absoluto de la masa corporal (MC), la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG) sobre el rendimiento en el ejercicio de dominadas, mientras que los valores relativos como el porcentaje grasa (PG) y el porcentaje muscular (PM) parecen no tener influencia sobre el rendimiento en dominadas en sujetos entrenados en dicho ejercicio. Estos resultados sugieren que el ejercicio de dominadas y polea al pecho pueden ser considerados como ejercicios análogos e intercambiables siempre que la carga utilizada en el ejercicio de polea al pecho sea normalizada con respecto al peso corporal.

Un resultado único de este estudio fue la relación existente ($r = 0.61$ [0.41 a 0.83]) entre el número máximo repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y el número máximo de repeticiones realizadas con una carga externa equivalente al peso corporal del deportista en el ejercicio de polea al pecho (MNR_{PPMC}). Según nuestro conocimiento, la relación entre MNR_D y MNR_{PPMC} no había sido analizada aún. Además, nosotros también observamos una relación significativa ($r = 0.57$ [0.33 a 0.79]) entre el máximo número de repeticiones en el ejercicio de dominadas y el valor de fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho (Fr). Este último hallazgo está en concordancia con los encontrados previamente por Halet et al. (2009) quienes observaron una relación similar entre ambas variables ($r = 0.69$). Es razonable aceptar que la relación similar observada entre MNR_D y el rendimiento relativo al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho (MNR_{PPMC} y Fr) viene explicada por el hecho de que a mayor fuerza relativa a la masa corporal menor grado de esfuerzo supone una carga similar a la misma, lo que, naturalmente, permite realizar un mayor número de repeticiones con dicha carga.

Este hecho viene respaldado por la relación observada entre MNR_{PPMC} y Fr (0.53 [0.29 a 0.77]; **Tabla 1**).

Por otro lado, en el este estudio no se observaron relaciones entre el rendimiento en dominadas y los valores de 1RM en el ejercicio de polea al pecho ($1RM_{PP}$), y el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente al 80% de 1RM ($MNR_{PP80\%}$). Resultados similares fueron hallados previamente (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009; Johnson et al., 2009). Estos autores, en base a los resultados obtenidos, llegaron a la conclusión de que los ejercicios de dominadas y polea al pecho no deberían ser sustituidos el uno por el otro dentro del régimen de entrenamiento porque ambos no estaban relacionados. Sin embargo, nosotros sugerimos que esta aparente falta de asociación puede ser parcialmente explicada por el hecho de que el valor de $1RM_{PP}$ y $MNR_{PP80\%}$ no pueden ser considerados como un indicador de fuerza relativa a la masa corporal como lo es el MNR_D . En nuestro estudio, cuando la masa corporal fue incluida dentro de la medida de rendimiento en el ejercicio de polea al pecho (MNR_{PPMC} y Fr), este mostró una relación significativa con el ejercicio de dominadas (Tabla 1). Esta sugerencia está reforzada por el incremento en la relación entre el máximo número de repeticiones que puede ser realizado en el ejercicio de dominadas y el valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho, cuando la masa corporal es controlada estadísticamente mediante el uso de la correlación parcial, pasando el valor de la correlación desde $r = 0.09$, a $r = 0.56$. Además, observamos que el rendimiento en dominadas podía ser predicho precisamente solo cuando el valor de 1RM en polea al pecho y la masa corporal son incluidas en la ecuación ($R^2 = 0.52$). Estos resultados están en concordancia con los de otros estudios (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009) donde se observó que el valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho podía ser predicho solo cuando MNR_D fue incluido junto con la masa corporal o la masa libre de grasa dentro de la ecuación. A este respecto, nosotros observamos que, aunque el rendimiento en MNR_D , por sí solo, no estuvo significativamente relacionado con $1RM_{PP}$ ($r = 0.09$), este estuvo incluido junto con la masa libre de grasa (MLG) dentro de la ecuación de predicción $1RM_{PP}$ ($R^2 = 0.48$, $SEE = 19.9$ kg). Estos resultados confirman la hipótesis 1 del presente estudio, al observarse la existencia de una relación entre el rendimiento en el ejercicio de dominadas, cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones que puede ser realizado con el propio peso corporal, y el rendimiento en el ejercicio de polea al pecho en la fuerza relativa al peso corporal y en el número de repeticiones con una

carga equivalente al peso corporal. Por tanto, nuestros resultados sugieren que el ejercicio de dominadas y polea al pecho son ejercicios análogos cuando factores comunes como la masa corporal y la masa libre de grasa son tenidos en cuenta. Esta afirmación viene respaldada por la relación observada entre el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y: i) el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de polea al pecho con una carga externa equivalente al peso corporal (MNR_{PPMC}); ii) el valor de fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho (Fr). Además, la relación parcial observada entre el MNR_D y el valor de $1RM_{PP}$, cuando la masa corporal y la masa libre de grasa son controladas, y el hecho de que ambas variables de composición corporal están presentes como mejores predictores tanto del rendimiento en el número máximo repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas como en el valor de $1RM$ en el ejercicio de polea al pecho, contribuyen a la afirmación de que ambos ejercicios presentan similitudes. Estos resultados tienen cierta relevancia práctica para maximizar las ganancias en el rendimiento en el ejercicio de dominadas. Por ejemplo, en el caso de encontrarnos con un deportista incapaz de realizar ninguna repetición en el ejercicio de dominadas, podríamos utilizar como estrategia para incrementar la fuerza de tracción del mismo la implementación de un programa de entrenamiento de fuerza que incluya el ejercicio de polea al pecho, el cual nos permite un mayor ajuste e individualización de la carga de entrenamiento. Además, dicho ejercicio también podría ser utilizados con deportistas que ya posean un determinado nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas como un ejercicio complementario para mejorar su rendimiento en dominadas.

En otro orden de cosas, la influencia que la composición corporal tiene sobre el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente al peso corporal (MNR_{PPMC}) parece ejercer un efecto opuesto al observado sobre el valor de $1RM$ ($1RM_{PP}$) y el máximo número de repeticiones con una carga equivalente al 80% de $1RM$ ($MNR_{PP80\%}$) en el ejercicio de polea al pecho. En el actual estudio observamos cómo $1RM_{PP}$ presentó una relación positiva con la masa corporal (MC), la masa libre de grasa (MLG) y la masa muscular (MM), mientras que MNR_D y MNR_{PPMC} presentaron una relación negativa con la MC , MLG , MM y la masa grasa (MG ; **Tabla 1**). En concordancia con nuestros resultados, Halet et al. (2009) también observaron que el MNR_D estaba inversamente relacionado con la MC ($r = -0.47$), MLG ($r = -0.43$) y con la MG ($r = -0.44$), mientras que $1RM_{PP}$ mostró

una relación positiva con MC ($r = 0.38$) y MLG ($r = 0.41$). Resultados similares fueron observados por Johnson et al. (2009), quienes encontraron una relación positiva entre $1RM_{PP}$ y MC ($r = 0.47$) y MLG ($r = 0.55$). Además, estos últimos autores también observaron una relación positiva entre el valor de $1RM$ en el ejercicio de dominadas y la MC ($r = 0.42$) y la MLG ($r = 0.67$). Estos resultados confirman la hipótesis 2 del presente estudio, al observarse la existencia de una relación de signo opuesto entre los componentes de la masa corporal y el rendimiento en los ejercicios de dominada y polea al pecho en función del tipo de manifestación de fuerza que sea evaluada (fuerza máxima o fuerza relativa al peso corporal). Por tanto, podemos sugerir que el valor absoluto de fuerza máxima en ambos ejercicios podría estar favorecido por altos valores de MC, LBM y MM, mientras que el rendimiento relativo a la MC en ambos ejercicios (MNR_D , MNR_{PPMC}) podría estar influenciado negativamente por altos valores de MC, MLG, MG y MM. Estas conclusiones están respaldadas por las diferencias observadas entre dichas variables de composición corporal cuando los sujetos fueron divididos según su nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas. En el presente estudio, aquellos que mostraron un rendimiento alto en el ejercicio de dominadas (MNR_{DA}) mostraron valores menores de MC, MLG, MG y MM que aquellos deportistas con un nivel de rendimiento en dominadas bajo (MNR_{DB} , **Tabla 4**). En esta misma línea, Halet et al. (2009) observaron valores significativamente menores de MC, MLG y MG en un grupo de deportistas con valores altos de fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho ($\geq 1.0 \text{ kg} \cdot \text{BM}^{-1}$). El hecho de que una mayor cantidad de MC, MLG y MG fuese en detrimento del rendimiento en dominadas está en concordancia con los resultados de otros investigadores (Chandler et al., 2001; Halet et al., 2009; Johnson et al., 2009) y sugiere que deportistas más pesados podrían estar penalizados en valores de fuerza relativos a la masa corporal, sin embargo, esta mayor masa podría suponer un beneficio para el rendimiento en valores absolutos de fuerza.

Finalmente, en el presente estudio observamos que el MNR_D mostró una relación negativa y significativa con END ($P < 0.05$) y MES ($P < 0.01$), mientras que la relación se tornó positiva con ECT ($P < 0.05$). Además, el grupo con un mayor nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas (MNR_{DA}) presentaron un componente mesomórfico significativamente menor y un componente ectomórfico significativamente mayor que el grupo con un nivel de rendimiento más bajo (MNR_{DB}). El análisis del somatotipo reveló que el grupo MNR_{DA} mostró un somatotipo de clase mesomórfico-balanceado mientras

que los deportistas con un nivel bajo de rendimiento mostraron un somatotipo de tipo mesomórfico-endomórfico (Carter & Heath, 1990). Estos resultados están en la misma línea que los obtenidos con escaladores, en los que se ha observado que el componente endomórfico tuvo una relación negativa y significativa ($r = -0.45$; $P < 0.05$) con el rendimiento en competición (Puletic & Stankovic, 2014).

Según los resultados anteriores, podemos sugerir que la MC y la distribución de la misma debe ser tenida en cuenta cuando el objetivo del entrenamiento es mejorar el rendimiento en el ejercicio de dominadas, cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones que puede ser realizado con la propia masa corporal. Por ejemplo, Flanagan et al. (2003) observaron que el mejor predictor del éxito en el ejercicio de dominadas, al final del programa de entrenamiento de fuerza de 12 semanas, incluía el porcentaje de grasa inicial de los participantes. Sin embargo, en nuestro estudio, no se observaron diferencias en el porcentaje de grasa entre MNR_{DA} y MNR_{DB} (**Tabla 4**). Este hecho podría explicarse por las características de la población estudiada. Al tratarse de sujetos entrenados, ambos grupos presentaron un bajo porcentaje de grasa, con una tendencia hacia un menor valor en MNR_{DA} , pero sin alcanzar diferencias estadísticamente significativas (**Tabla 4**). Estos resultados pueden tener relevancia para evaluar el nivel de condición física de aquellas profesiones que requieren llevar equipo pesado y solicitar ciertas demandas físicas como levantar su propia masa corporal. Por otro lado, en profesiones como la de bombero, un aumento repentino de la masa total causado por el uso de equipos específicos (Perroni, Cignitti, Cortis, & Capranica, 2014) tendría una influencia negativa sobre la capacidad de levantar su propio cuerpo, especialmente en aquellos sujetos con valores de MC más bajos. Se debe prestar especial atención a los valores absolutos de fuerza máxima en los ejercicios de tracción y empuje para asegurar el éxito en tareas específicas como pueden ser las entradas forzosas, las elevaciones, el avance de mangueras y el rescate de las víctimas.

4.5 Conclusiones

Estos hallazgos sugieren que los ejercicios de dominadas y polea al pecho tienen elementos comunes. Por otro lado, las dimensiones antropométricas y las variables de composición corporal parecen ejercer una influencia de signo diferente sobre ambos ejercicios dependiendo del indicador de fuerza evaluado. Por ejemplo, una mayor MC, aunque sea en su mayor parte MLG, puede invocar una cierta penalización en el rendimiento en dominadas y polea al pecho cuando estos son evaluados mediante el máximo número de repeticiones que puede ser realizado con la propia masa corporal, en el caso de las dominadas, y con una carga equivalente a la MC en el caso de ejercicio de polea al pecho, pero podría tener un efecto positivo sobre el valor de 1RM.

Por tanto, aunque otros autores (Halet et al., 2009; Johnson et al., 2009) afirman que ambos ejercicios, aparentemente análogos, no deben sustituirse entre sí en un régimen de entrenamiento, los resultados del presente estudio parecen indicar lo contrario. En primer lugar, la relación positiva observada entre ambos ejercicios cuando son evaluados a través del máximo número de repeticiones que pueden ser realizado con el propio peso corporal, en el caso del ejercicio de dominadas (MNR_D), y con una carga equivalente al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho (MNR_{PPMC}), nos hace pensar que ambos ejercicios comparten una serie de elementos comunes. Además, el valor de 1RM en el ejercicio de polea al pecho estuvo relacionado con el máximo número de repeticiones que pueden ser realizado en el ejercicio de dominadas (MNR_D) cuando la MC y la MLG fueron controlados estadísticamente mediante el empleo de correlaciones parciales. Así pues, parece ser que un mayor rendimiento en MNR_D está determinado por la fuerza relativa al peso corporal (1RM/masa corporal) en el ejercicio de polea al pecho. Por tanto, los resultados del presente estudio sugieren que ambos ejercicios pueden ser considerados como análogos cuando se tienen en cuenta factores de composición corporal.

Estos hallazgos pueden ser relevantes para los profesionales del entrenamiento y el acondicionamiento físico. En primer lugar, dada las relaciones observadas en el presente estudio, ambos ejercicios pueden ser utilizados dentro del mismo programa de entrenamiento para incrementar la fuerza de tracción de los hombros, brazos y espalda. Además, el ejercicio de polea al pecho, el cual permite un mejor ajuste de la carga de entrenamiento, puede ser utilizado con el objetivo de incrementar la fuerza de tracción de

los hombros, brazos y espalda, lo que puede ayudar a incrementar el número máximo de repeticiones que pueden ser realizadas en el ejercicio de dominadas con el propio peso corporal. Esto puede ser útil tanto para aquellos deportistas que aún no poseen la suficiente fuerza para desplazar su propio peso corporal a través del ejercicio de dominadas, como para aquellos deportistas que necesitan incrementar su fuerza de tracción con el objetivo de aumentar el número máximo de repeticiones que pueden ser realizado en el ejercicio de dominadas con el peso corporal. Finalmente, cuando el objetivo del entrenamiento es realizar el máximo número de repeticiones con el propio peso corporal en el ejercicio de dominadas, se debe prestar atención a la masa corporal, ya que un alto valor de la misma, a pesar de poseer una distribución adecuada (bajo porcentaje graso pero elevadas cantidades de masa muscular y masa libre de grasa), puede jugar un papel negativo sobre el rendimiento.

4.6 Aplicaciones prácticas

Los resultados del presente estudio contribuyen a la mejora del conocimiento sobre aquellos factores que pueden estar relacionados con el rendimiento en el máximo número de repeticiones que pueden ser realizado en el ejercicio de dominadas y sobre las similitudes entre el mismo y el ejercicio de polea al pecho. Aunque una correlación significativa no implica una relación causa y efecto, las relaciones observadas en el presente estudio nos proporciona una visión sobre aquellos factores que puede contribuir al rendimiento en ambos ejercicios. En primer lugar, las relaciones observadas entre el ejercicio de dominadas y polea al pecho nos permite sugerir que ambos ejercicios pueden ser utilizados de manera complementaria dentro del programa de entrenamiento de fuerza. Además, debido a que, la mínima carga que puede ser desplazada en el ejercicio de dominadas es la propia masa corporal, y que la misma representará un grado de esfuerzo diferente para cada deportista, el uso del ejercicio de polea al pecho se presenta como una opción adecuada para tratar de mejorar la fuerza de tracción de los brazos, hombros y espalda, cuando es necesario un mayor ajuste e individualización de la carga. En segundo lugar, se debe tener en cuenta que la capacidad de realizar un mayor número de repeticiones en el ejercicio de dominadas está influenciada por la composición corporal y que un mayor valor de la misma puede tener un efecto negativo en el rendimiento en el mismo. Por lo tanto, llevar a cabo un entrenamiento de fuerza que implique una exagerada hipertrofia muscular para mejorar la fuerza de tracción puede ser una opción poco adecuada, ya que estos métodos supondrían un aumento concomitante de la masa corporal, que podría resultar en un descenso de la fuerza relativa a la masa corporal. Finalmente, una masa corporal más pesada, a pesar de una composición adecuada, parece afectar negativamente al rendimiento en el máximo número de repeticiones en el ejercicio de dominadas. Para deportistas de estas características y con necesidades de alcanzar un rendimiento alto en el número de repeticiones en el ejercicio de dominadas, podría ser aconsejable realizar algún entrenamiento dirigido a disminuir la masa corporal total de los mismos.

LA VELOCIDAD DE EJECUCIÓN COMO INDICADOR DE INTENSIDAD RELATIVA Y GRADO DE ESFUERZO ALCANZADO DURANTE LA SERIE EN EL EJERCICIO DE DOMINADAS



5 Estudio II. La velocidad de ejecución como indicador de intensidad relativa y grado de esfuerzo alcanzado durante la serie en el ejercicio de dominadas

5.1 Planteamiento del problema y propósito de la investigación

Una vez revisada la bibliografía pertinente podemos observar que la velocidad de ejecución, expresada como velocidad media propulsiva (VMP), puede ser considerada como una variable válida para determinar la intensidad relativa (%1RM) o el grado de esfuerzo que tiene lugar durante la realización del ejercicio de press de banca (González-Badillo, & Sánchez-Medina, 2010) solucionando así los inconvenientes de los métodos más utilizados tradicionalmente (test de 1RM o XRM). Dicha relación ha sido observada en diferentes ejercicios tales como press banca, remo tumbado y sentadillas (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Sánchez-Medina et al. 2017). Sin embargo, según nuestro conocimiento no existe ningún estudio que haya analizado dicha relación en el ejercicio de dominadas. Además, González-Badillo et al. (2010) observaron que una diferencia de VMP ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) de 7 a 9 centésimas de metro por segundo entre dos valores de intensidades relativas representa aproximadamente una diferencia de un 5% de la repetición máxima. Por tanto, puede ser interesante analizar si los cambios en la VMP en el ejercicio de dominadas son aproximadamente constantes ante los cambios en un determinado porcentaje de la repetición máxima.

Por otro lado, se ha observado que el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie puede ser utilizado para determinar el número de repeticiones que debe ser realizado dentro de la serie en el ejercicio de press de banca (González-Badillo, et al. 2017). Por ejemplo, los resultados del estudio de González-Badillo et al. (2017) indican que cuando un individuo alcanza una pérdida en la VMP dentro de la serie comprendida entre el 25-30%, con intensidades relativas entre el 50- 85% 1RM, habría realizado aproximadamente el 50% de las repeticiones posibles (dejando el otro 50% sin hacer). Esta relación permite controlar la variabilidad entre individuos observada en el número de repeticiones máximas que pueden ser realizadas ante una misma intensidad relativa (González-Badillo, et al. 2017; Richens & Cleather, 2014; Sakamoto & Sinclair, 2006; Shimano et

al., 2006; Terzis et al., 2008) y, por consiguiente, igualar el grado de esfuerzo realizado ante dicha intensidad relativa. Por tanto, conocer si dicha relación se mantiene en aquellos ejercicios habitualmente utilizados puede proporcionar información para el control y la dosificación del entrenamiento. Según nuestro conocimiento, dicha relación no ha sido estudiada en el ejercicio de dominadas cuando se realiza el máximo número de repeticiones con el propio peso corporal.

Finalmente, dada la naturaleza del ejercicio de dominadas, es cual es habitualmente evaluado a través del máximo número de repeticiones que pueden ser realizadas ante el propio peso corporal, puede resultar interesante analizar la relación entre los cambios en dicha manifestación de rendimiento y los cambios en el valor de 1RM. Por consiguiente, parece existir un vacío de conocimiento en torno a estas cuestiones, dándose las condiciones necesarias para justificar la formulación de uno o varios problemas de investigación, que este caso son los siguientes:

- 1) ¿Existe relación entre los porcentajes de la repetición máxima y su velocidad de ejecución en el ejercicio de dominadas?
- 2) ¿Existe relación entre la pérdida de velocidad en la serie y el porcentaje del número máximo de repeticiones realizado con el propio peso corporal en el ejercicio de dominadas?

5.1.1 Objetivos de la investigación

La problemática objeto de estudio genera los siguientes objetivos:

- Comprobar si cada porcentaje de una repetición máxima en el ejercicio de dominadas tiene su propia velocidad.
- Examinar la relación entre la pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje del número máximo de repeticiones realizado con el propio peso corporal en el ejercicio de dominadas.

5.1.2 Hipótesis

En estudios previos en relación a esta problemática se ha observado una estrecha relación entre la velocidad de ejecución y la intensidad relativa en ejercicios del miembro superior como el press de banca y el remo tumbado (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014). Dado que los grupos musculares implicados en el ejercicio de dominadas son en gran parte los mismos que para los ejercicios de press de banca y remo tumbado, es probable que dicha relación también esté presente en el ejercicio de dominadas. Por ello, nos hemos planteando la siguiente hipótesis:

Hipótesis 1: Existe una relación alta entre los porcentajes de una repetición máxima y su velocidad de ejecución. Esta relación permite predecir el porcentaje de 1RM que representa cualquier carga absoluta en dicho ejercicio.

Además, en el ejercicio de press de banca también se ha observado una relación entre la pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al número máximo de repeticiones posibles en la serie (González-Badillo et al., 2017). Siguiendo con la misma argumentación anterior, en relación con los grupos musculares que participan en el ejercicio, es probable que una determinada pérdida de velocidad en la serie pueda predecir el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo de repeticiones que pueda realizar el sujeto dentro de la propia serie. Por ello, nos hemos planteando la siguiente hipótesis:

Hipótesis 2: La pérdida de velocidad dentro de la serie predice el porcentaje de repeticiones realizado en relación al número de repeticiones realizables en el ejercicio de dominadas.

5.2 Metodología

5.2.1 Tipo de investigación

Dadas las características de los datos, nuestro estudio es una investigación cuantitativa. Por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del estudio, nuestra investigación es fundamentalmente descriptiva. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es principalmente correlacional.

5.2.2 Muestra

La muestra estuvo compuesta por 52 sujetos varones jóvenes (edad 26.5 ± 3.9 años, estatura 176.7 ± 5.8 cm, masa corporal 74.3 ± 7.2 kg), los cuales eran candidatos a los Servicio de Extinción de Incendios y Salvamento (Bomberos). Estos sujetos fueron seleccionados por su experiencia (entre 2 y 4 años) y nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas (16.0 ± 4.4 repeticiones), el cual formaba parte de su rutina habitual de entrenamiento (2-3 sesiones/semana). Ninguno de los sujetos estaba tomando drogas, medicamentos y suplementos dietéticos conocidos que influyen en el rendimiento físico. Una vez seleccionados los sujetos que cumplían los requisitos y confirmada su disponibilidad, y tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todos ellos dieron su Consentimiento Informado, el cual se adjunta en el **ANEXO I**, antes de tomar parte en el estudio correspondiente, el cual fue aprobado por el Comité Científico Ético de la Universidad Pablo de Olavide.

5.2.3 Variables objeto de estudio

Las principales variables analizadas en este estudio descriptivo fueron:

- Fuerza dinámica máxima (1RM) en el ejercicio de dominadas, en kg. Calculado como la suma de la carga levantada más la masa corporal del sujeto (por ej. Si un sujeto con una masa corporal de 90kg fue capaz de levantar 50kg, su valor de 1RM fue 140kg [90kg + 50kg = 140kg])
- Fuerza relativa máxima ($Fr = \frac{1RM}{Masa\ corporal}$)
- Velocidad media propulsiva (VMP) alcanzada con cada %1RM, en $m \cdot s^{-1}$. Entendiendo la fase propulsiva como aquella fracción de la fase concéntrica en la que

la aceleración es superior a $-9.81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$ (Sánchez-Medina, Perez, & González-Badillo, 2010)

- Velocidad con la que se alcanza 1RM (V_{1RM}), en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Velocidad media del test incremental, calculada a través del ajuste lineal de cada individuo con cargas comprendidas entre 60-95% 1RM en incrementos del 5%, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Velocidad media del test incremental, calculada con las cargas comunes utilizadas en ambos test, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Número máximo de repeticiones (MNR) realizadas en un test hasta el agotamiento en el ejercicio de dominadas sin añadir carga externa
- Velocidad media propulsiva alcanzada en cada una de las repeticiones realizadas en el test de repeticiones máximas, en $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$
- Porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie, calculado como cualquier valor submáximo de VMP dividido por la VMP de la repetición más rápida (usualmente la primera) y multiplicado por 100 (%PV)
- Porcentaje de repeticiones realizado dentro de la serie (%RR), calculado como cualquier valor submáximo de repeticiones dividido por el MNR y multiplicado por 100 (%RR)
- Velocidad media propulsiva máxima (V_{Max}) alcanzada con el propio peso corporal (usualmente la primera repetición)

5.2.4 Evaluaciones

5.2.4.1 Análisis de la Composición Corporal

Con el objetivo de describir adecuadamente la muestra, al comienzo de cada estudio se realizó una evaluación antropométrica y de composición corporal de cada sujeto. Con ello se determinó:

Masa corporal (kg): se pesó a los sujetos colocándolos, en posición erecta, en el centro de una báscula de precisión (Quirumed, Valencia, España).

Talla (cm): es la distancia entre el vértex y las plantas de los pies. Los sujetos permanecieron de pie con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro (Quirumed, Valencia, España).

5.2.4.2 Evaluación de las relaciones carga-fuerza/velocidad

Las dominadas fueron realizadas sobre una barra fija horizontal, colocada a una altura en la que los sujetos en ningún momento podrían tocar el suelo con sus pies. Para ser contada como una repetición completa fue requerido que el sujeto levantase su cuerpo desde una extensión completa de brazos, con un agarre en pronación y una amplitud del mismo ligeramente superior a la anchura de los hombros (aproximadamente 150% de la distancia biacromial), hasta que la barbilla sobrepasase la barra con la cabeza en posición neutra (**Fig. 4**). Se impuso una pausa momentánea (~ 1.5 s) entre las fases excéntrica y concéntrica para minimizar la contribución del efecto del rebote y permitir minimizar los errores y facilitar la reproductibilidad de la media (Pallarés et al. 2014), así como que la fase concéntrica se realizara siempre partiendo desde parado. La fase excéntrica se realizaba a una velocidad moderada, “sin dejarse caer”, y la fase concéntrica se realizaba a la máxima velocidad posible. Todos los participantes completaron un calentamiento idéntico de 10 minutos, el cual consistió en carrera continua, movimientos de la articulación del hombro y 2 series de 2-3 repeticiones en dominada sin sobrecarga externa.

Posterior al calentamiento, los sujetos procedieron a la realización del test incremental hasta la determinación de la RM. La evaluación comenzó sin carga extra añadida (solo el propio peso corporal). Posteriormente se fue añadiendo peso con incrementos iniciales de 5 kg para todos los sujetos. A medida que los sujetos presentaban dificultades para completar las repeticiones, los incrementos de carga fueron de 4kg, 2kg y 1kg, en función del criterio de los investigadores. El peso extra fue añadido utilizando unos cinturones diseñados para dicha labor los cuales cuentan con una cadena que permite fijar el peso alrededor de la cintura (**Fig. 12**). El peso más alto que los sujetos fueron capaces de levantar con una ejecución correcta fue considerado como el valor de 1RM, y la velocidad a la cual dicho valor era alcanzado como la velocidad de 1RM (V_{1RM}). Se realizaron tres repeticiones cuando la VMP fue mayor que $0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dos repeticiones cuando la VMP estuvo entre $0.75 - 0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y solo una repetición cuando la VMP fue inferior a $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El descanso entre series fue establecido en tres minutos cuando la VMP fue mayor que $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y de cuatro minutos cuando la VMP fue menor a $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Sólo la mejor repetición de cada carga, según el criterio de mayor VMP, acompañado de una ejecución correcta fue considerada para su posterior análisis. El ejercicio se inició con el deportista

suspendido de la barra donde permanecía quieto (~1,5 s), hasta escuchar la orden de “¡ya!” que el evaluador transmitirá al sujeto en cuanto observo que estaba completamente parado. Para evitar que el sujeto permaneciera mucho tiempo suspendido, un investigador se situaba en la parte posterior del ejecutante para fijarlo rápidamente, sujetándolo por los pies, una vez estuviera completamente suspendido. A la orden del evaluador, se invierte el movimiento, subiendo hacia arriba a la máxima velocidad posible hasta sobrepasar la barra con la barbilla. La fiabilidad de este test ha sido previamente establecida en $r = 0.90$ (Baker & Newton, 2004).



Fig. 12. Cinturón para añadir el peso en el test incremental de dominadas

5.2.4.3 Evaluación de la pérdida de velocidad dentro de una serie hasta el fallo muscular

Un test del máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular (MNR) fue realizado para estudiar la pérdida de velocidad que tuvo lugar dentro de la serie. Las dominadas se realizaron en la misma barra utilizada para el test incremental y bajo las mismas normas de ejecución. El tipo de agarre y la amplitud fue igual al utilizado durante el test incremental (registrado durante el test incremental y marcado en la barra para cada sujeto). La fiabilidad de un típico test de dominadas hasta el fallo ha sido evaluada como índices de coeficiente de correlación intraclase de 0.92 - 0.95 (Ball, 1993; Vanderburgh & Edmonds, 1997).

5.2.4.4 Instrumental de evaluación

Todas las repeticiones fueron grabadas con un transductor lineal de velocidad (T-Force System, Ergotech, Murcia, España⁶). El transductor contiene un tacogenerador de alta precisión que mide a qué velocidad se estira o retrae el cable de 2 m que tiene incorporado. El sensor da como salida una tensión eléctrica proporcional a la velocidad con la que se mueve el cable (**Fig. 13**). Hardware y software se conectan a través de la interface, el cual consta de una tarjeta electrónica de adquisición de datos dotada de un conversor A/D de 14 bits de resolución que transforma la señal analógica emitida por el transductor en una señal digital que es recibida por el software. La frecuencia de muestreo a la que se adquieren los datos se ha fijado en 1.000 Hz, es decir, se obtiene un dato de velocidad cada milisegundo. El software distingue automáticamente las distintas repeticiones y fases (excéntrica/concéntrica) dentro de una ejecución, permitiendo registrar múltiples series de ejercicio y controlar el entrenamiento de varios deportistas a la vez (**Fig. 14**). La fiabilidad de este dispositivo ha sido previamente publicada (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). El cable del transductor lineal fue fijado en la parte posterior del cinturón de tal forma que el peso añadido quedaba situado en la parte delantera y el transductor lineal en la parte posterior (**Fig. 15**). Para evitar errores en la medición de la velocidad derivados de movimientos que se alejen excesivamente de la vertical (desviación de la vertical mayor a 2°), el cable del transductor lineal no fue fijado directamente sobre el cinturón, si no sobre un cordel no elástico de aproximadamente 40 cm el cual se fijaba en el cinturón. De este modo fueron corregidos pequeños movimientos horizontales de la cadera que pueden darse durante la ejecución y la propia curvatura provocada por la musculatura del glúteo.



Fig 13. Componentes del Dispositivo T-FORCE System (Hardware)

⁶ <http://www.tforcesystem.com>

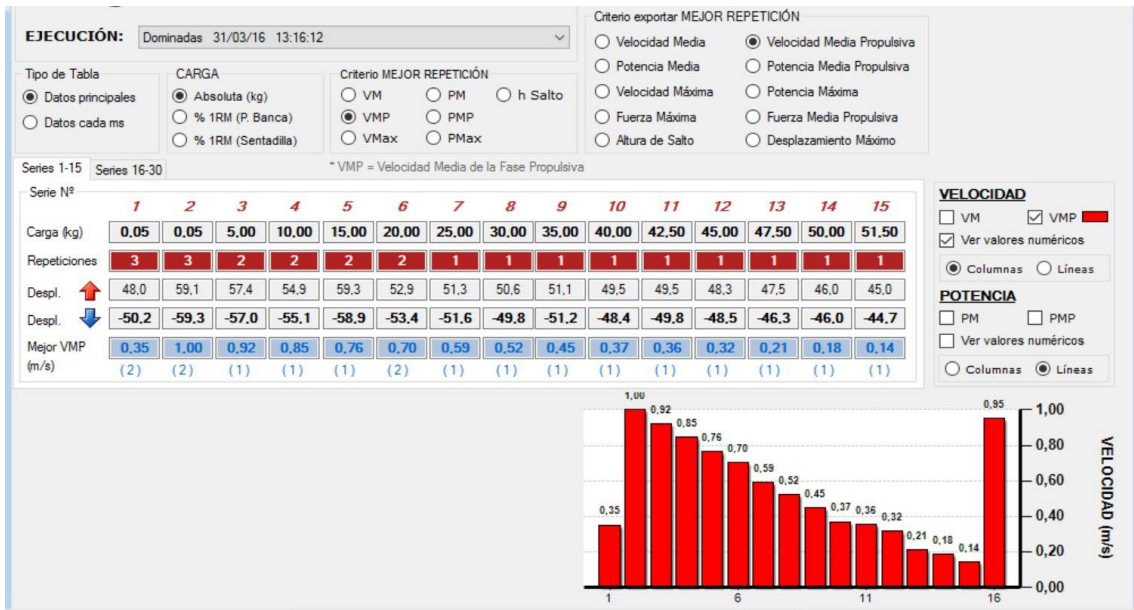


Fig 14. Pantalla del software del T-FORCE System que muestra la evolución de la velocidad de ejecución conseguidas ante cada carga absoluta en un test incremental hasta la RM en el ejercicio de dominadas

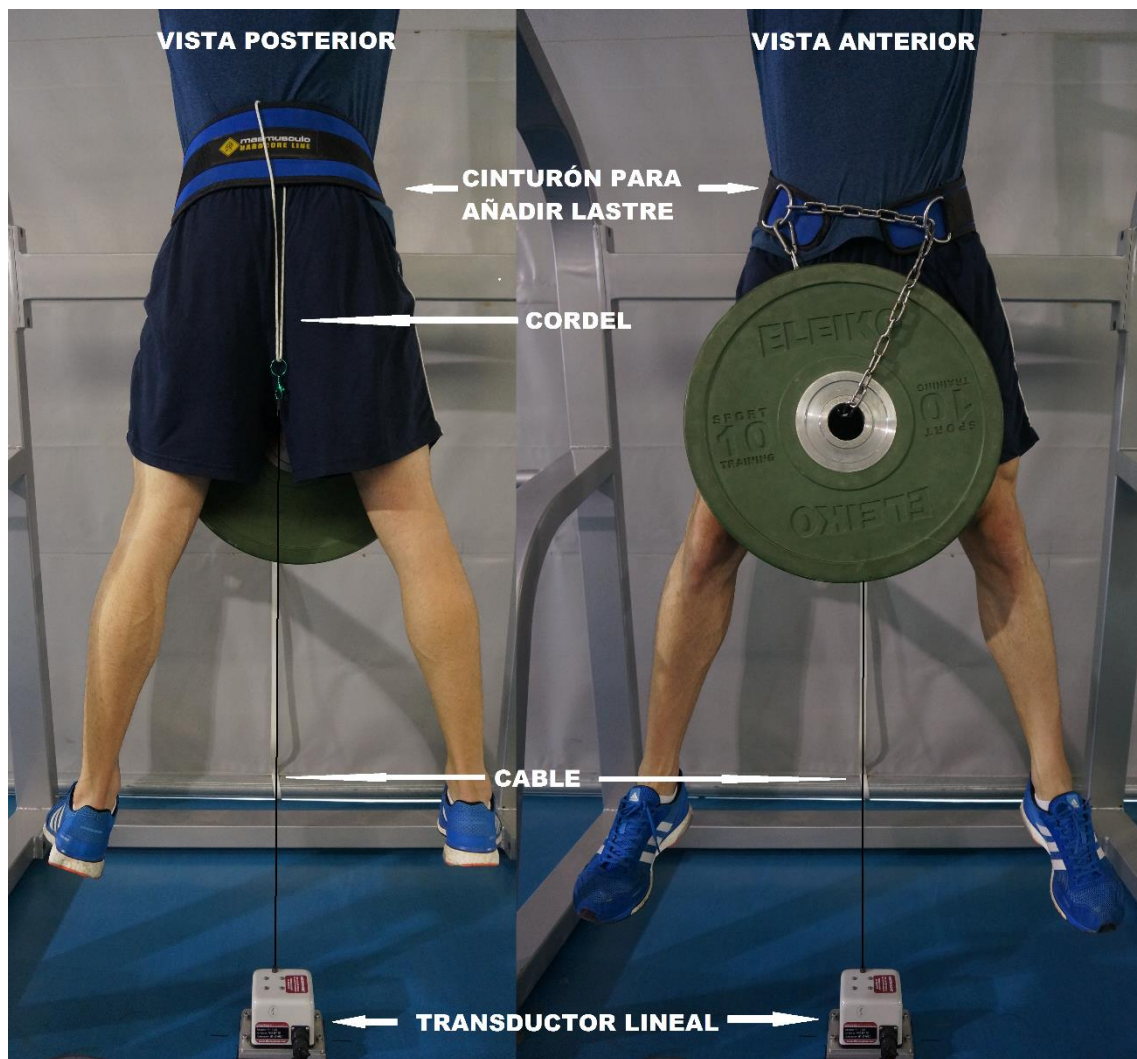


Fig. 15. Esquemas de colocación del peso y el transductor lineal en el ejercicio de dominadas. Vista posterior (izquierda) y anterior (derecha)

5.2.5 Control de las variables extrañas

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

La validez de los instrumentos de medida.

Cada uno de los instrumentos utilizados, como se explica más adelante, mide directamente determinadas variables, por lo que está garantizada su validez con respecto a las mismas, es decir, estamos seguros de que miden lo que se pretende medir en cada caso. Además, se ha contrastado su precisión antes de cada utilización calibrándolos o comparándolos con instrumentos previamente validados. Las variables que se miden indirectamente quedan validadas por la validez concurrente que se ha calculado al comprobar su relación con las variables que miden directamente cada uno de los instrumentos o dispositivos.

La ejecución técnica y el cumplimiento de los protocolos en los ejercicios que se aplicarán como entrenamiento o test.

Este aspecto se controla debidamente en el momento de realización de los tests en cada una de las sesiones programadas. El efecto de aprendizaje no ha existido o se ha eliminado, porque, según se ha indicado, cada grupo de sujetos está suficientemente familiarizado con el ejercicio que tiene que ejecutar y, además, se realizó una sesión práctica previa, introductoria, donde se recordaba a cada sujeto las instrucciones de ejecución. Todas las sesiones de evaluación que componen este estudio se han llevado a cabo bajo la atenta supervisión del equipo de investigadores.

La situación ambiental de cada sesión de trabajo.

Las variables situacionales se han minimizado al realizar cada sujeto las sesiones de evaluación en las mismas condiciones (temperatura y humedad de la sala constantes, ausencia de actividad física previa ese día ni el anterior, período de descanso de al menos 8 horas y habiendo realizado la última comida al menos 2,5 horas antes de la sesión correspondiente).

5.2.6 Plan de trabajo

Se realizaron un total de 3 sesiones de evaluación. Durante la primera de ellas se llevaron a cabo las evaluaciones antropométricas, y la familiarización con los protocolos de las pruebas. Después de 2 días de descanso, las dos sesiones restantes fueron llevadas a cabo con una separación de 24-48 horas entre ellas. Durante la segunda sesión, los 52 participantes realizaron un test incremental hasta alcanzar la 1RM para la determinación de la curva carga/velocidad individual. Finalmente, en la tercera sesión, todos los sujetos realizaron un test de máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular con el propio peso corporal. Un subconjunto de 39 sujetos repitió las evaluaciones tras 12 semanas de entrenamiento durante las cuales siguieron su entrenamiento de fuerza habitual (2-3 sesiones por semana) donde el ejercicio de dominadas formaba parte (3-5 series, 50 – 80 % del máximo número de repeticiones, 2-4 minutos de descanso entre series).

5.2.7 Tratamiento estadístico

Análisis descriptivo.

Para la descripción de los datos se emplearon métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medias, desviaciones típicas (SD) y el coeficiente de variación (CV, %). Se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov para determinar la naturaleza de la distribución de los datos.

Análisis de la relación entre variables.

La relación carga/velocidad fue estudiada mediante un ajuste de regresión lineal. La relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad y el porcentaje de repeticiones realizado se estudió mediante curvas de ajuste cuadrático (polinomios de 2º grado). El coeficiente de correlación de Pearson (r) con su intervalo de confianza al 95% (IC95%) se utilizó para determinar las correlaciones entre variables.

Análisis de medidas repetidas.

Se aplicó una prueba “t” para muestras relacionadas para comparar los valores de las distintas variables en las dos ocasiones en las que estas fueron evaluadas con el objetivo de estudiar si: i) la velocidad a la que se alcanzó la 1RM; y, ii) las velocidades correspondientes a cada porcentaje de 1RM, sufrían modificaciones al cambiar la fuerza

de los sujetos después del entrenamiento. Además, los sujetos fueron divididos según su fuerza relativa al peso corporal ($Fr = 1RM/\text{peso corporal}$) en un total de 3 subgrupos: grupo 1 (G1), $n = 17$, $Fr \leq 1.41$; grupo 2 (G2), $n = 18$, $1.41 < Fr \leq 1.52$; grupo 3 (G3), $n = 17$, $Fr > 1.52$, con el objetivo de estudiar si existían diferencias en las distintas variables analizadas. Para estudiar las diferencias entre subgrupos se utilizó un ANOVA de un factor. En el caso de obtener diferencias significativas, se realizaron los análisis post hoc aplicando el contraste de *Bonferroni* para determinar entre qué pares de grupos se dieron las diferencias.

Fiabilidad de las medidas.

La fiabilidad relativa fue analizada a través del coeficiente de correlación intraclase (CCI), el cual se calculó utilizando el modelo de un factor con efectos aleatorios y un intervalo de confianza del 95%. Este modelo es el más exigente, ya que tiene en consideración las diferencias entre las medias de las puntuaciones. La fiabilidad absoluta se calculó usando el error estándar de medida ($SEM = \sqrt{\text{Media Cuadrática de Error}}$). Los valores de SEM fueron expresados como porcentaje de sus respectivas medias a través del CV (Atkinson & Nevill, 1998).

Significatividad.

En todos los casos en que se estableció una relación entre variables o se contrastaron las diferencias entre medias se consideraron significativas si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ($P \leq 0.05$). El paquete estadístico SPSS 18.0 se usó para el resto de análisis.

5.3 Resultados

5.3.1 Rendimiento en el ejercicio de dominadas

Para los 52 sujetos que realizaron el T1, el número máximo de repeticiones realizado con el propio peso corporal (MNR) fue de 16.0 ± 4.4 repeticiones y el valor de 1RM fue de 109.3 ± 15.2 kg (1.48 ± 0.16 ; normalizado por kg de peso corporal). Para los 39 sujetos que realizaron ambas mediciones (T1 y T2), el número máximo de repeticiones realizado con el propio peso corporal (MNR) fue de 15.1 ± 4.2 , y 17.0 ± 4.1 repeticiones, mientras que el valor de 1RM fue de 106.0 ± 13.1 kg, y 109.4 ± 12.5 kg, y 1.43 ± 0.13 , y 1.48 ± 0.10 ; normalizado por kg de peso corporal, respectivamente. Los sujetos realizaron un total de 7.9 ± 2.0 , y 8.8 ± 1.9 cargas incrementales hasta alcanzar la 1RM durante el test progresivo realizado en T1 y T2, respectivamente.

Para los 39 sujetos que realizaron ambas mediciones, los valores de 1RM, MNR y Fr incrementaron significativamente ($P < 0.001$) en un 3.4, 15.2 y 3.5%, respectivamente.

5.3.2 Relación entre la velocidad de ejecución (VMP) y la intensidad relativa (%1RM)

Se utilizó un total de 432 pares de datos de VMP y porcentajes de 1RM para analizar la relación carga-velocidad en el ejercicio de dominadas. La primera intensidad relativa analizada fue el 60% de 1RM. Esto fue así debido a que la intensidad relativa que representó la carga más pequeña utilizada (propio peso corporal) representó el $68.3 \pm 7.0\%$ (rango: 52.9 – 86.2% de 1RM).

Se observó una relación muy elevada ($r = -0.96$) entre VMP y los porcentajes de 1RM (**Fig. 16**). El valor promedio de correlación para el ajuste lineal de cada individuo fue $r = -0.97 \pm 0.03$ (IC 95% = $-0.96 - -0.98$). El valor de VMP para cada porcentaje de 1RM se obtuvo a partir de estos ajustes lineales, desde el 60% 1RM en adelante, en incrementos del 5% (**Tabla 5**).

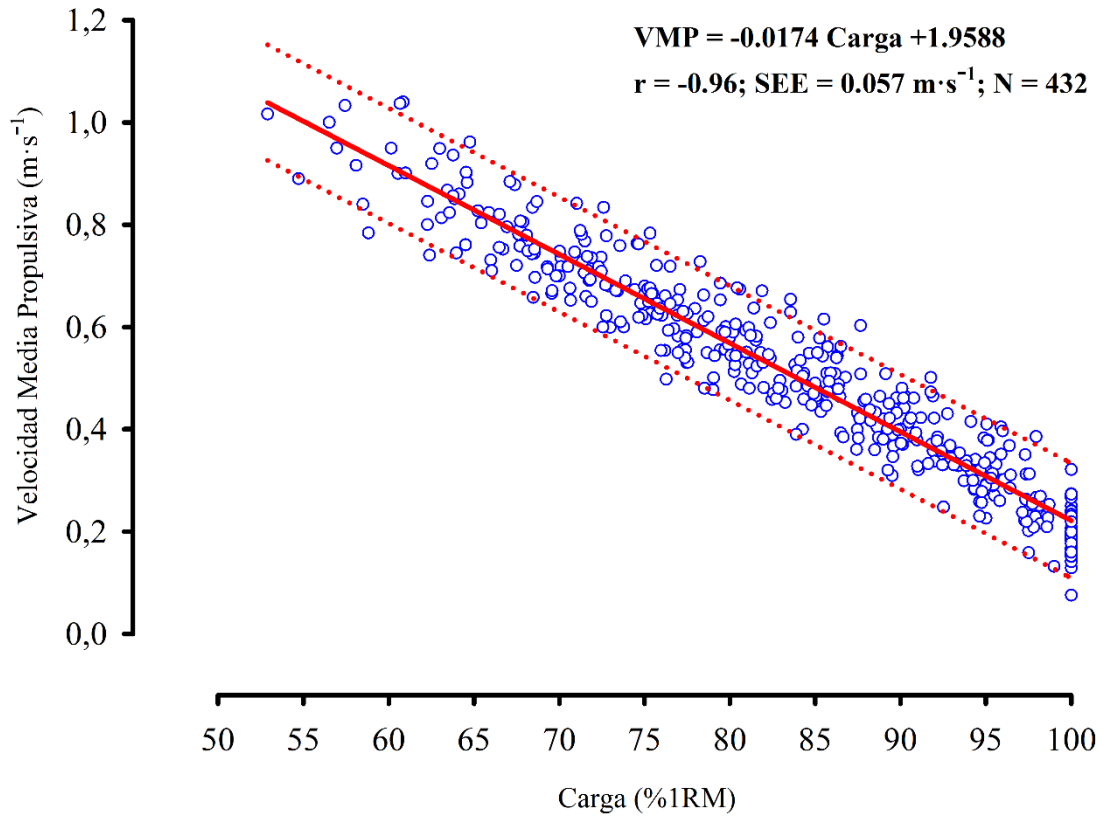


Fig. 16. Relación entre carga relativa (%1RM) y velocidad media propulsiva (VMP) obtenida de 432 datos procedentes de los 52 test incrementales realizados durante el test inicial (T1). La línea continua muestra el ajuste lineal de primer grado, y las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerá el 95% de las predicciones

Tabla 5. Velocidad media propulsiva para cada porcentaje de 1RM

Carga (%1RM)	VMP	IC 95%
60%	0.93 ± 0.09	0.91-0.96
65%	0.84 ± 0.08	0.82-0.87
70%	0.75 ± 0.07	0.73-0.77
75%	0.67 ± 0.06	0.65-0.68
80%	0.58 ± 0.06	0.56-0.59
85%	0.49 ± 0.05	0.47-0.50
90%	0.40 ± 0.05	0.39-0.41
95%	0.31 ± 0.05	0.30-0.32

Valores presentados en media ± SD (N = 52).

VMP: velocidad media propulsiva; IC 95%: intervalo de confianza al 95%

5.3.3 Estabilidad de la relación entre la VMP y la intensidad relativa (%1RM)

A pesar del incremento observado en el valor de 1RM (desde 106.0 ± 13.1 a 109.4 ± 12.5 kg) del T1 al T2, la diferencia en la velocidad media del test incremental (definida como el promedio de los valores de velocidad, calculados cada 5% desde el 60 al 95% 1RM para cada test) fue 0.00 ± 0.04 m·s⁻¹ o, expresada como valores absolutos, 0.03 ± 0.03 m·s⁻¹, manteniéndose prácticamente sin cambios (0.57 ± 0.06 m·s⁻¹, para ambos test). Además, la relación entre VMP y % 1RM se mantuvo estable en ambas pruebas ($r = -0.96$, **Fig. 17**). Las pruebas “t” para muestras relacionadas no reveló diferencias significativas entre ambos test en la VMP para los diferentes porcentajes de intensidad relativa estudiados. Finalmente, la VMP con cada porcentaje de 1RM mostró una buena fiabilidad relativa [CCI: 0.82 (IC del 95% = 0.78 – 0.85)] y absoluta (CV medio = 6.1%; véase **Tabla 6**).

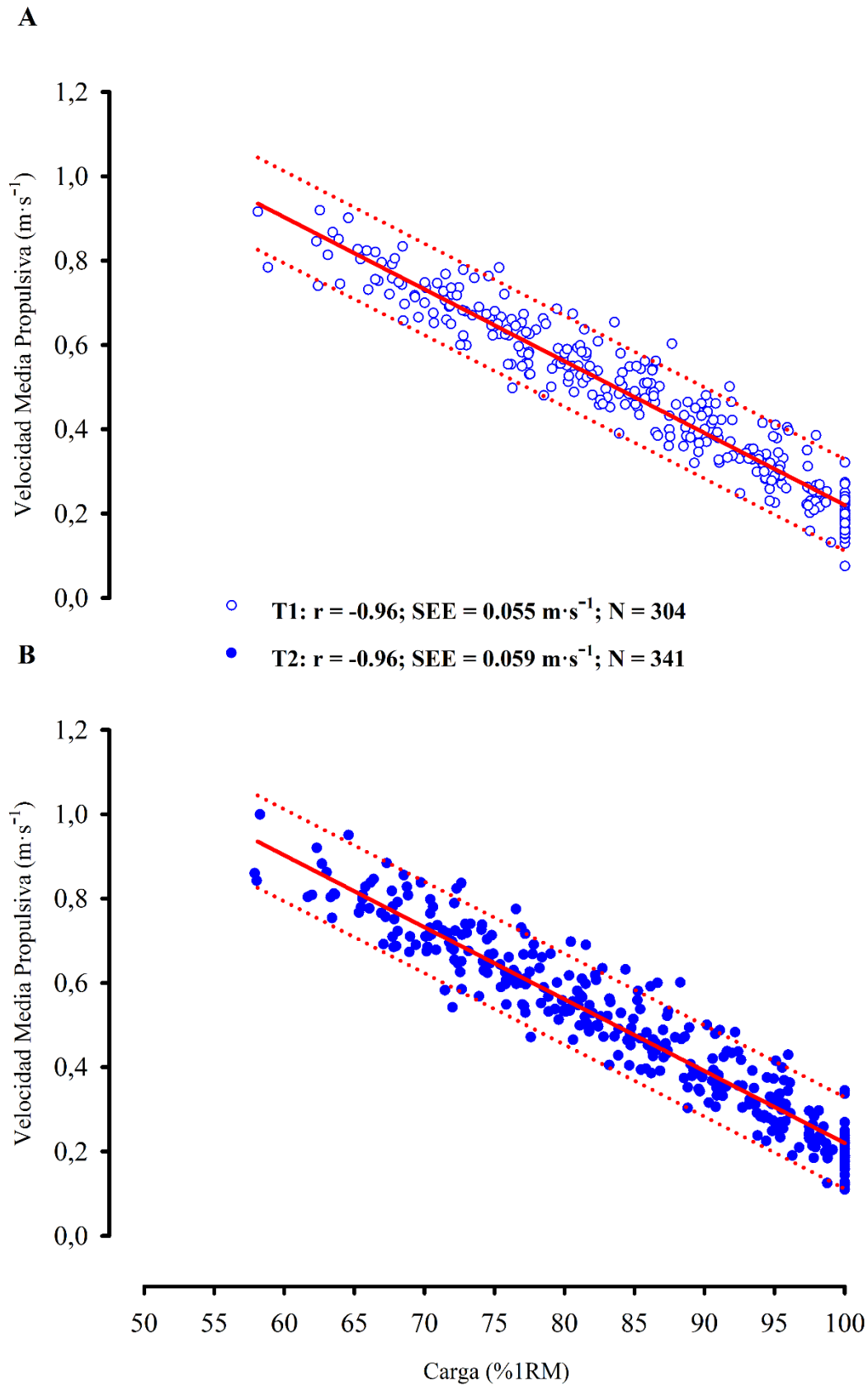


Fig. 17. Relación entre carga relativa (%1RM) y velocidad media propulsiva (VMP) obtenida de 304 (círculos vacíos, **A**) y 341 (círculos rellenos, **B**) datos procedentes del subconjunto de 39 sujetos que desarrollaron el test incremental en ambas ocasiones (T1 y T2). Las líneas continuas muestran los ajustes lineales de primer grado, y las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerá el 95% de las predicciones

Tabla 6. Cambios en la velocidad media propulsiva ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) alcanzado con cada intensidad relativa, desde del test inicial (T1) al re-test (T2), después de 12 semanas de entrenamiento en el ejercicio de dominadas

Carga (% 1RM)	VMP (T1)	VMP (T2)	Diferencias (T1-T2)	p-valor	CV (%)
60%	0.93 ± 0.09	0.92 ± 0.09	0.01	0.588	5.3
65%	0.84 ± 0.08	0.83 ± 0.08	0.01	0.611	5.2
70%	0.75 ± 0.07	0.74 ± 0.07	0.00	0.705	5.1
75%	0.66 ± 0.06	0.66 ± 0.06	0.00	0.570	5.4
80%	0.57 ± 0.06	0.57 ± 0.06	0.00	0.643	5.5
85%	0.48 ± 0.05	0.48 ± 0.05	0.00	0.582	5.9
90%	0.39 ± 0.05	0.39 ± 0.05	0.00	0.623	6.9
95%	0.30 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.00	0.637	9.4

Valores presentados en media ± SD (N = 39)

VMP: velocidad media propulsiva; T1: test inicial; T2: re-test; 1RM: una repetición máxima; CV: coeficiente de variación

5.3.4 Influencia del nivel de rendimiento sobre la velocidad de ejecución

Con el objetivo de estudiar si la velocidad alcanzada con cada porcentaje de 1RM estaba influenciada por el nivel de fuerza de los deportistas, los sujetos fueron divididos según su fuerza relativa al peso corporal ($\text{Fr} = 1\text{RM}/\text{peso corporal}$) en un total de 3 subgrupos: grupo 1 (G1), $n = 17$, $\text{Fr} \leq 1.41$; grupo 2 (G2), $n = 18$, $1.41 < \text{Fr} \leq 1.52$; grupo 3 (G3), $n = 17$, $\text{Fr} > 1.52$. El valor de la relación observada entre la VMP y el porcentaje de 1RM fue similar para G2 y G3, no obstante, este fue ligeramente más pequeño para G1 (**Fig. 18**). Al analizar por separado la relación carga-velocidad para cada uno de estos subgrupos, no se encontraron diferencias significativas en ninguna de las siguientes variables: VMP obtenida con cada porcentaje de 1RM, velocidad media del test y $V_{1\text{RM}}$ (**Tabla 7**).

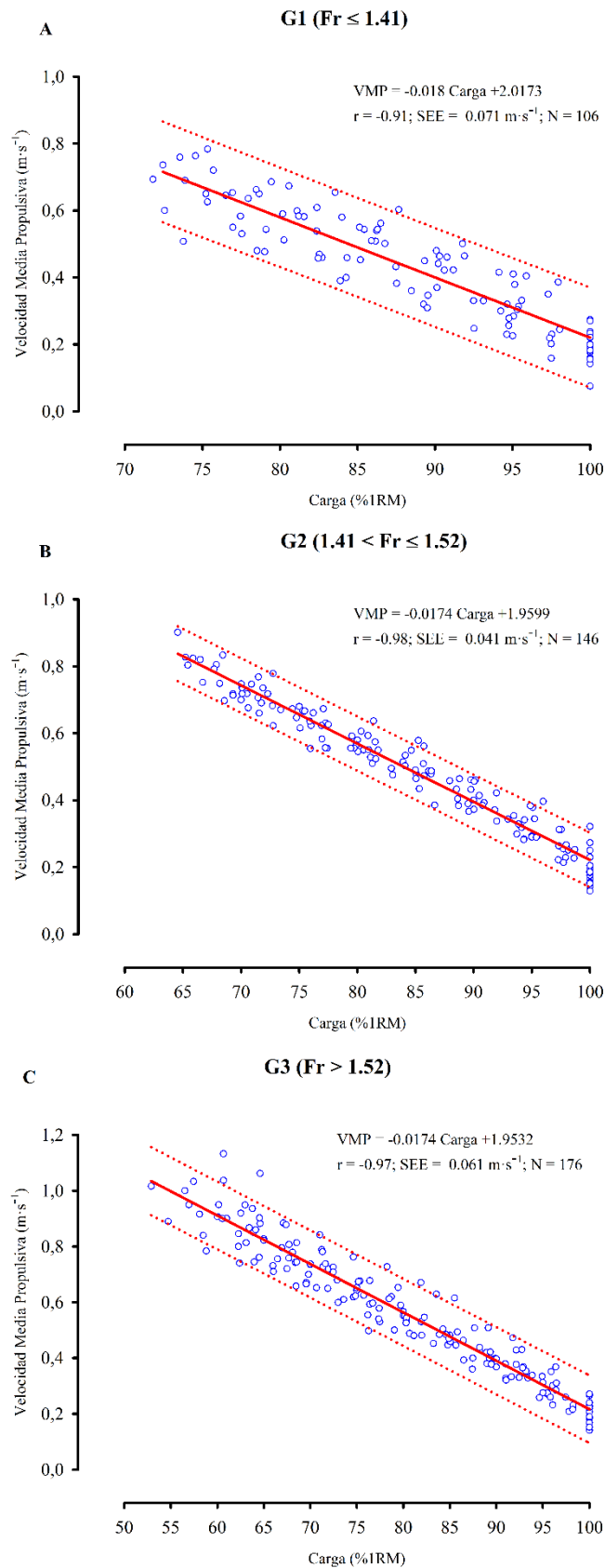


Fig.18. Relaciones entre la intensidad relativa (%1RM) y la velocidad media propulsiva (VMP) en el ejercicio de dominadas para los 3 subgrupos de diferente de fuerza relativa (Fr) que conformaron la muestra: **A** G1 ($n = 18$, $Fr \leq 1.41$); **B** G2 ($n = 17$, $1.41 < Fr \leq 1.52$); y **C** G3 ($n = 17$, $Fr > 1.50$). Las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerá el 95% de las predicciones

Tabla 7. Comparación entre la velocidad media del test, velocidad media a la que se alcanza 1RM (V_{1RM}), y la VMP para los diferentes % de 1RM estudiados entre subgrupos con diferente fuerza relativa (Fr)

	G1 (n = 17)	G2 (n = 18)	G3 (n = 17)
Peso (kg)	76.3 ± 8.5	71.9 ± 9.4	73.8 ± 5.2
1RM (kg)	100.6 ± 12.6	105.4 ± 11.1	122.2 ± 13.0 ^{Ψβ}
1RM _{carga} (kg)	24.3 ± 5.3 [†]	33.5 ± 4.6 [†]	48.4 ± 9.1 [†]
MNR (repeticiones)	11.4 ± 2.6 [†]	16.6 ± 2.4 [†]	19.8 ± 3.5 [†]
Fr	1.32 ± 0.06 [†] [1.16-1.39]	1.47 ± 0.05 [†] [1.39-1.55]	1.65 ± 0.10 [†] [1.55-1.89]
Velocidad Media Test (m·s ⁻¹)	0.59 ± 0.08	0.57 ± 0.03	0.56 ± 0.05
V_{1RM} (m·s ⁻¹)	0.20 ± 0.05	0.20 ± 0.05	0.20 ± 0.04
VMP con 60% 1RM (m·s ⁻¹)	0.95 ± 0.13	0.91 ± 0.04	0.90 ± 0.07
VMP con 65% 1RM (m·s ⁻¹)	0.86 ± 0.12	0.83 ± 0.04	0.82 ± 0.07
VMP con 70% 1RM (m·s ⁻¹)	0.77 ± 0.10	0.74 ± 0.03	0.73 ± 0.06
VMP con 75% 1RM (m·s ⁻¹)	0.68 ± 0.09	0.65 ± 0.03	0.65 ± 0.05
VMP con 80% 1RM (m·s ⁻¹)	0.58 ± 0.08	0.57 ± 0.03	0.56 ± 0.05
VMP con 85% 1RM (m·s ⁻¹)	0.49 ± 0.07	0.48 ± 0.03	0.47 ± 0.04
VMP con 90% 1RM (m·s ⁻¹)	0.40 ± 0.06	0.39 ± 0.03	0.39 ± 0.04
VMP con 95% 1RM (m·s ⁻¹)	0.31 ± 0.06	0.31 ± 0.04	0.30 ± 0.04

Valores presentados como media ± SD

Fr: fuerza relativa, definida como el valor de 1RM dividido por la masa corporal, con el rango indicado entre corchetes [mínimo-máximo]; VMP: velocidad media propulsiva; G1, G2 y G3 son tres grupos del total de la muestra del estudio (n=52); V_{1RM} : Velocidad media a la que se alcanza 1RM; MNR: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas

† Diferencias significativas entre todos los grupos (P < 0.001)

Ψ Diferencias significativas con respecto a G1 (P < 0.001)

β Diferencias significativas con respecto a G2 (P < 0.01)

5.3.5 Estimación intensidad relativa (%1RM) a través de la velocidad de ejecución (VMP)

La ecuación de predicción resultante para la estimación de la intensidad relativa (% 1RM) a partir de los datos de VMP (m·s⁻¹) fue:

$$\text{Carga} = -53.472 \text{ VMP} + 110.68 \quad (r = -0.96; \text{SEE} = 3.15\% \text{ de } 1\text{RM})$$

5.3.6 Influencia de la velocidad alcanzada con 1RM

La velocidad media a la que se alcanzó 1RM (V_{1RM}) fue de $0.20 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (rango: 0.08 a $0.32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y siguió una distribución normal. Se encontró una correlación significativa ($r = 0.57$, $P < 0.001$; **Fig. 19A**) entre V_{1RM} y la velocidad media del test incremental durante T1. La V_{1RM} ($0.20 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y la relación entre la velocidad media del test y la V_{1RM} se mantuvo muy similar ($r = 0.58$ y $r = 0.50$, $P < 0.001$; **Fig. 19B**) cuando los 39 sujetos que realizaron ambos test (T1 y T2) se utilizaron para el análisis.

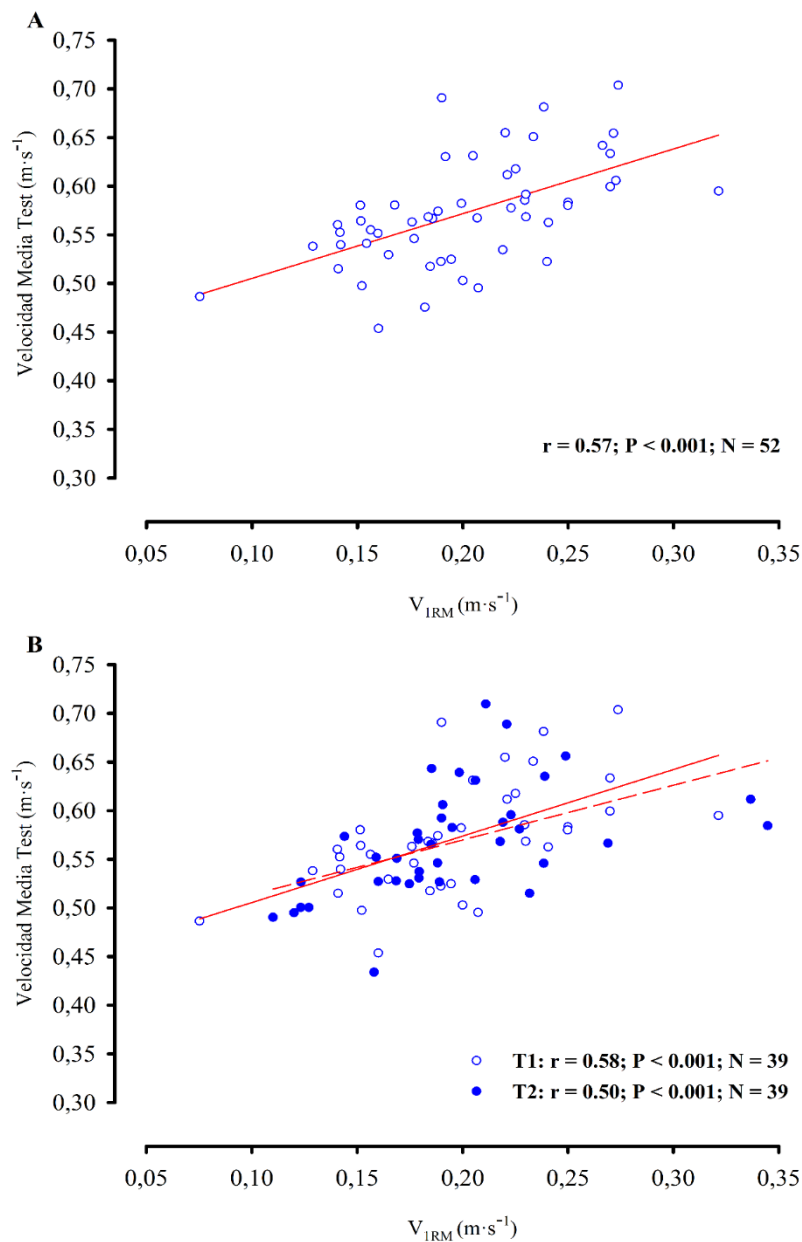


Fig. 19. Relación entre la velocidad a la que se alcanza 1RM (V_{1RM}) y la velocidad media del test en T1 (**A**), y en T1 y T2 (**B**), cuando los 39 sujetos que desarrollaron el test incremental en ambas ocasiones son incluidos en el análisis. Las líneas sólidas (T1) y discontinuas (T2) son ajustes lineales de primer grado

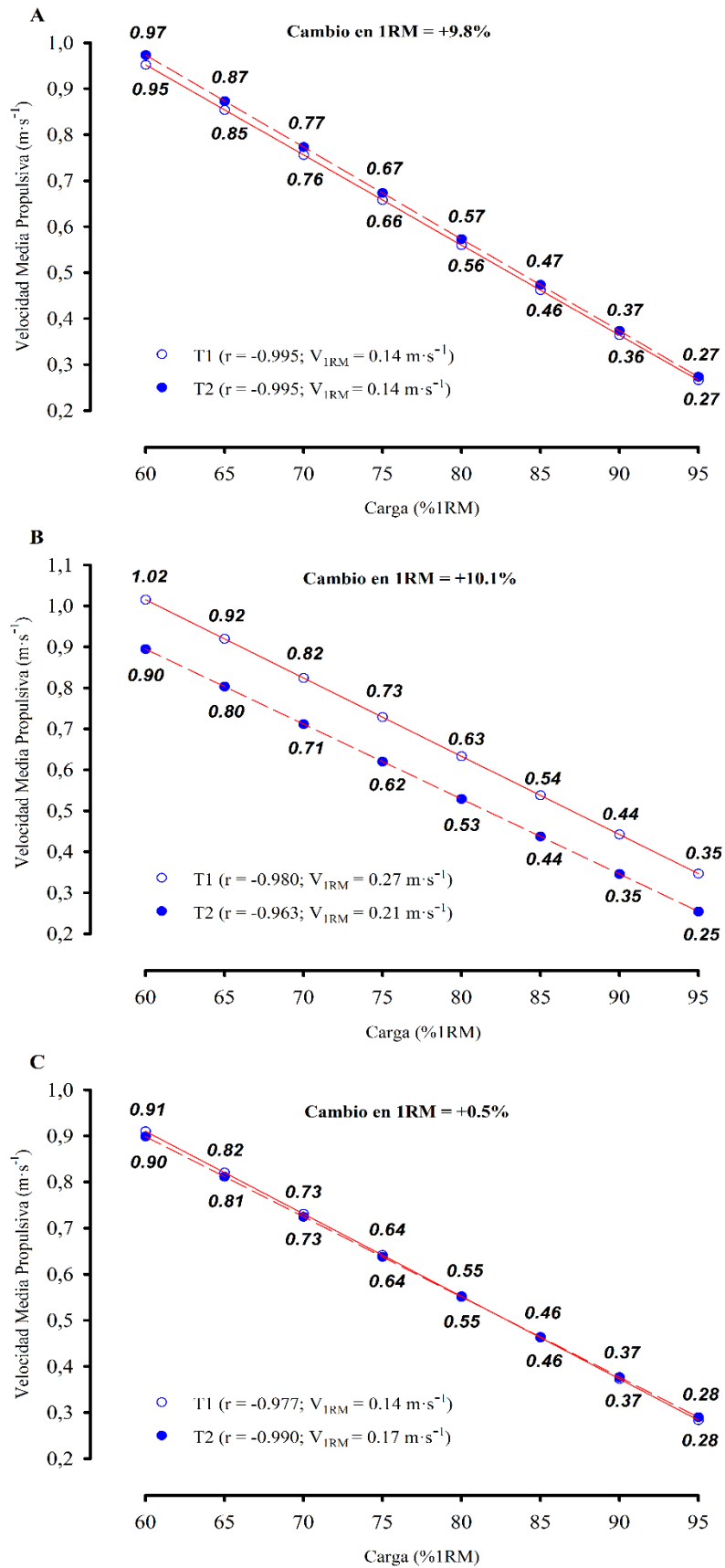


Fig. 20. Relaciones entre la intensidad relativa (% 1RM) y la velocidad media propulsiva (VMP) en tres sujetos representativos en el ejercicio de dominadas. Las líneas sólidas (T1) y discontinuas (T2) son ajustes lineales de primer grado. (A) 1RM aumentó de 112 kg (T1) a 123 kg (T2); (B) 1RM aumentó de 94 kg (T1) a 103 kg (T2); (C) 1RM se mantuvo sin cambios en 118 kg

5.3.7 Relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad (%PV) y el porcentaje de repeticiones realizado (%RR)

Se observó una fuerte correlación ($R^2 = 0.88$) entre %PV y %RR durante T1 (**Fig. 21**). El valor promedio de correlación para cada ajuste de curva individual fue $R^2 = 0.97 \pm 0.03$ (IC del 95% = 0.96 – 0.98).

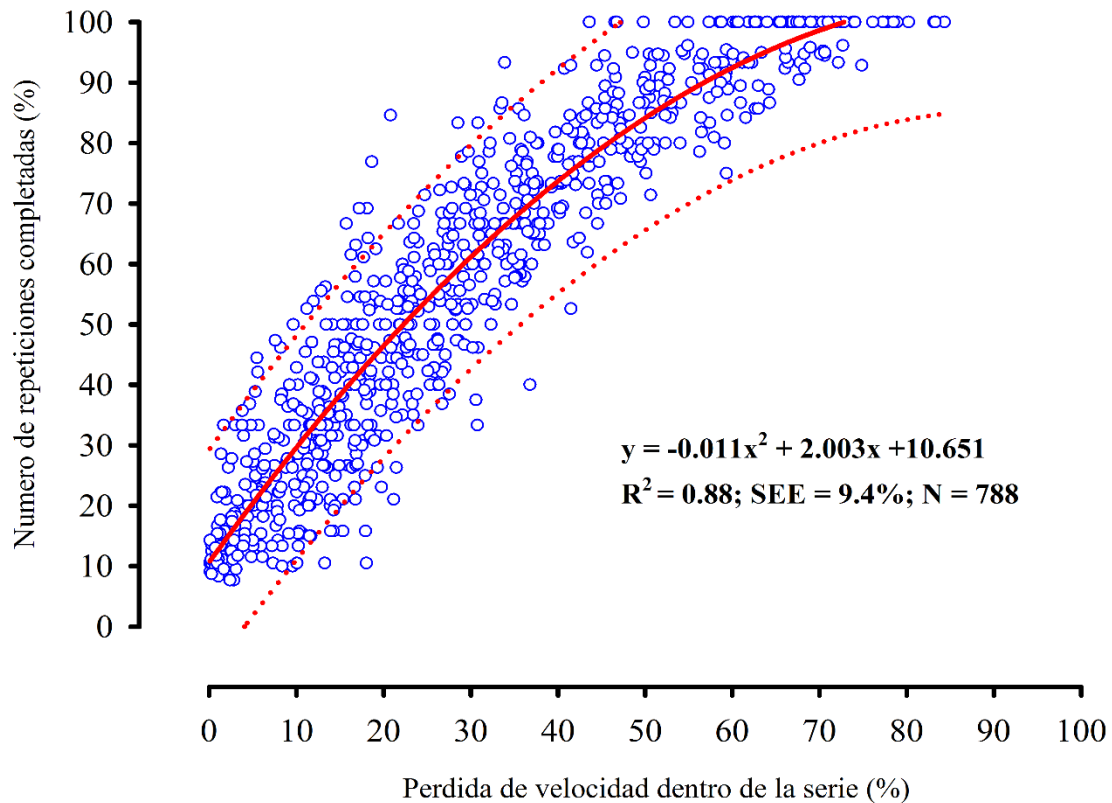


Fig. 21. Relación entre el porcentaje de repeticiones completadas y el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie obtenida de 788 datos procedentes de los 52 test de máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular con el propio peso corporal durante la medición inicial (T1). La línea continua representa el ajuste cuadrático, y las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerán el 95% de las predicciones

Tabla 8. Porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones posible para cada porcentaje de pérdida de velocidad estudiado

Pérdida de VMP (%)	% Repeticiones Realizado	IC 95%
20%	46.9 ± 9.9	44.2-49.7
25%	55.3 ± 10.2	52.5-58.1
30%	63.0 ± 10.2	60.2-65.8
35%	70.0 ± 9.9	67.2-72.3
40%	76.3 ± 9.3	73.3-78.9
45%	81.9 ± 8.5	75.9-84.3
50%	86.8 ± 7.5	84.7-88.9
55%	91.0 ± 6.5	89.2-92.8
60%	94.5 ± 6.1	92.8-96.2
65%	97.3 ± 6.8	95.5-99.2

Valores presentados en media ± SD (N = 52).

VMP: velocidad media propulsiva; Pérdida de VMP: definida como: $100 \cdot (\text{cualquier valor submáximo de VMP} - \text{VMP de la repetición más rápida [normalmente la primera]}) / \text{VMP de la repetición más rápida}$. %Repeticiones Realizado: definido como: $100 \cdot (\text{cualquier valor de repetición submáximo} - \text{número de repeticiones máximo}) / \text{número de repeticiones máximo}$; IC 95%: intervalo de confianza al 95%

5.3.8 Estabilidad en la relación entre el %PV y el %RR

De T1 a T2, el valor de MNR aumentó de 15.1 ± 4.2 a 17.0 ± 4.1 repeticiones ($P < 0.001$), sin embargo, la relación entre %PV y %RR observada en ambas pruebas permaneció estable ($R^2 = 0.89$ y $R^2 = 0.87$ para T1 y T2, respectivamente, **Fig. 22**). Las diferencias en el %RR fueron del $1.21 \pm 0.61\%$. Las pruebas t para muestras relacionadas no reveló diferencias significativas entre los %RR para los diferentes %PV analizados entre ambos test (**Tabla 9**). Finalmente, el %RR alcanzado con cada %PV mostró una buena fiabilidad relativa [CCI: 0.75 (IC del 95% = 0.71 – 0.76)] y absoluta (CV medio = 7.3%; véase **Tabla 9**).

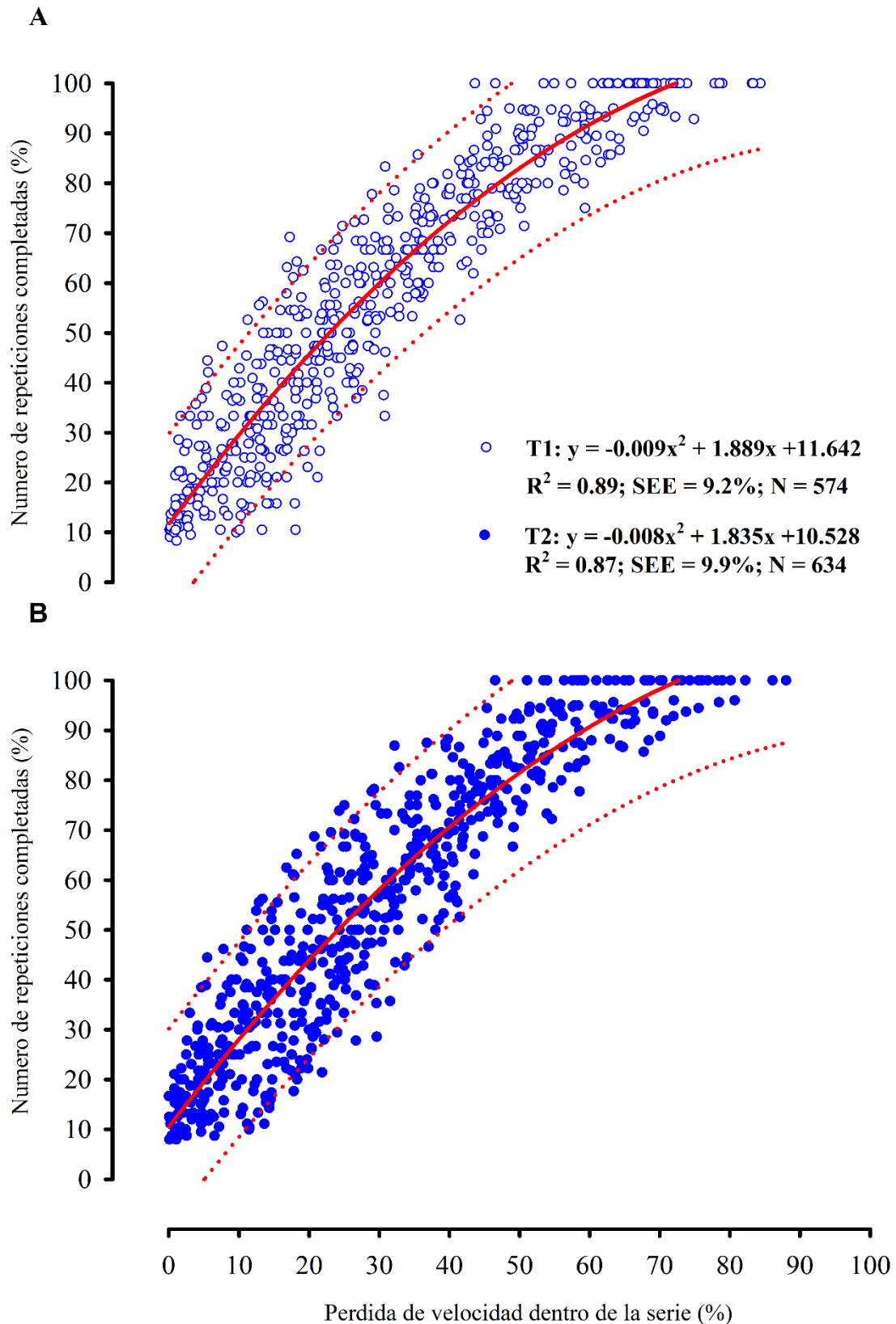


Fig. 22. Relación entre el porcentaje de repeticiones realizado y el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie obtenida 574 (círculos rellenos, **A**) y 634 (círculos vacíos, **B**) datos procedentes del subconjunto de 39 sujetos que desarrollaron el test de máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular con el propio peso corporal en ambas ocasiones (T1 y T2). La línea continua representa el ajuste cuadrático, y las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerán el 95% de las predicciones

Tabla 9. Porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones y fiabilidad absoluta para cada magnitud de pérdida de VMP alcanzada durante la serie realizada hasta alcanzar el fallo muscular

Pérdida de VMP (%)	% Repeticiones Realizado (T1)	% Repeticiones Realizado (T2)	Diferencias (T1-T2)	p-valor	CV (%)
20%	45.6 ± 8.9	43.2 ± 10.2	2.4	0.092	14.0
25%	53.7 ± 8.8	51.7 ± 10.0	2.0	0.128	10.9
30%	61.2 ± 8.6	59.5 ± 9.8	1.7	0.185	9.1
35%	68.1 ± 8.2	66.7 ± 9.4	1.4	0.257	7.9
40%	74.4 ± 7.7	73.3 ± 8.8	1.1	0.336	6.9
45%	80.2 ± 7.1	79.3 ± 8.0	0.9	0.404	6.0
50%	85.3 ± 6.5	84.6 ± 7.1	0.8	0.453	5.2
55%	89.9 ± 6.1	89.2 ± 6.1	0.7	0.469	4.6
60%	93.9 ± 6.2	93.3 ± 5.7	0.6	0.494	4.2
65%	97.3 ± 7.0	96.7 ± 6.3	0.6	0.522	4.3

Valores presentados como media ± SD (N = 39).

VMP: velocidad media propulsiva; CV: coeficiente de variación.

Pérdida de VMP: definida como: $100 \cdot (\text{cualquier valor submáximo de VMP} - \text{VMP de la repetición más rápida [normalmente la primera]}) / \text{VMP de la repetición más rápida}$. %Repeticiones Realizadas: definido como: $100 \cdot (\text{cualquier valor de repetición submáximo} - \text{número de repeticiones máximo}) / \text{número de repeticiones máximo}$

5.3.9 Influencia del nivel de rendimiento sobre la relación entre %PV y el %RR

Con el objetivo de analizar la relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie (%PV) y el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones (%RR) se ve influida por el nivel de fuerza de los deportistas, esta relación fue analizada en los tres grupos descritos de manera independiente. El valor de la relación observada entre el %PV y el %RR fue similar para G2 y G3, pero ligeramente más pequeño para G1, sin diferencias significativas entre ellos (**Fig. 23**). Al analizar por separado dicha relación en estos subgrupos, no se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de repeticiones realizados con cada porcentaje de pérdida de velocidad (**Tabla 10**).

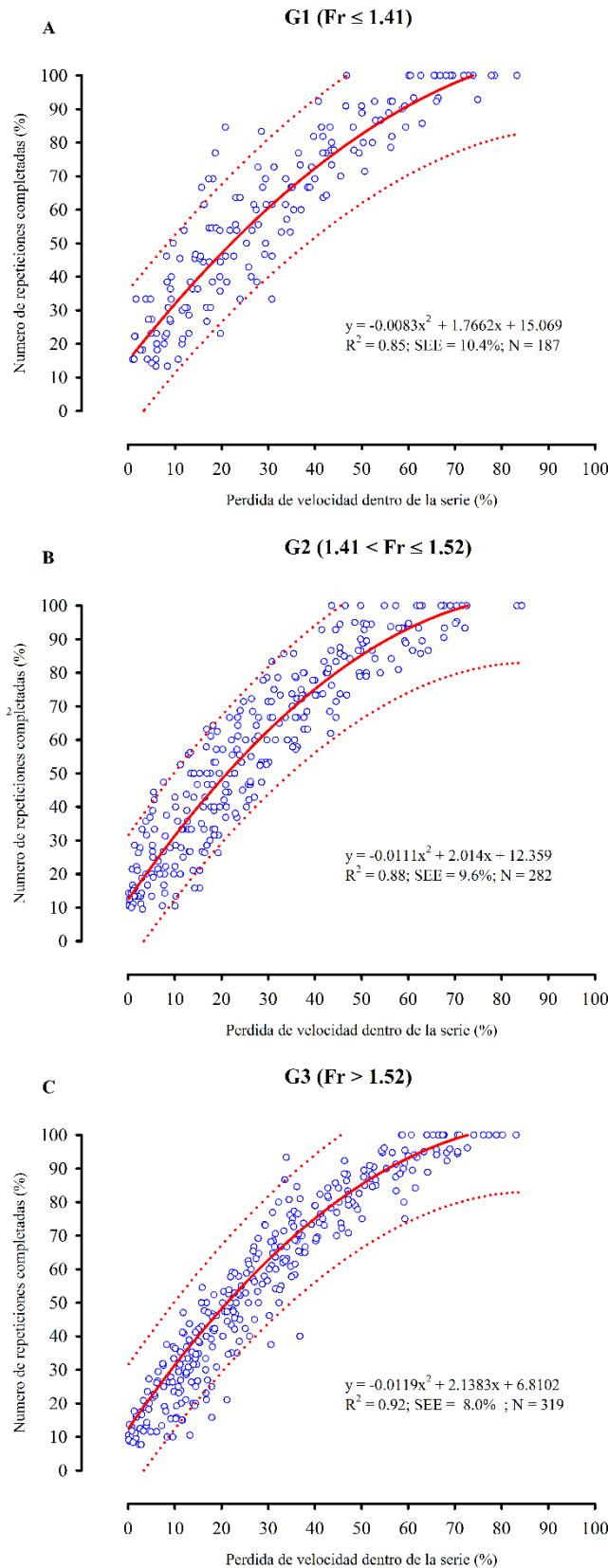


Fig. 23. Relaciones entre el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie (%PV) y el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones (%RR) en el ejercicio de dominadas para los 3 subgrupos de diferente de fuerza relativa (Fr) que conformaron la muestra: **A** G1 (n = 18, Fr ≤ 1.41); **B** G2 (n = 17, 1.41 < Fr ≤ 1.52); y **C** G3 (n = 17, Fr > 1.50). Las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerá el 95% de las predicciones

Tabla 10. Comparación del porcentaje de repeticiones realizado (%RR) con diferentes porcentajes de pérdida de velocidad (%PV) entre subgrupos de rendimiento en fuerza relativa (Fr)

	G1 (n = 17)	G2 (n = 18)	G3 (n = 17)
%RR para 20%PV	47.9 ± 12.2	48.2 ± 10.4	44.6 ± 6.6
%RR para 25%PV	55.9 ± 12.7	56.8 ± 10.4	53.2 ± 6.8
%RR para 30%PV	63.3 ± 12.9	64.6 ± 10.1	61.1 ± 7.0
%RR para 35%PV	70.0 ± 12.5	71.6 ± 9.7	68.3 ± 7.0
%RR para 40%PV	76.1 ± 11.7	77.9 ± 9.1	74.8 ± 6.9
%RR para 45%PV	81.5 ± 10.3	83.5 ± 8.4	80.6 ± 6.6
%RR para 50%PV	86.3 ± 8.6	88.3 ± 7.6	85.7 ± 6.1
%RR para 55%PV	90.4 ± 6.8	92.4 ± 7.2	90.1 ± 5.4
%RR para 60%PV	93.9 ± 5.8	95.8 ± 7.4	93.8 ± 4.8
%RR para 65%PV	96.7 ± 7.1	98.4 ± 8.4	96.8 ± 4.4

Valores presentados como media ± SD

G1 (Fr ≤ 1.41); G2 (1.41 < Fr ≤ 1.52); y G3 (Fr > 1.50) son tres grupos del total de la muestra del estudio (n=52)

5.3.10 Número máximo de repeticiones ante la misma intensidad relativa

Con el objetivo de analizar el número máximo de repeticiones que podía ser realizado ante una misma intensidad relativa, los sujetos fueron divididos en función de la intensidad relativa que representaba su propio peso corporal con respecto a la RM. De dicha agrupación resultaron 5 grupos cuyos pesos corporales representaron aproximadamente los siguientes porcentajes: 80 (G_{80%}, n = 7), 75 (G_{75%}, n = 19), 70 (G_{70%}, n = 14), 65 (G_{65%}, n = 6) y 60% (G_{60%}, n = 4) de 1RM.

En la **tabla 11** podemos observar los datos sobre la variabilidad en el MNR ante una misma intensidad relativa. Podemos observar cómo el coeficiente de variación para el MNR es aproximadamente del 20% para las 5 intensidades relativas analizadas (**Tabla 11**). Además, no se observó relación significativa entre los distintos porcentajes de 1RM (expresada como VMP) que representó el peso corporal y el MNR realizado.

Tabla 11. Coeficiente de variación (CV) para el número máximo de repeticiones realizado para cada magnitud de carga

Grupos	V_{Max}	Rango	CV (%) para V_{Max}	MNR	Rango	CV (%) para MNR
$G_{60\%}$	$0.92 \pm 0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~60% 1RM)	[0.90-0.95]	2.4	19.5 ± 4.8	[15-26]	24.6
$G_{65\%}$	$0.83 \pm 0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~65% 1RM)	[0.80-0.87]	2.8	19.8 ± 3.2	[17-26]	16.4
$G_{70\%}$	$0.75 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~70% 1RM)	[0.70-0.79]	3.4	17.7 ± 3.7	[11-24]	20.7
$G_{75\%}$	$0.64 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~75% 1RM)	[0.60-0.69]	4.0	14.0 ± 2.6	[9-19]	18.8
$G_{80\%}$	$0.54 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~80% 1RM)	[0.49-0.57]	4.9	11.4 ± 2.5	[9-15]	21.9

Valores presentados como media \pm SD

V_{Max} : Velocidad media propulsiva máxima alcanzada con el propio peso corporal (habitualmente la primera repetición) durante el test de máximo número de repeticiones hasta el fallo muscular, con el rango indicado entre corchetes [mínimo-máximo]; MNR: máximo número de repeticiones realizado con el propio peso corporal, con el rango indicado entre corchetes [mínimo-máximo]; $G_{60\%}$: grupo cuyo peso corporal represento aproximadamente el 60% de 1RM (n = 4); $G_{65\%}$: grupo cuyo peso corporal represento aproximadamente el 65% de 1RM (n = 6); $G_{70\%}$: grupo cuyo peso corporal represento aproximadamente el 70% de 1RM (n = 14); $G_{75\%}$: grupo cuyo peso corporal represento aproximadamente el 75% de 1RM (n = 19); $G_{80\%}$: grupo cuyo peso corporal represento aproximadamente el 80% de 1RM (n = 7)

5.3.11 Análisis de correlaciones directas

El número máximo de repeticiones realizado en un test hasta el agotamiento en el ejercicio de dominadas sin añadir carga externa (MNR) mostró una relación significativa con la VMP máxima (V_{Max}), con la carga de una repetición máxima ($1RM_{carga}$), con el valor fuerza relativa al peso corporal (Fr), con la intensidad relativa que la masa corporal representa sobre el valor de 1RM (% $1RM_{MC}$) y, finalmente, con el valor de 1RM (**Tabla 12**).

Tabla 12. Relación entre MNR y las diferentes variables neuromusculares seleccionadas (n=52)

	MNR	V _{Max}	V _{IRM}	Velocidad Media Test	IRM	IRM _{carga}	Fr
V _{Max}	0.71 (0.57 a 0.85) **						
V _{IRM}	0.04 (-0.40 a 0.31)	0.16 (-0.11 a 0.43)					
Velocidad Media Test	-0.20 (-0.46 a 0.06)	0.21 (-0.05 a 0.47)	0.57 (0.39 a 0.76) **				
IRM	0.59 (0.42 a 0.77) **	0.72 (0.59 a 0.85) **	0.27 (0.01 a 0.52)	0.13 (-0.14 a 0.40)			
IRM _{carga}	0.81 (0.71 a 0.90) **	0.85 (0.77 a 0.93) **	0.11 (0.16 a 0.38)	-0.08 (-0.35 a 0.19)	0.88 (0.82 a 0.94) **		
Fr	0.87 (0.80 a 0.93) **	0.84 (0.76 a 0.92) **	0.02 (-0.26 a 0.29)	-0.19 (-0.45 a 0.08)	0.73 (0.60 a 0.86) **	0.96 (0.94 a 0.98) **	
%IRM _{MC}	-0.88 (-0.94 a -0.82) **	-0.84 (-0.92 a 0.76) **	0.01 (-0.27 a 0.28)	0.23 (-0.03 a 0.49)	-0.71 (-0.85 a -0.58) **	-0.95 (-0.98 a -0.92) **	-0.99 (-1.00 a -0.99) **

Los datos son presentados como coeficiente de correlación de Pearson e intervalo de confianza al 95% (entre paréntesis). **Significativo para P < 0.01
MNR: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas. V_{Max}: Velocidad media propulsiva máxima alcanzada con el propio peso corporal (usualmente la primera repetición). V_{IRM}: Velocidad media propulsiva a la que se alcanza IRM. Velocidad media del test: calculada a través del ajuste lineal de cada individuo con cargas comprendidas entre 60-95% IRM en incrementos del 5%. IRM: calculado como la suma de la carga levantada más la masa corporal del sujeto. IRM_{carga}: Valor de la carga más alta levantada en el test incremental. Fr: fuerza relativa, definida como el valor de IRM dividido por la masa corporal. %IRM_{MC}: intensidad relativa que la masa corporal representa sobre el valor de IRM (calculado como: 100 · [Masa corporal / IRM])

5.3.12 Análisis de correlaciones entre cambios

El porcentaje de cambio del MNR mostró una corrección significativa con el porcentaje de cambio de en $1RM_{carga}$ ($r = 0.71$), con el porcentaje de cambio de Fr ($r = 0.72$), con el porcentaje de cambio de $\%1RM_{MC}$ ($r = -0.71$), con el porcentaje de cambio en V_{Max} ($r = 0.56$) y, finalmente, con el porcentaje de cambio en $1RM$ ($r = 0.60$; **Tabla 13**). Por otro parte, el porcentaje de cambio en la velocidad media del test incremental con las cargas comunes del test 1 mostró una relación significativa con el porcentaje de cambio de $1RM$ ($r = 0.63$; $P < 0.001$) y con el porcentaje de cambio en el MNR ($r = 0.52$; $P < 0.01$).

Por otro lado, el porcentaje de cambio en el MNR mostró una correlación significativa con el porcentaje de cambio en la velocidad media alcanzada en el test incremental con las cargas absolutas comunes utilizadas en T1 y T2 ($r = 0.52$; $P < 0.001$; **Fig. 24A**). En esta misma línea, el porcentaje de cambio en $1RM$ también mostró una correlación significativa con el porcentaje de cambio en la velocidad media del test alcanzada en el test incremental con las cargas absolutas comunes utilizadas en T1 y T2 ($r = 0.63$; $P < 0.001$; **Fig. 24B**).

Tabla 13. Correlación entre los cambios en las diferentes variables neuromusculares seleccionadas tras un periodo de 12 semanas de entrenamiento (n=39)

	MNR	V_{Max}	V_{IRM}	Velocidad Media Test	IRM	IRM_{carga}	Fr
V_{Max}	0.56 (0.35 a 0.78) **						
V_{IRM}	-0.27 (-0.56 a 0.03)	0.12 (-0.19 a 0.43)					
Velocidad Media Test	-0.34 (-0.62 a -0.06)	0.16 (-0.15 a 0.47)	0.45 (0.19 a 0.70) **				
IRM	0.60 (0.40 a 0.80) **	0.36 (0.08 a 0.63) *	-0.22 (0.01 a 0.52)	0.50 (-0.74 a -0.26) **			
IRM_{carga}	0.72 (0.56 a 0.87) **	0.49 (0.25 a 0.73) **	-0.35 (-0.63 a -0.08) *	-0.61 (-0.81 a -0.41) **	0.87 (0.79 a 0.95) **		
Fr	0.72 (0.57 a 0.88) **	0.52 (0.28 a 0.75) **	-0.37 (-0.56 a -0.10) *	-0.60 (-0.80 a -0.39) **	0.81 (0.69 a 0.82) **	0.99 (0.98 a 1.00) **	
%IRM_{MC}	-0.70 (-0.86 a -0.54) **	-0.54 (-0.77 a -0.32) **	0.32 (0.04 a 0.61) *	0.51 (0.28 a 0.75) **	-0.84 (-0.93 a -0.74) **	-0.94 (-0.98 a -0.91) **	-0.96 (-0.98 a -0.93) **

Los datos son presentados como coeficiente de correlación de Pearson e intervalo de confianza al 95% (entre paréntesis). * Significativo para P < 0.05. **Significativo para P < 0.01
MNR: máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas. V_{Max}: Velocidad media propulsiva máxima alcanzada con el propio peso corporal (usualmente la primera repetición). V_{IRM}: Velocidad media propulsiva a la que se alcanza IRM. Velocidad media del test: calculada a través del ajuste lineal de cada individuo con cargas comprendidas entre 60-95% IRM en incrementos del 5%. IRM: calculado como la suma de la carga levantada más la masa corporal del sujeto. IRM_{carga}: Valor de la carga más alta levantada en el test incremental. Fr: fuerza relativa. %IRM_{MC}: intensidad relativa que la masa corporal representa sobre el valor de IRM (calculado como: 100 · [Masa corporal / IRM])

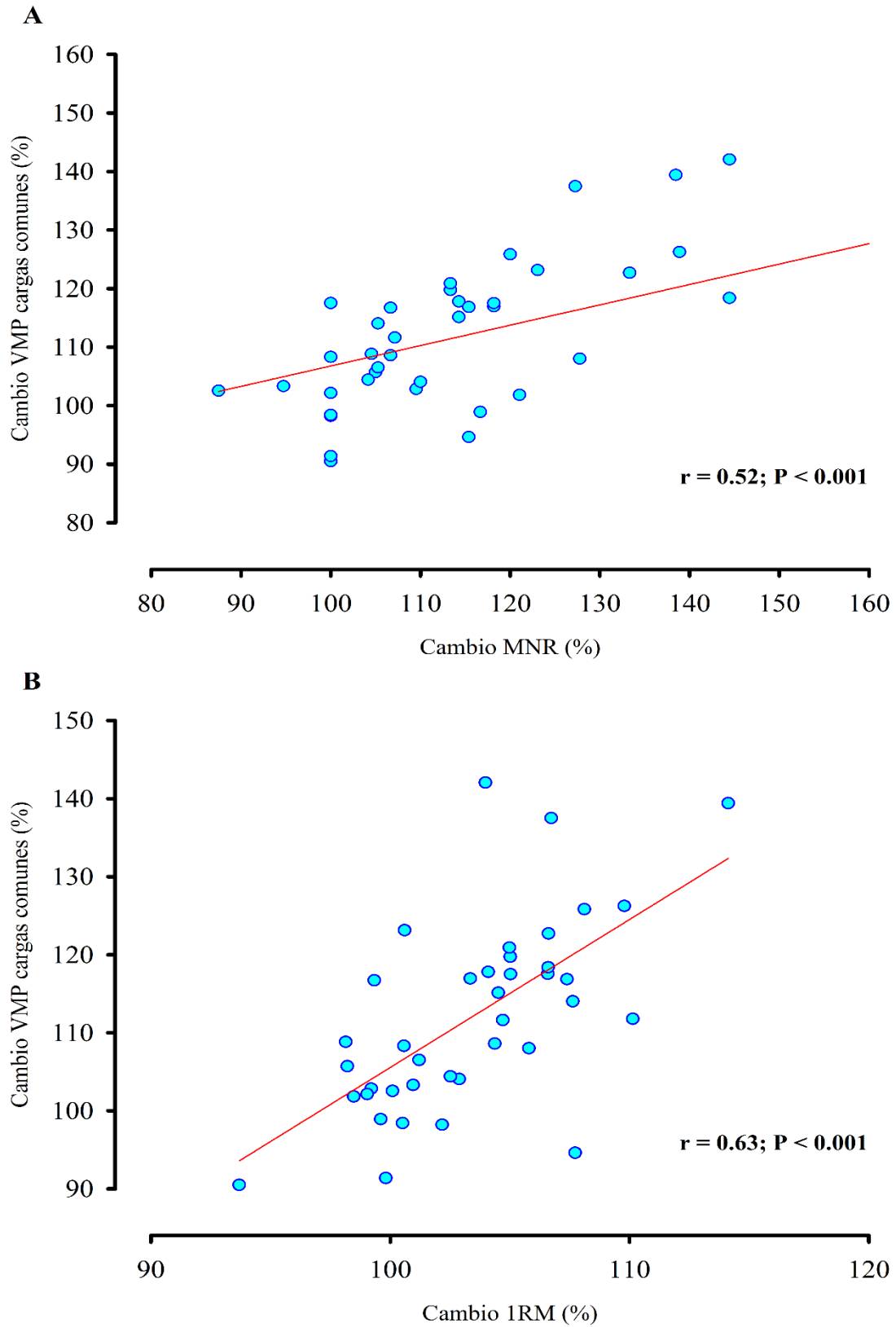


Fig. 24. Correlación entre los porcentajes de cambio en las velocidades medias alcanzadas en el test incremental con las cargas comunes empleadas en el test 1 con los porcentajes de cambio en el MNR (A) y con los porcentajes de cambio en 1RM (B). Las líneas continuas muestran los ajustes lineales de primer grado

5.4 Discusión

Uno de los principales hallazgos de este estudio fue la correlación alta ($r = -0.96$) entre la intensidad relativa (%1RM) y la velocidad del levantamiento (VMP, **Fig. 16**), y la estabilidad de esta relación a pesar de un cambio notable en la fuerza máxima (**Fig. 17**). Otro hallazgo importante de este estudio fue la relación ($R^2 = 0.88$) observada entre el porcentaje de pérdida de velocidad (%PV) y el porcentaje de repeticiones realizado (%RR; **Fig. 21**), y la estabilidad de esta relación (**Fig. 22**) a pesar de un incremento en el máximo número de repeticiones (MNR) realizado hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de dominadas. Finalmente, observamos la existencia de una relación entre la velocidad máxima alcanzada con el propio peso corporal (V_{Max}) y el MNR ($r = 0.77$), y una relación ($r = 0.56$) entre los porcentajes de cambios en ambas variables. Estos resultados nos permiten (i) determinar la intensidad real de esfuerzo que está realizando el deportista cuando utiliza cargas entre el 60 y el 95% de 1RM, (ii) estimar cuantas repeticiones en reserva o repeticiones sin realizar tiene el deportista cuando alcanza un determinado porcentaje de pérdida de velocidad, y (iii) utilizar la velocidad máxima alcanzada con la propia masa corporal como una variable sensible a los cambios de rendimiento en el MNR en el ejercicio de dominadas.

Diferentes autores han observado una correlación significativa entre la intensidad relativa (%1RM) y la velocidad media propulsiva (VMP) del levantamiento en otros ejercicios como press de banca ($R^2 = 0.98$), remo ($R^2 = 0.94$) y sentadillas ($R^2 = 0.96$) (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2011; Sánchez-Medina et al., 2014, Sánchez-Medina et al., 2017). El estudio actual extiende el conocimiento al ejercicio de dominadas ($r = -0.96$). Una diferencia importante entre los ejercicios mencionados y el ejercicio de dominadas fue que, para los ejercicios previamente estudiados, el mejor ajuste entre la intensidad relativa y la velocidad media del levantamiento fue de tipo curvilíneo mientras que para el ejercicio de dominadas fue de tipo lineal. Esto puede explicarse por el hecho de que la menor carga utilizada en el ejercicio de dominadas es la propia masa corporal, la cual representó para nuestros sujetos aproximadamente el 65% de 1RM. Por tanto, la porción de la curva intensidad relativa-velocidad analizada en el estudio presente fue desde el 60 hasta el 95% de 1RM, la cual parece confirmar un ajuste lineal. Por el contrario, en otros ejercicios de resistencia como el press de banca y el remo, donde el peso corporal no se levanta, la parte de la curva

analizada fue desde el 30 al 95% 1RM, que parece seguir un mejor ajuste curvilíneo (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014). Muy recientemente, en un trabajo publicado posterior al planteamiento del problema del estudio II de la presente tesis doctoral, se analizó la relación entre la velocidad del levantamiento y la intensidad relativa (% 1RM) en el ejercicio de dominadas (Muñoz-López, Marchante, Cano-Ruiz, López Chicharro & Balsalobre-Fernández., 2017). Estos autores observaron una relación entre la VMP y el porcentaje de 1RM procedente de cada ajuste individual ($R^2 = 0.98 \pm 0.02$) muy similar a la observada en el presente estudio ($R^2 = 0.98 \pm 0.01$). Sin embargo, cuando todos los individuos fueron incluidos en el análisis de regresión, el valor de dicha relación fue inferior ($r \sim -0.88$) al observado por nosotros ($r = -0.96$). Estas diferencias podrían venir explicadas por la metodología empleada para la determinación de la curva carga/velocidad utilizada por dichos autores. En el citado estudio se utilizaron 4 ó 5 cargas para el análisis de dicha relación lo que probablemente resultó ser insuficiente para una determinación precisa de la misma. Estudios previos (Sánchez-Medina et al., 2017) han utilizado aproximadamente 8 cargas para la determinación de la relación carga/velocidad en otros ejercicios. En nuestro caso, realizamos una media de 7.9 ± 2.0 y 8.8 ± 1.9 cargas en T1 y T2, respectivamente. Este menor número de puntos de la curva carga/velocidad pudo haber sido el responsable de la mayor dispersión observada por Muñoz-López et al. (2017).

Por otro lado, en concordancia con estudios previos (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010), nuestros resultados muestran que la velocidad media propulsiva (VMP) alcanzada con cada % de 1RM no se modifica a pesar de que haya cambios en el valor de 1RM (9.8%) después de un periodo de entrenamiento (**Tabla 6**). Además, el coeficiente de correlación intraclase (CCI) y el coeficiente de variación (CV) obtenidos para la velocidad media en el T1 y T2, indica una buena fiabilidad de esta variable, lo que sugiere su uso para el seguimiento de la evaluación de la fuerza en el ejercicio de dominadas. Valores similares (CCI = 0.87) se han observado en la relación intensidad relativa-velocidad media para el ejercicio de press de banca (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010). Como consecuencia, la fuerte relación observada en nuestro estudio podría utilizarse para predecir o ajustar la intensidad relativa durante una sesión de entrenamiento simplemente mediante el control de la velocidad de movimiento en el ejercicio de dominadas. Así, por ejemplo, si un sujeto realiza una repetición a $0.75 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

con una carga dada (kg), esto significa que dicha carga representa aproximadamente el 70% de 1RM (**Tabla 5**).

Finalmente, en el presente estudio la muestra fue dividida en tres subgrupos con diferente Fr con la finalidad de estudiar si el nivel de rendimiento tuvo influencia sobre la relación intensidad relativa-velocidad. Como resultado más relevante pudimos observar que no se dieron diferencias significativas en los valores de VMP para ningún porcentaje de 1RM, ni en la velocidad media del test entre los diferentes subgrupos G1, G2 y G3 (**Tabla 7**). Además, al calcular la relación independiente entre la VMP y el porcentaje de 1RM para estos 3 grupos (**Fig. 18**), las ecuaciones obtenidas mostraron valores de VMP para cada porcentaje de 1RM muy similares (diferencia máxima de $0.02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) que los obtenidos con la ecuación general para la muestra total (**Fig. 16**). Estos resultados indican que los valores de VMP correspondientes a cada porcentaje de 1RM (en un intervalo del 60-95% de 1RM) en el ejercicio de dominadas son muy estables, independientemente del nivel de fuerza o los cambios en el de rendimiento. Estos hallazgos confirman nuestra primera hipótesis en la que se proponía que la VMP alcanzada con una determinada carga absoluta en el ejercicio de dominadas puede ser utilizada como un buen estimador de la carga relativa (% 1RM) que está siendo levantada.

Estos resultados tienen una aplicación práctica. Por ejemplo, si queremos entrenar el ejercicio de dominadas con un porcentaje determinado, sólo tendremos que medir la velocidad con la que el sujeto realiza distintas repeticiones con distintas cargas hasta encontrar la carga con la que alcanza la velocidad correspondiente al porcentaje programado (**Tabla 5**). Al mismo tiempo, si medimos la velocidad con cualquier carga, sabremos qué porcentaje representa esa carga para el sujeto. Y si esa carga la ha utilizado previamente, podremos saber si el sujeto ha mejorado o empeorado su rendimiento en función del aumento o reducción de la velocidad con dicha carga (**Tabla 5**). En relación con esta última aplicación práctica derivada del control de la velocidad de ejecución en el ejercicio de dominadas, en el presente estudio hemos observado que la diferencia en la velocidad de ejecución por cada incremento del 5% de la intensidad relativa (del 60 al 100% 1RM) fue de aproximadamente $0.09 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (**Tabla 5**). Esto nos permite estimar que cuando un sujeto aumenta la VMP alcanzada ante una determinada carga absoluta aproximadamente 9 centésimas de metro por segundo, el rendimiento ante dicha carga absoluta habrá mejorado en un 5%. El mismo razonamiento sería aplicable si el sujeto hubiera disminuido la velocidad alcanzada con respecto a la misma carga absoluta. Todo

esto nos permite evaluar el rendimiento y dosificar la carga de trabajo sin necesidad de hacer nunca un test de 1RM ni un test de XRM.

En diferentes estudios se ha prestado atención la velocidad media a la que se alcanza la 1RM (V_{1RM}) en un rango de ejercicios de empujes y tracciones del miembro superior e inferior (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Izquierdo et al., 2006; Sánchez-Medina et al., 2014, Sánchez-Medina et al. 2017). La V_{1RM} observada en el ejercicio de press de banca fue aproximadamente de $0.16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Izquierdo et al., 2006), en el ejercicio de remo aproximadamente $0.52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Sánchez-Medina et al., 2014) mientras que en el ejercicio de sentadillas fue aproximadamente de $0.32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Sánchez-Medina et al. 2017). Aunque el ejercicio de dominadas es un ejercicio de tracción del miembro superior, la velocidad media a la que se alcanzó la 1RM ($\sim 0.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) fue muy similar, aunque distinta, a la observada en un ejercicio de empuje del miembro superior como el press de banca. Nuestros resultados vienen a confirmar que la velocidad a la que se alcanza la RM es distintiva para cada ejercicio (González-Badillo, 2000). Este hecho hace que la velocidad a la que se alcanza cualquier porcentaje de la RM en cada ejercicio sea también distinta (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al. 2014; Sánchez-Medina et al. 2017; González-Badillo et al., 2017), y al mismo tiempo que si la velocidad con la que se alcanza la RM es superior a la que le corresponde al ejercicio, la RM se aleja de la “verdadera” RM (González-Badillo, 2000; González-Badillo et al., 2017). Con respecto al ejercicio de dominadas, el valor de VMP a la que se alcanzó 1RM fue $0.20 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, añadiendo una desviación típica a la media el valor resultante fue de $0.25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Por tanto, se puede hacer una recomendación para considerar solamente como valor verdadero de 1RM en el ejercicio de dominadas aquellas repeticiones con una velocidad concéntrica media no mayor que $0.25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Sin embargo, el valor de la VMP a la que se alcanzó la 1RM observado por Muñoz-López et al. (2017) fue ligeramente superior (0.26 ± 0.05) al proporcionado por nosotros (0.20 ± 0.05). Esta diferencia podría venir explicada por la metodología para la determinación de la 1RM utilizada en dicho estudio. Los citados autores indican que utilizaron 4 series para determinar la 1RM y si ésta no aparecía tras dichas 4 series, empleaban una 5ª serie con un incremento del 5-10% sobre la última carga utilizada. Es posible que dicha progresión no haya sido suficiente para alcanzar el valor real de 1RM, subestimando éste en muchos casos, como parece indicar el valor de VMP a la que se alcanzó 1RM proporcionado por dichos autores. En nuestro

caso, como ya hemos indicado, realizamos aproximadamente 8 series, con incrementos de hasta 1kg. Esta progresión probablemente nos haya permitido aproximarnos con mayor precisión a la verdadera 1RM de los deportistas y por tanto a la velocidad real de la misma. Además, también podemos observar como la mayor VMP de la 1RM observada por dichos autores tuvo como consecuencia que la VMP para las diferentes intensidades relativas analizadas fuese mayor a las observadas por nosotros (VMP95% = 0.34 ± 0.06 vs. 0.31 ± 0.05 ; VMP90% = 0.43 ± 0.07 vs. 0.40 ± 0.05 ; VMP85% = 0.51 ± 0.09 vs. 0.49 ± 0.05 ; VMP80% = 0.59 ± 0.1 vs. 0.58 ± 0.06 , respectivamente). En la **Fig. 20** se proporcionan ejemplos que ilustran el problema que plantea una medición errónea del valor de 1RM. La **Fig. 20A** muestra un participante que mejoró su valor de 1RM en un 9.8%. El valor V_{1RM} en T1 y T2 fue idéntico ($0.14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), y la VMP con cada % de 1RM y la velocidad media del test se mantuvieron estables (0.56 y $0.57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectivamente). En la **Fig. 20B** se muestra el caso de un sujeto que mostró un cambio similar al primer caso en el valor de 1RM del T1 al T2 (10.1%), pero la V_{1RM} fue muy distinta (0.27 frente $0.21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). En consecuencia, la VMP alcanzada con cada % de 1RM y la velocidad media del test (0.63 y $0.53 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) fueron menores en T2 que en T1, dada su menor velocidad al medir la RM. Esto confirma que, incluso dentro del propio ejercicio, si hay diferencias importantes en las velocidades a las que se alcanza la RM, los valores de las velocidades de cada porcentaje también cambian. Finalmente, el sujeto cuya curva se muestran en la **Fig. 20C** no mejoró su fuerza máxima. Para este sujeto, la V_{1RM} en T1 ($0.14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y T2 ($0.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) fueron muy similares y la VMP alcanzada con cada % de 1RM y la velocidad media del test fueron las mismas en ambas pruebas ($0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Estos resultados sugieren que se debe establecer un rango de valores dentro de los cuales se pueda considerar la RM como un valor representativo de la “verdadera” RM, la cual no se podrá conocer nunca, ya que es poco probable que dos mediciones de la RM den el mismo valor de velocidad para un mismo sujeto. Esto nos sugiere que no se debería medir nunca la RM, sino estimarla a través de las fórmulas predictivas correspondientes (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; González-Badillo et al., 2017). Finalmente, al contrario que lo observado en el ejercicio de press de banca (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010), en el que el grupo de muy alto rendimiento en press de banca presentó una ligera tendencia, aunque significativa, a disminuir la velocidad media con cada porcentaje, en el presente estudio también se observa esta tendencia, pero no de manera significativa (**Tabla 7**). Del mismo modo, recientemente tampoco se han observado diferencias en los distintos grupos de rendimiento en el ejercicio de sentadillas (Sánchez-Medina et al.

2017). Esta tendencia a disminuir ligeramente la velocidad media en los sujetos de muy alto rendimiento en el ejercicio se debe a que estos sujetos tienden a conseguir su propia RM con velocidades ligeramente inferiores ($0,03-0,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) a la del resto de los sujetos. Estos resultados nos permiten generalizar la confirmación de la hipótesis 1 a poblaciones similares a las estudiadas aquí (es decir, hombres jóvenes entrenados con unos valores de $Fr \geq 1.18$, y de $Fr \leq 1.89$ en el ejercicio de dominadas).

Otro hallazgo del presente estudio fue la relación ($R^2 = 0.88$) observada entre el porcentaje de pérdida de velocidad (%PV) y el porcentaje de repeticiones realizado (%RR) en relación al máximo número de repeticiones posibles en el ejercicio de dominadas durante una serie con el propio peso corporal (**Fig. 21**). Estos resultados están en concordancia con los observados en un estudio reciente donde se observó una alta relación significativa entre el %PV y el %RR para 8 intensidades submáximas ($R^2 = 0.96 - 0.97$) en el ejercicio de press de banca (González-Badillo et al. 2017). Estos resultados nos permiten determinar el porcentaje de repeticiones que se ha completado tan pronto como se detecte un porcentaje determinado de pérdida de velocidad. Por ejemplo, nuestros resultados indican que cuando en una serie del ejercicio de dominadas sin añadir carga externa se alcanza una pérdida de VMP del 25%, se habrá realizado aproximadamente el 50% de las repeticiones posibles (**Tabla 8**), independientemente del número total de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular que podría ser completado por diferentes individuos. Además, en el presente estudio hemos observado cómo la relación entre el %PV y el %RR no se modificó a pesar de los cambios en el MNR (15.2%) después de un periodo de entrenamiento (**Tabla 9**), acompañados por unos valores de coeficiente de correlación intraclase (CCI) y de coeficiente de variación (CV) que indican una buena fiabilidad de esta variable. Estos resultados nos permiten confirmar la segunda hipótesis del presente estudio al observar que la pérdida de velocidad dentro de la serie puede ser utilizada para predecir el porcentaje de repeticiones realizado en relación al número de repeticiones realizables en el ejercicio de dominadas. Por tanto, si en la programación o dosificación del entrenamiento del ejercicio queremos realizar un determinado porcentaje de las repeticiones posibles, vamos midiendo la velocidad de ejecución y hacemos repeticiones hasta que la pérdida de velocidad sea próxima a la pérdida de velocidad que se corresponde con el porcentaje de repeticiones a realizar programado. Estos datos y esta aplicación pueden resultar relevantes para la dosificación de la carga de entrenamiento. Esta afirmación se basa en el hecho de que el número de repeticiones que puede ser

completado para una intensidad relativa determinada presenta una gran variabilidad entre individuos (Sakamoto & Sinclair, 2006; Shimano et al., 2006; Terzis et al., 2008). Por ejemplo, en nuestro estudio observamos que, cuando agrupamos a los deportistas según la intensidad relativa que representaba su propio peso corporal, el número máximo de repeticiones completado con el propio peso corporal mostró una variabilidad individual alta (CV ~ 20%; **Tabla 11**). Por lo tanto, si durante una sesión de entrenamiento todos los participantes realizan el mismo número de repeticiones por serie, es posible que estén ejerciendo un nivel diferente de esfuerzo, es decir, que el número de repeticiones que se ha dejado sin realizar, en reserva, en cada serie puede variar considerablemente entre individuos. Lo cual significa que, si ante una misma intensidad relativa proponemos a dos sujetos que realicen el mismo número de repeticiones, es probable que ambos realicen un esfuerzo significativamente diferente. Sin embargo, dada la alta relación ($r = 0,97$) entre la pérdida de velocidad en la serie y la fatiga (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), si dos sujetos pierden la misma velocidad es muy probable que la fatiga y el esfuerzo sean muy semejantes, aunque ante una misma carga relativa ambos sujetos hayan hecho un número de repeticiones distinto. Por lo tanto, el control de la velocidad del movimiento durante el ejercicio de dominadas nos permite: (i) determinar el grado real o el nivel de esfuerzo que realiza el sujeto, (ii) entrenar con un nivel de esfuerzo muy semejante para todos los sujetos que durante el entrenamiento alcancen la misma pérdida de velocidad en la serie.

Además, en el presente estudio pudimos observar que no tuvieron lugar diferencias significativas en la relación entre el %PV y el %RR (**Fig. 23**) y en los valores de %RR para los diferentes %PV estudiados, entre los diferentes subgrupos de rendimiento (**Tabla 10**). Además, al calcular el %RR para los diferentes %PV para estos 3 grupos (**Fig. 23**), las ecuaciones obtenidas mostraron valores de %RR para cada %PV muy similares (diferencia máxima del 2%) que los obtenidos con la ecuación general para la muestra total (**Fig. 21**). Estos resultados indican que los valores de %RR correspondientes a cada %PV (en un intervalo del 20-65% de PV) en el ejercicio de dominadas son muy estables, independientemente del nivel de fuerza. Estos hallazgos respaldan la aceptación de nuestra segunda hipótesis, en la que se propone que la pérdida de velocidad dentro de la serie puede ser utilizada para predecir el porcentaje de repeticiones realizado en relación al número de repeticiones realizables en el ejercicio de dominadas.

Finalmente, se analizaron las correlaciones entre el rendimiento en el ejercicio de dominadas evaluado a través del máximo número de repeticiones que puede ser realizado con la propia masa corporal (MNR) y a través del valor de 1RM con una serie de variables de interés. En la **tabla 12** se puede observar que MNR y 1RM tienen una relación positiva ($r = 0.71$) con la velocidad máxima (V_{Max}) alcanzada sin carga adicional (habitualmente alcanzada en la primera repetición). Este hallazgo, es coherente con todo lo que hemos discutido en este estudio, ya que a mayor V_{Max} , menor será el porcentaje que representa el peso corporal del sujeto para sí mismo, y por tanto mayor será el número de repeticiones realizado. Esta afirmación se ve reforzada por la relación negativa observada entre el MNR y el porcentaje que la masa corporal del deportista representa con respecto al valor de la 1RM ($r = -0.88$; $P < 0.001$; **Tabla 12**). Es decir, aquellos deportistas cuya masa corporal representó un porcentaje menor con respecto a su valor de 1RM realizaron un mayor número de repeticiones. Por tanto, si conocemos el valor de V_{Max} con la masa corporal, sabemos qué porcentaje de la RM representa dicha carga y podemos hacer una estimación muy aproximada de cuántas repeticiones puede hacer el sujeto. No obstante, aquí se debería hacer el ajuste para cada sujeto, pues como hemos indicado, no todos los sujetos hacen el mismo número de repeticiones ante la misma intensidad relativa. Una vez hecho este ajuste, quizás no sea necesario volverlo a hacer, pues como hemos observado, la relación entre la intensidad relativa y la velocidad del desplazamiento se mantiene estable a pesar del cambio obtenido en el rendimiento (**Tabla 5**). Además, la relación observada entre los cambios en el MNR y V_{Max} (**Tabla 13**) nos hace pensar que la velocidad del movimiento es una variable sensible a los cambios en el rendimiento en el ejercicio de dominadas cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones que puede ser realizado sin añadir carga externa. Esta afirmación está reforzada por la relación observada entre los cambios en MNR y los cambios en la velocidad media del test incremental cuando son evaluadas solo las cargas comunes empleadas en ambos test (**Fig. 24A**). Estos resultados nos permiten considerar como referencia la V_{Max} como indicador de cambios en el rendimiento en el MNR en el ejercicio de dominadas, evitando así la necesidad de realizar un tests de 1RM o XRM para controlar y valorar el efecto del entrenamiento. Por otra parte, el valor de 1RM también mostró una relación similar con la V_{Max} ($r = 0.72$) que con el MNR ($r = 0.71$). Del mismo modo los cambios en el rendimiento en ambas variables mostraron una relación significativa (**Tabla 13**). Por tanto, la V_{Max} parece ser también sensible a los cambios en el rendimiento en el ejercicio de dominadas cuando este es evaluado a través del valor de 1RM.

Afirmación que se ve reforzada por la relación entre los cambios en 1RM y la velocidad media del test incremental cuando son evaluadas solo las cargas comunes empleadas en ambos test (**Fig. 24B**). Finalmente podemos observar como la relación entre el valor de 1RM y MNR ($r = 0.56$) es algo menor a la relación entre V_{Max} y MNR ($r = 0.71$; **Tabla 12**). Esta diferencia puede venir explicada por el hecho de que la masa corporal ejerce un efecto positivo sobre el rendimiento en 1RM mientras que, dicha influencia es negativa sobre el rendimiento en MNR. Esta diferencia puede atenuar la capacidad predictora de dicha variable. No obstante, tanto los cambios en 1RM como los cambios en V_{Max} estuvieron significativamente relacionados con los cambios en MNR ($r = 0.60$, y $r = 0.56$; respectivamente). Esto puede venir explicado por el hecho de que el incremento en el rendimiento en 1RM (3.4%; $P < 0.001$) y en MNR (15.2%; $P < 0.001$) tuvo lugar sin cambios en la masa corporal (-0.4%; $P > 0.05$). Al no producirse cambios en la masa corporal, la influencia, comentada anteriormente, que dicha variable puede tener sobre el rendimiento en 1RM y MNR se ve controlada, por lo que el incremento del rendimiento en 1RM y MNR observado en el presente estudio vendrá explicado por cambios en la fuerza de los deportistas. Es decir, si un sujeto incrementa su fuerza máxima (1RM) en el ejercicio de dominadas, sin cambios en la masa corporal, habrá incrementado su Fr y, probablemente, la velocidad máxima (V_{Max}) a la que puede desplazar su propio peso corporal, ya que este supondría un grado de esfuerzo menor, lo que, naturalmente, permite realizar un mayor número de repeticiones con dicha carga.

5.5 Conclusiones

Estos resultados nos permiten confirmar la existencia de una estrecha relación ($r = -0.96$) entre la intensidad relativa y la velocidad media propulsiva del levantamiento en el ejercicio de dominadas. Es decir, como se ha observado en estudios previos (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014, Sánchez-Medina et al. 2017), en el ejercicio de dominadas también se puede afirmar que cada porcentaje de la RM tiene su propia velocidad. Además, dicha relación se muestra estable a pesar de los cambios en el rendimiento en dicho ejercicio evaluado tanto a través del máximo número de repeticiones posible sin carga añadida como a través del valor de 1RM.

Por otro lado, en el presente estudio hemos observado una relación entre el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado ($R^2 = 0.88$). Además, dicha relación se ha mostrado estable a pesar de los cambios en el rendimiento en el MNR ($R^2 = 0.89$ pre y $R^2 = 0.87$ post entrenamiento). Finalmente, la relación observada entre velocidad media propulsiva y los diferentes indicadores de rendimiento nos permiten sugerir que esta variable se muestra sensible a los cambios en el rendimiento en el ejercicio de dominadas. Por tanto, la estrecha relación entre VMP y %1RM nos permite determinar qué % de 1RM se utiliza tan pronto como se realiza la primera repetición con una carga dada (entre el 60% y el 95% de 1RM) a la velocidad voluntaria máxima. Además, la fuerte relación entre %PV y %RR nos permite conocer e igualar el grado de esfuerzo de cada sujeto durante el entrenamiento.

Finalmente, tanto la velocidad propulsiva máxima alcanzada sin añadir carga externa (V_{Max}) como la velocidad media propulsiva del test incremental alcanzada con las cargas comunes son indicadores válidos para detectar cambios en el rendimiento en el ejercicio de dominadas, pudiendo evitar así la necesidad de realizar el máximo número de repeticiones (XRM) o alcanzar la 1RM para evaluar el rendimiento.

5.6 Aplicaciones prácticas

Los resultados del presente estudio contribuyen a la mejora del conocimiento sobre como el ejercicio de dominadas puede ser cuantificado y controlado mediante el uso de la velocidad del movimiento. En primer lugar, la relación observada entre la velocidad de desplazamiento y los porcentajes de 1RM nos permite determinar qué porcentaje de 1RM está siendo utilizado nada más la primera repetición sea realizada, si esta se ejecuta a la máxima velocidad posible. Esto permite un ajuste individual y diario de la carga de entrenamiento. Por ejemplo, si queremos entrenar con un porcentaje determinado, se podría medir la velocidad con la que el sujeto realiza distintas repeticiones con distintas cargas hasta encontrar la carga con la que alcanza la velocidad correspondiente al porcentaje programado. En segundo lugar, esta misma relación nos permite estimar el valor de 1RM del deportista sin necesidad de realizar un test de 1RM o XRM. Finalmente, dado que, al medir la velocidad con cualquier carga en el ejercicio de dominadas, sabremos qué porcentaje representa esa carga para el sujeto, si esa carga absoluta la ha utilizado previamente, podremos saber si el sujeto ha mejorado o empeorado su rendimiento en función del aumento o reducción de la velocidad con dicha carga. De esta manera podremos evaluar el rendimiento y dosificar la carga de trabajo sin necesidad de hacer nunca ni 1RM ni un test de XRM.

Por otro lado, la relación observada entre el porcentaje de repeticiones realizado y el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie nos permite conocer cuántas repeticiones con respecto al máximo posible han sido realizadas cuando un determinado porcentaje de pérdida de velocidad ha sido alcanzado. Habitualmente, el volumen de entrenamiento suele prescribirse fijando un determinado número de repeticiones por series. Sin embargo, los presentes hallazgos sugieren que el número de repeticiones que se pueden completar con una carga relativa dada (% 1RM) presentan una gran variabilidad entre individuos. Por lo tanto, si durante el entrenamiento de resistencia dos deportistas están obligados a realizar el mismo número de repeticiones por serie, es probable que puedan estar realizando un grado de esfuerzo diferente. Esto es así porque el porcentaje de repeticiones completado con respecto al máximo podría diferir considerablemente para cada deportista. Los resultados del presente estudio confirman que, en lugar de prescribir un número fijo de repeticiones para realizar con una carga dada, el volumen de entrenamiento durante el ejercicio de dominadas debe ser controlado usando la magnitud

de la pérdida de velocidad alcanzada durante la serie, dada la estrecha relación de esta con el grado real de esfuerzo realizado. Por lo tanto, la velocidad media de la primera repetición (que está intrínsecamente relacionada con el porcentaje de 1RM que se está utilizando) y el porcentaje de pérdida de velocidad que se alcanzará durante cada serie son las dos variables que deben prescribirse y controlarse durante un programa de entrenamiento para optimizar el rendimiento deportivo. De acuerdo con este nuevo enfoque basado en la velocidad, cada serie debe detenerse cuando se ha alcanzado el porcentaje deseado de pérdida de velocidad (por ejemplo: 20%, 40% o 50%). La magnitud de la pérdida de velocidad debe establecerse de antemano dependiendo del objetivo que se persigue, el ejercicio particular que se realizará, así como la experiencia de entrenamiento y el nivel de rendimiento del deportista.

Finalmente, si se quiere conocer el estado de forma del deportista, especialmente si se quiere saber si ha mejorado o no el máximo número de repeticiones que puede hacer en el ejercicio de dominadas, la manera más sencilla y fiable es medirle la velocidad de la primera (o la máxima velocidad, si la consigue en la segunda repetición) repetición sin carga adicional.

EFFECTOS DE UN ENTRENAMIENTO DE FUERZA CON DISTINTA PÉRDIDA DE VELOCIDAD DENTRO DE LA SERIE REALIZADO DE FORMA CONCURRENTENTE CON EL ENTRENAMIENTO DE RESISTENCIA SOBRE LA FUERZA Y LA RESISTENCIA EN CARRERA



6 Estudio III. Efectos de un entrenamiento de fuerza con distinta pérdida de velocidad dentro de la serie realizado de forma concurrente con el entrenamiento de resistencia sobre la fuerza y la resistencia en carrera

6.1 Planteamiento del problema y propósito de la investigación

Los efectos del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia sobre el rendimiento en resistencia han mostrado resultados contradictorios. Algunos de los estudios pioneros no identificaron ningún efecto aditivo por añadir un entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia (Jensen, 1963; Paavolainen, Häkkinen, & Rusko, 1991; Tanaka, Costill, Thomas, Fink, & Widrick, 1993), o una disminución en las adaptaciones cardiovasculares (Dudley & Djamil, 1985; Hickson, 1980; G. Hunter et al., 1987; Izquierdo et al., 2005; W. Kraemer et al., 1995; Nelson et al., 1990) en comparación con el entrenamiento de resistencia aislado. Por el contrario, en otros estudios se ha sugerido que el entrenamiento concurrente puede conducir a adaptaciones sobre la resistencia similares (Bell et al., 1991; Bell et al., 2000; Ferrauti et al., 2010; Izquierdo et al., 2005; Izquierdo et al., 2004; Kelly et al., 2008; McCarthy et al., 1995; McCarthy et al., 2002; Schumann et al., 2014) o incluso superiores (Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Millet et al., 2002; Østerås et al., 2002; Paavolainen et al., 1999; Rønnestad et al., 2011; Rønnestad et al., 2015; Storen et al., 2008; Sunde et al., 2010) a las alcanzadas por el entrenamiento de resistencia solo. En la mayoría de dichos estudios se ha utilizado el tradicionalmente denominado entrenamiento de fuerza máxima o entrenamiento con cargas pesadas, entendido este como aquel que utiliza cargas que permiten realizar entre 1RM y 15RM (Knuttgen & Kraemer, 1987). Una característica común en todos estos estudios es que se realizaba el máximo número de repeticiones posibles en la serie (CE máximo) ante una carga determinada (por ej. 5RM, 8RM, 10RM).

Sin embargo, se ha observado que el entrenamiento de fuerza en el cual se realiza el máximo número repeticiones posible en cada serie podría no ser un estímulo necesario para obtener las mayores ganancias de fuerza (Davies et al., 2016; Drinkwater et al., 2007; Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2010; Izquierdo et al., 2006; Pareja-Blanco et al., 2016; Sampson & Groeller, 2015; Sanborn et al., 2000). El daño muscular originado por

este tipo de entrenamiento parece ser que reduce considerablemente la fuerza que un músculo puede generar, además de que compromete la capacidad del sistema nervioso para activar voluntariamente la musculatura (Häkkinen, 1993). Esto tendría efectos perjudiciales para la producción de fuerza en la unidad de tiempo ('rate of force development', RFD), la velocidad de ejecución y la potencia propias de la gran mayoría de los movimientos deportivos (Häkkinen & Kauhanen, 1989). Se ha observado que la realización de la mitad de las repeticiones posibles produce efectos similares sobre la fuerza máxima (1RM) y mayores sobre la capacidad de salto vertical (CMJ), que la realización del máximo número de repeticiones posible. Estos resultados fueron acompañados por el descenso en el porcentaje de área de tipos IIX para el grupo que realizó el máximo número de repeticiones posibles mientras que se mantuvo sin cambios en el grupo que realizó la mitad de las repeticiones posibles (Pareja-Blanco et al., 2016). Sin embargo, hasta la fecha ningún estudio ha analizado los efectos del entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia, utilizado en el entrenamiento de fuerza diferentes grados de esfuerzo ante la misma carga relativa, sobre el rendimiento en resistencia en carrera.

Por tanto, el problema que nos planteamos es:

- 1) ¿Cuál es el efecto tras la realización de dos programas de entrenamiento de fuerza en los que se alcanzan diferentes grados de fatiga dentro de la serie ante la misma intensidad relativa realizada de manera concurrente con entrenamiento de resistencia sobre las siguientes variables?
 - La fuerza, el salto vertical y la aceleración en carrera.
 - El VO_{2max} , la vVO_{2max} , y el tiempo hasta el agotamiento en un test incremental en tapiz y en pista.

6.1.1 Objetivos de la investigación

La problemática objeto de estudio genera los siguientes objetivos:

- Analizar los efectos de dos programas de entrenamiento de fuerza en los que se alcanzan diferentes grados de fatiga dentro de la serie ante la misma intensidad relativa realizada de manera concurrente con entrenamiento de resistencia sobre el rendimiento en las siguientes variables:
 - La fuerza: estimada a través entre los cambios en la velocidad ante la misma carga absoluta.
 - La capacidad de salto vertical: evaluada a través de un salto con contramovimiento.
 - La capacidad de aceleración: evaluada a través del tiempo en recorrer 10-20 metros.
 - La resistencia: evaluada a través del VO_{2max} , la vVO_{2max} , y el tiempo hasta el agotamiento en un test incremental en tapiz y en pista.

6.1.2 Hipótesis

Los resultados de los estudios que han analizado los efectos del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia ponen de manifiesto que la mayoría de adaptaciones cardiorrespiratorias que tienen lugar con el entrenamiento de resistencia realizado de manera aislada no se ven afectadas tras la incorporación de un entrenamiento de fuerza al entrenamiento de resistencia (Cadore et al., 2011; Holviala et al., 2010; Holviala et al., 2012; Izquierdo et al., 2004; Karavirta et al., 2011). Además, diferentes estudios han observado como el rendimiento en resistencia puede verse beneficiado en mayor medida cuando un entrenamiento de fuerza es añadido al entrenamiento de resistencia en comparación con la realización de este de manera aislada (Aagaard & Andersen, 2010; Rønnestad et al., 2015; Sedano et al., 2013). De la revisión de estos estudios hemos observado que un gran número de ellos han utilizado un entrenamiento de fuerza caracterizado por el uso de cargas pesadas (heavy strength training) y/o un entrenamiento de fuerza caracterizado por el uso de cargas ligeras (explosive strength training). Además, se han observado diferencias en las adaptaciones tras la realización de un entrenamiento de fuerza con cargas pesadas y un entrenamiento de fuerza con cargas ligeras, apuntando hacia unas adaptaciones más favorables como consecuencia del entrenamiento con cargas pesadas (Barnes et al., 2013; Guglielmo et al., 2009; Mikkola et al., 2011).

Por otro parte, aunque tradicionalmente se ha propuesto que realizar repeticiones hasta alcanzar el fallo podría ser un requisito necesario para maximizar las ganancias de masa muscular y de fuerza (Ahtiainen et al., 2003; Drinkwater et al., 2005; Rooney et al., 1994), cada vez hay más evidencias científicas que sugieren que realizar el máximo número repeticiones posibles en cada serie podría no ser un estímulo necesario para obtener las mayores ganancias de fuerza (Davies et al., 2016; Drinkwater et al., 2007; Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2010; Pareja-Blanco et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2016; Sampson & Groeller, 2015). En un estudio reciente llevado a cabo por Pareja-Blanco, et al. (2016) se observó como el grupo que realizó aproximadamente la mitad de las repeticiones posibles en la serie (VL20) en el ejercicio de sentadillas alcanzó un incremento de fuerza del miembro inferior similar al grupo que realizó el máximo número de repeticiones dentro de la serie (VL40), además de mostrar mayores ganancias en el salto vertical.

Por tanto, dado que hay evidencias de que no es necesario llegar al fallo muscular para alcanzar resultados similares o superiores en el rendimiento en fuerza a los obtenidos cuando se llega a dicho fallo, y de que perder sólo el 20% de la velocidad en la serie, lo que significa realizar aproximadamente la mitad de las repeticiones posibles en la serie (en el ejercicio de sentadillas), produce adaptaciones hormonales, metabólicas y mecánicas más favorables para el rendimiento en fuerza del miembro inferior que si se llega a una pérdida de velocidad próxima al fallo (40%-45%), nuestra hipótesis es la siguiente:

Hipótesis 1: Los aumentos de fuerza y en la resistencia son superiores para el programa de entrenamiento de fuerza que permite sólo un 15% de descenso de la velocidad de ejecución en la serie frente al 45% de pérdida.

Hipótesis 2: Los aumentos de la resistencia son superiores para el programa de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia en comparación con el grupo que entrena la resistencia de manera aislada.

6.2 Metodología

6.2.1 Tipo de investigación

Dadas las características de los datos, nuestro estudio es una investigación cuantitativa; por el grado de manipulación de las variables y los objetivos de estudio, nuestra investigación es fundamentalmente experimental, ya que poseemos una variable independiente (pérdida de velocidad en la serie 15 vs. 45%) y variables dependientes, las cuales serían el rendimiento neuromuscular y las adaptaciones fisiológicas. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es inferencial. La investigación además es de carácter longitudinal, ya que estudiamos la evolución de la respuesta mecánica y fisiológica durante un periodo de varios meses.

6.2.2 Diseño del estudio

La presente investigación fue diseñada en un intento de aumentar el conocimiento acerca de la influencia del grado de fatiga alcanzado durante el entrenamiento de fuerza sobre la fuerza y la resistencia cuando estas son entrenadas de manera concurrente. Los sujetos entrenaron cuatro veces por semana con una separación de 24-48 horas entre sesiones durante 8 semanas, realizando un total de 16 sesiones de fuerza y 16 sesiones de resistencia. Durante este período se realizó un programa de entrenamiento de fuerza únicamente compuesto por el ejercicio de SQ. Con respecto al entrenamiento de fuerza, los dos grupos entrenaron con la misma intensidad relativa (% 1RM) en cada sesión, pero difirieron en la pérdida de velocidad alcanzada en cada serie de entrenamiento (15% vs. 45%). Tan pronto como el límite de pérdida de velocidad programado era sobrepasado, se daba por terminada la serie. Las sesiones se realizaron en el laboratorio bajo la supervisión directa de los investigadores, a la misma hora del día (± 1 h) para cada sujeto y bajo condiciones ambientales controladas ($\sim 20^{\circ}\text{C}$ y $\sim 60\%$ humedad). Durante el entrenamiento de resistencia, todos los grupos entrenaron a la misma intensidad relativa, cuantificada por porcentajes de la velocidad de consumo máximo de oxígeno ($\%v\text{VO}_{2\text{max}}$). Las sesiones se realizaron en una pista de atletismo bajo la supervisión directa de los investigadores, a la misma hora del día (± 1 h) para cada sujeto. Se pidió a los sujetos que no participasen en ningún otro tipo de actividad física extenuante, entrenamientos o competiciones deportivas durante el transcurso de la investigación. Ambos grupos fueron evaluados en dos ocasiones: 48 h antes (Pre) y 72 h después (Post)

del programa de entrenamiento de 8 semanas. La asistencia a los entrenamientos fue del 100% de las sesiones para todos los sujetos que completaron la intervención.

6.2.3 Muestra

Treinta y cinco sujetos entrenados (edad: 25.2 ± 4.9 años, estatura: 1.76 ± 0.05 m, masa corporal: 73.9 ± 7.2 kg), participaron de manera voluntaria en este estudio. El valor inicial de su 1RM en SQ fue 86.7 ± 8.3 kg (1.19 ± 0.13 normalizada por kg de masa corporal) y de su VO_{2max} fue 51.9 ± 5.1 ml·kg⁻¹·min⁻¹). Todos los sujetos pertenecían a un grupo de opositores a los Servicios de Extinción de Incendios y Salvamento los cuales estaban habituados a entrenar la fuerza y la resistencia de manera concurrente con una experiencia previa de entrenamiento en ambas modalidades de 2 a 5 años y estaban habituados a la realización de la SQ con una técnica correcta. Antes de la investigación, los participantes fueron ordenados según su vVO_{2max} y se distribuyeron por el procedimiento ABCCBA en tres grupos. Dos de los cuales realizaba de manera concurrente el entrenamiento de resistencia y de fuerza, con la única diferencia de que este último difería en la magnitud de la pérdida de velocidad permitida durante serie: 15% (VL15; n = 11) o 45% (VL45; n = 12), y un tercer grupo que solo realizaba el entrenamiento de resistencia (GC; n = 12). Durante el transcurso del estudio, dos sujetos, uno pertenecientes al grupo VL45 y otro al grupo GC abandonaron el estudio por causas ajenas al mismo causando baja del mismo. Por tanto, tanto el grupo VL45 como GC quedaron finalmente compuestos por 11 sujetos. Los sujetos no tomaron ningún tipo de droga que pudiese alterar el rendimiento físico durante varios meses antes o durante este estudio. Las características de los sujetos se presentan en la **Tabla 14**.

Tabla 14. Características iniciales de los sujetos pertenecientes a los tres grupos

Grupo	Edad (años)	Talla (cm)	Masa corporal (kg)	Porcentaje graso (%)
VL15	26.4 ± 4.8	175 ± 4.5	73.9 ± 9.9	11.9 ± 2.6
VL45	25.9 ± 5.3	176 ± 6.3	72.8 ± 4.5	12.2 ± 1.6
GC	24.3 ± 5.8	176 ± 7.1	75.2 ± 7.2	12.6 ± 1.8

Datos presentados como media \pm SD

VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie (n = 11);

VL45: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 45% dentro de la serie (n = 11);

GC: Grupo que realizó solamente el entrenamiento de resistencia (n = 11)

Para poder tomar parte en este proyecto, dichos sujetos debían cumplir varios requisitos: 1) tener experiencia con el entrenamiento de fuerza y de resistencia de forma sistemática durante, al menos, los últimos 8 meses, un mínimo de 2 veces por semana; 2) no padecer ninguna enfermedad o problema de salud que pudiera suponer un riesgo ante el esfuerzo físico intenso (por ej. Disfunción renal, anomalías cardíacas, enfermedades respiratorias o metabólicas; patologías osteoarticulares, etc.) 3) estar habituados a la realización de los ejercicios a realizar; 4) y no realizar otro tipo de entrenamiento físico intenso, aparte del propio del estudio, durante la duración del mismo.

Una vez seleccionados los sujetos que cumplían los requisitos y confirmada su disponibilidad, y tras ser informados del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, todos ellos dieron su Consentimiento Informado (**ANEXO I**) antes de tomar parte en el estudio correspondiente, el cual fue aprobado por el Comité Científico Ético de la Universidad Pablo de Olavide. La realización del estudio se ajustó a los principios fundamentales de la Declaración de Helsinki, al convenio del Consejo de Europa relativo a los Derechos Humanos y la Biomedicina, a la Declaración Universal de la UNESCO sobre el genoma humano y los Derechos Humanos, y al convenio para la protección de los Derechos Humanos y la dignidad de los seres humanos con respecto a las aplicaciones de la biología y la medicina (Convenio de Oviedo relativo a los Derechos Humanos y la Biomedicina). Además, antes de participar en el citado estudio, todos los deportistas tuvieron que cumplimentar una ficha para conocer su historial médico (**ANEXO II**) y fueron sometidos a una revisión médica llevada a cabo por el equipo médico del Centro Andaluz de Medicina del Deporte (Sevilla, España).

6.2.4 Variables objeto de estudio

Un aspecto importante del presente estudio fue que el entrenamiento de resistencia realizado por todos los grupos experimentales fue el mismo. Esto permite controlar dicha variable eliminando así una influencia diferenciada en los tres grupos.

Variable independiente:

- La pérdida de velocidad en la serie medida como el porcentaje máximo de pérdida permitido con respecto a la velocidad de la primera repetición. Las pérdidas de velocidad que utilizamos fueron 15 y 45%

Variables dependientes:Variables de composición corporal

- Masa Corporal (MC), en kg
- Sumatorio de 5 pliegues ($\Sigma 5$), en mm
- Porcentaje Graso (PG), estimado por la ecuación de Faulkner
- Masa Grasa (MG), en kg
- Masa Muscular (MM), en kg
- Porcentaje Muscular (PM)
- Masa Libre de Grasa (MLG), en kg

Variables relacionadas con el rendimiento en fuerza:

- Fuerza dinámica máxima (1RM), para el ejercicio de sentadilla, en kg
- Velocidad media propulsiva con las cargas absolutas comunes en los test 1 y 2 (VMP_C), para el ejercicio de sentadilla, en $m \cdot s^{-1}$
- Velocidad media propulsiva con las cargas absolutas que podían desplazarse a $1 m \cdot s^{-1}$ o más en el test 1 ($VMP_{\geq 1}$) para el ejercicio de sentadilla, en $m \cdot s^{-1}$
- Velocidad media propulsiva con las cargas absolutas que podían desplazarse a menos de $1 m \cdot s^{-1}$ en el test 1 ($VMP_{< 1}$) para el ejercicio de sentadilla, en $m \cdot s^{-1}$
- Altura en salto vertical con contramovimiento (CMJ), en cm
- Aceleración en 10-20 m (T_{10} , T_{20} , T_{10-20}), en s
- Número máximo de repeticiones (Rep) con una carga equivalente al 65% de 1RM en el ejercicio de sentadillas
- Velocidad media propulsiva de la primera mitad del máximo número de repeticiones realizadas en Rep durante el pre y post test (VMP_{1M})
- Velocidad media propulsiva de la segunda mitad del máximo número de repeticiones realizadas en Rep durante el pre y post test (VMP_{2M})

Variables relacionadas con el rendimiento en resistencia:

- Consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), en $ml \cdot min^{-1}$
- Velocidad a la que se alcanza el VO_{2max} , en $km \cdot h^{-1}$
- Tiempo límite en tapiz ($Tlim_T$), definido con el tiempo empleado hasta alcanzar el agotamiento en el test incremental en tapiz, en s

- Tiempo límite en pista (T_{limP}), definido con el tiempo empleado hasta alcanzar el agotamiento en el test incremental en pista, en s

6.2.5 Control de las variables extrañas

Al igual que en el **Estudio I** y **II**, se trató de tener control sobre posibles variables contaminantes que pudieran afectar a los resultados. El control sobre variables como la validez de los instrumentos de medida, la ejecución técnica y cumplimiento de los protocolos, y la situación ambiental durante la sesión de trabajo han sido descritos durante la metodología del **Estudio I** y **II**.

6.2.6 Evaluaciones

6.2.6.1 Análisis de la composición corporal

Masa corporal (kg): se pesó a los sujetos colocándolos, en posición erecta, en el centro de una báscula de precisión (Tanita, BC-543, Tokyo, Japón).

Talla (cm): es la distancia entre el vértex y las plantas de los pies. Los sujetos permanecieron de pie con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro (Quirumed, Valencia, España).

Sumatorio de pliegues cutáneos (mm): 5 pliegues cutáneos fueron tomados (pliegue del tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal y pierna). Las medidas fueron obtenidas con un lipocalibre modelo Holtain LTD (Crymych, United Kingdom) (rango de medida de 0–46 mm; resolución de 0.2 mm para una presión de 10 g·mm). La posición exacta de cada medición de pliegues fue realizada de acuerdo a un protocolo descrito previamente (ISAK, 2001). Los sujetos estuvieron descalzos y con la menor ropa posible, en pantalón corto o calzoncillos, durante todas estas mediciones. Todas las mediciones fueron realizadas por duplicado por el mismo evaluador. En el caso de que existiese una diferencia superior al 5% entre estas dos medidas se realizaba una tercera medida teniendo en cuenta el promedio de las tres, en caso contrario se recogía la media de las dos mediciones realizadas.

Porcentaje Graso: Estimado a través de la ecuación propuesta por Faulkner en 1968 y explicado en el **Estudio I**.

Masa grasa (kg): Estimado a través de la ecuación propuesta por Heyward & Stolarczyk (1996) y explicado en el **Estudio I**.

Masa Libre de Grasa (kg): Calculado a través de la ecuación propuesta por Heyward & Stolarczyk (1996) y explicado en el **Estudio I**.

Porcentaje Muscular: Calculado a través de la ecuación propuesta en el **Estudio I**.

Masa Muscular (kg): Estimado a través de la ecuación propuesta por Matiegka (1921) y explicado en el **Estudio I**.

6.2.6.2 Evaluación de las Relaciones carga/fuerza-velocidad

Test de cargas progresivas hasta la RM en sentadillas (SQ)

Para la realización de la SQ, los sujetos comenzaron en la posición en la que las rodillas y cadera estaban completamente extendidas, los pies separados a la anchura de las caderas y la barra descansando sobre la espalda a nivel del acromion. Cada sujeto descendía en un movimiento continuo hasta que la parte superior de sus muslos quedaban por debajo del plano horizontal y la parte posterior de los muslos tocaba con la parte posterior de los gemelos, en ese momento comenzaba la fase concéntrica. La fase excéntrica se realizaba a una velocidad controlada ($\sim 0.50-0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), y la fase concéntrica a la máxima velocidad posible (**Fig. 25**).

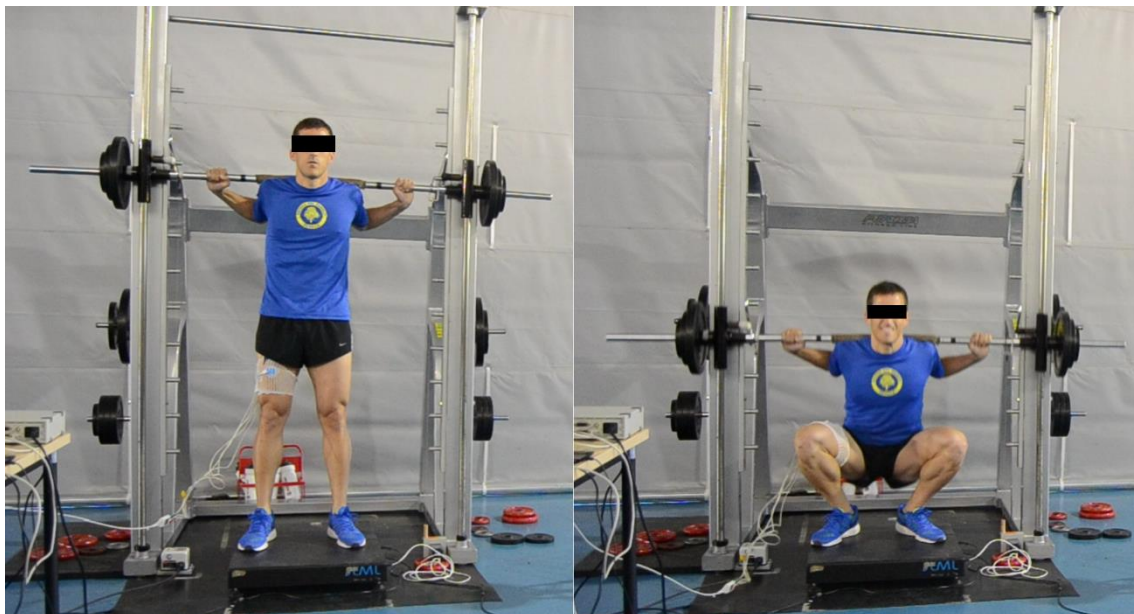


Fig. 25. Ejecución del ejercicio de sentadilla completa. Máquina tipo Smith (Fitness Line, Peroga, Murcia, España)

La carga inicial fue de 30 kg para todos los sujetos, y fue aumentando gradualmente en 10 kg hasta que la VMP fue inferior a $0.60 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A partir de esta velocidad, la carga fue individualmente ajustada con pequeños incrementos (de 2.5 kg a 5 kg) hasta que la VMP descendía de $0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. La 1RM fue estimada a partir de la velocidad a la que el sujeto era capaz de desplazar la última carga levantada de la siguiente forma: $1RM = (8.4326 \times MPV^2) - (73.501 \times MPV) + 112.33$ (Sánchez-Medina et al. 2017). Se realizaron tres repeticiones ante cargas ligeras ($\leq 50\%$ 1RM), dos para cargas intermedias (50-80% 1RM) y sólo una para las cargas más pesadas ($>80\%$ 1RM). Se animó a todos los participantes para que diesen el máximo esfuerzo en cada repetición. El tiempo de recuperación entre series fue desde 3 min (cargas ligeras) a 5 min (cargas pesadas). Sólo la mejor repetición, según el criterio de la mayor VMP fue considerada para posteriores análisis. Todos los valores de velocidad recogidos en este estudio corresponden a la velocidad media alcanzada en la fase propulsiva de cada repetición. La fase propulsiva fue definida como la fracción de la fase concéntrica durante la cual la aceleración de la barra es superior a la aceleración de la gravedad (Sánchez-Medina et al. 2010).

El calentamiento consistió en 5 min de trote a una velocidad seleccionada por el propio sujeto, pero que supusiese un ritmo cómodo, 5 min de movilidad articular del tren inferior y dos series de ocho y seis sentadillas (3 min de recuperación) con 20 kg y 30 kg, respectivamente. El mismo protocolo de calentamiento y la misma progresión de cargas absolutas fueron usados para cada sujeto tanto en el Pre como en el Post-test. Además de la 1RM, se evaluaron otras tres variables derivadas de este test de cargas progresivas para analizar la magnitud en la cual los dos programas de entrenamiento (VL15 vs. VL45) influían sobre las diferentes zonas de la curva fuerza-velocidad: i) efecto sobre toda la curva fuerza-velocidad, a partir de la velocidad media con las cargas absolutas comunes en Pre y Post-test (VMP_C), ii) efecto sobre las cargas ligeras, a partir de la velocidad media con las cargas absolutas que podían desplazarse a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o más en el test 1 ($VMP \geq 1$), iii) efecto sobre las cargas pesadas, a partir de la velocidad media con las cargas absolutas que podían desplazarse a menos de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el test 1 ($VMP < 1$).

Se utilizó una máquina tipo Smith (Fitness Line, Peroga, Murcia, España) sin mecanismos de contrapesos para la realización de los test como para todas las sesiones de entrenamiento (**Fig. 25**). En este tipo de máquina, la barra se desplaza a través de una guía que controla que el desplazamiento se realice con una trayectoria totalmente vertical.

Las variables mecánicas (desplazamiento, velocidad, etc.) de todas las repeticiones se han registrado con un medidor lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España). Las características de dicho dispositivo han sido descritas en el **Estudio II**.

Test de máximo número de repeticiones con una carga equivalente al 65% de 1RM (0.90 m·s⁻¹) en el ejercicio de sentadillas (Rep)

Este test consistió en realizar el máximo número de repeticiones posibles hasta alcanzar el fallo muscular en el ejercicio de SQ con una carga que correspondía aproximadamente al 65% de 1RM ($0.90 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) del Pre test. La ejecución del ejercicio de sentadillas fue similar a la del test incremental. El ritmo al cual las repeticiones fueron realizadas fue marcado verbalmente por los investigadores que a la voz de “otra” indicaban al deportista que comenzara una nueva repetición. Una pausa de aproximadamente 1 s fue establecida entre repeticiones. Además del máximo número de repeticiones (Rep) que el deportista era capaz de realizar con dicha carga, se evaluaron otras dos variables derivadas de este test de repeticiones máximas para analizar la magnitud en la cual los dos programas de entrenamiento (VL15 vs. VL45) influían sobre las diferentes zonas de la curva fuerza-velocidad: i) efecto sobre la parte de la curva fuerza-velocidad correspondiente a la primera mitad del máximo número de repeticiones realizadas en el pre-test, a partir de la velocidad media alcanzada en dicho número de repeticiones en Pre y Post-test (VMP_{1M}), ii) efecto sobre la parte de la curva fuerza-velocidad correspondiente a la segunda mitad del máximo número de repeticiones realizadas en el pre-test, a partir de la velocidad media alcanzada en dicho número de repeticiones en Pre y Post-test (VMP_{2M}).

6.2.6.3 Evaluación de la capacidad de salto vertical con contramovimiento (CMJ)

Se realizaron cinco saltos con contramovimiento (CMJ), separados por 20 s de recuperación aproximadamente y se eliminaron los dos valores extremos, es decir, el mejor y el peor, calculándose la media de los tres valores centrales. Con este tipo de salto se busca alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad realizando una flexión-extensión rápida de piernas con la mínima parada entre ambas fases. La flexión debe llegar hasta un ángulo aproximado de 90°, aunque el grado de flexión no parece determinante si los saltos son normales y se realizan con naturalidad (González-Badillo, 2005). No existe la ayuda de brazos, por lo que las manos deben quedar fijas, pegadas a las caderas. El tronco debe estar próximo a la vertical, sin un adelantamiento excesivo.

Las piernas deben permanecer rectas durante la fase de vuelo, tomando contacto con el suelo con las puntas de los pies y las rodillas extendidas (**Fig. 26**). Después de tomar contacto con el suelo se pueden flexionar las rodillas hasta un ángulo aproximado de 90°. La altura del salto fue medida usando un sistema de tiempo por infrarrojos (Optojump, Microgate, Bolzano, Italia), y fue calculada mediante el tiempo de vuelo (Bosco, Luhtanen, & Komi, 1983). Este test mostró una alta fiabilidad con un coeficiente de correlación intraclase (CCI) del orden de 0.99 y un CV de 2.3% (Rodríguez-Rosell, Mora-Custodio, Franco-Márquez, Yáñez-García, & González-Badillo, 2017).



Fig. 26. Evaluación de la altura de salto vertical (CMJ)

6.2.6.4 Evaluación del salto vertical con cargas (CMJ_c)

El CMJ también se realizó con pesos adicionales, con el fin de obtener información sobre toda la curva fuerza-velocidad (**Fig. 27**). La prueba se realizó inmediatamente después de haber terminado el CMJ sin cargas. Antes de comenzar dicha prueba se realizó calentamiento que consistía en una serie de 2 saltos con la carga con la que se iba a iniciar el test (20kg). Los saltos fueron realizados en una máquina tipo Smith (Fitness Line, Peroga, Murcia, España), descrita anteriormente. Los sujetos realizaron dos saltos con

cada una de las cargas evaluadas con un descanso de 2 minutos entre saltos. El incremento de cargas fue de entre 10 y 5 kg hasta que la velocidad máxima conseguía por el deportista fue de aproximadamente $2.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (altura del salto de aproximadamente 20 cm). La velocidad máxima de todas las repeticiones fue registrada con un medidor lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España) cuyas características ya han sido descritas en el **Estudio II** y la mejor de cada carga fue utilizada para el posterior análisis. Seleccionamos la variable velocidad máxima para la evaluación de dicho ejercicio por dos razones. En primer lugar, porque la fiabilidad absoluta del salto vertical con cargas adicionales, medida a través del tiempo de vuelo, se reduce a medida que la carga aumenta. Con cargas de 0 kg el CV fue del 4.3%, pero aumentó progresivamente a medida que el peso incrementaba hasta ser del 9.5% con 80 kg (Abernethy, Wilson, & Logan, 1995), debido probablemente, a la deficiente ejecución, casi inevitable, por el sujeto. En segundo lugar, por la velocidad máxima está estrechamente relacionada con la velocidad de despegue, la cual determina la altura del salto (Dowling & Vamos, 1993; González-Badillo & Marques, 2010; Marques & González-Badillo, 2011). Este test mostró altos valores de fiabilidad como refleja el CV (2.2%) y el CCI (0.921, 95% IC: 0.841-0.961). La velocidad máxima media con las cargas comunes en el Pre y Pos-test se utilizó como resultado de la prueba y para los análisis posteriores (V_{Max}).



Fig. 27. Evaluación de la altura de salto vertical con cargas (CMJ_c)

6.2.6.5 Test de aceleración en 10-20 m

Las mediciones se realizaron en un recinto cubierto, en una recta de 40 m acondicionada para este tipo de pruebas, con suelo de tartán. Todos los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado previo de 15 min dirigido por el investigador. El calentamiento estandarizado consistió en 5 min de trote continuo, 2 progresiones de 30 m, 2 repeticiones de 20 m al 80-90% y 1 repetición de 10 m al 100%. El descanso entre las series del calentamiento fue de 2 min. Para la medición del test, se situaron 3 marcadores a 0, 10 y 20 m a la altura del pecho. Después del calentamiento, los sujetos pasaban a realizar el test de 20 m. Se realizaron dos intentos con un descanso de 3 min entre cada intento. Los sujetos partían de una posición de pie con una pierna adelantada y colocada inmediatamente por detrás de la línea de salida que estaba situada un metro por detrás de la marca de 0 m. El tiempo de sprint en 10 y 20 m (T_{20}) fue medido con unas células fotoeléctricas (Racetime2, Microgate, Bolzano, Italia; **Fig. 28**). El mejor de los dos intentos se utilizó como resultado de la prueba y para los análisis posteriores. Las variables seleccionadas fueron tiempo en 10 m (T_{10}), tiempo en 20 m (T_{20}) y la diferencia entre en tiempo en 10 y 20 m (T_{10-20}). Este test mostró altos valores de fiabilidad como refleja el CV (2.0, 1.0 y 1.5%; para T_{10} , T_{20} y T_{10-20} , respectivamente) y el CCI (0.87, 95% IC: 0.78-0.94; 0.96, 95% IC: 0.92-0.98; 0.92, 95% IC: 0.83-0.96; para T_{10} , T_{20} y T_{10-20} , respectivamente).

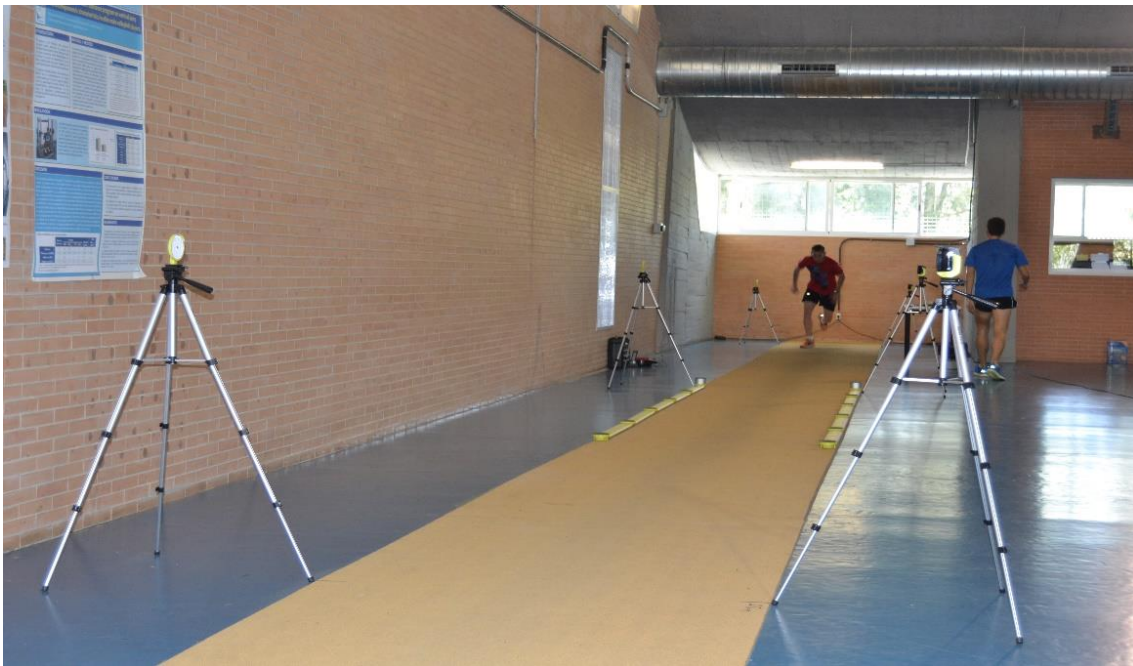


Fig. 28. Evaluación de la aceleración en 10-20 m

6.2.6.6 Evaluación del rendimiento en resistencia

Test incremental en tapiz rodante

El consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), la velocidad de consumo máximo de oxígeno (vVO_{2max}) y el tiempo límite ($Tlim_T$) fueron evaluados a través de un test de velocidad incremental en rampa realizado sobre un tapiz rodante (modelo Mercury-Med LE 300C, H/P/Cosmos, Alemania). La velocidad inicial del test fue $7 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, la cual fue incrementando $0.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 12 s hasta el agotamiento del deportista. La inclinación del tapiz fue constante a un 1% de gradiente durante todo el test. Previo a la realización del test, todos los sujetos completaron un calentamiento que consistía en 5 minutos corriendo a una velocidad de $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ con una inclinación de 0%. El flujo de aire y el intercambio gaseoso fue controlado constantemente por un analizador de gases (modelo CPX Ultima GX, Medical Graphics Corporation, Minnesota, USA) y la frecuencia cardiaca mediante un electrocardiograma (ECG) de 12 canales (Munich, Alemania). Antes de cada sesión de evaluación, el flujo de aire y el analizador de gases fueron calibrados (electrónicamente y con un gas certificado). Todos los test se llevaron a cabo entre las 9:00-12:00 de la mañana, bajo las mismas condiciones ambientales ($21-24^\circ \text{ C}$ y 44-45% de humedad relativa) y bajo la supervisión del equipo médico de Centro Andaluz de Medicina del Deporte (**Fig. 29**).

El VO_{2max} fue definido como el valor más alto de VO_2 a partir del cual pequeños ($<100 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$) o ningún incremento en el VO_2 tienen lugar a pesar del incremento en la intensidad del ejercicio (Taylor, Buskirk, & Henschel, 1955). Si dicha meseta no era alcanzada, se utilizaron criterios secundarios para indicar si un individuo ha dado un esfuerzo máximo, entre ellos: una tasa de intercambio respiratorio (RER por sus siglas en inglés), definida como el cociente entre el volumen de CO_2 expirado y el volumen de O_2 inspirado ($RER=VCO_2/VO_2$) mayor a 1.00, 1.10 o 1.15; y que la frecuencia cardiaca (FC) alcanzada se encuentre dentro de $\pm 10 \text{ lat}\cdot\text{min}^{-1}$ o $\pm 5\%$ con respecto a la FC máxima predicha según la edad. La velocidad de VO_{2max} fue definida como la velocidad mínima a la cual el VO_{2max} fue alcanzado. Finalmente, el tiempo límite ($Tlim_T$), definido como el tiempo empleado hasta alcanzar el agotamiento en el test incremental, fue tomado como otra variable para evaluar en rendimiento en resistencia.

Test incremental en pista

Para evaluar el rendimiento en resistencia realizamos una modificación del Test de la Universidad de Montreal (Leger & Boucher, 1980). Esta es una prueba de esfuerzo máximo con intensidad progresiva que se realiza en una pista de atletismo (400m) con marcadores visuales cada 25 m. La velocidad inicial fue de $9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, con un incremento constante de velocidad de $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ cada 2 minutos. La velocidad fue controlada mediante una señal sonora. El test de dio por finalizado cuando el deportista no fue capaz de seguir el ritmo marcado por la señal sonora, determinado porque el propio sujeto se paraba o porque no alcanzaba 2 marcadores consecutivos. La frecuencia cardiaca (FC) fue controlada constantemente durante el transcurso de la prueba (Polar V800, Polar Electro Oy, Kempele, Finland). La variable tiempo límite (T_{limp}), definida como tiempo empleado en alcanzar el agotamiento, fue tomada para valorar del rendimiento en este test.

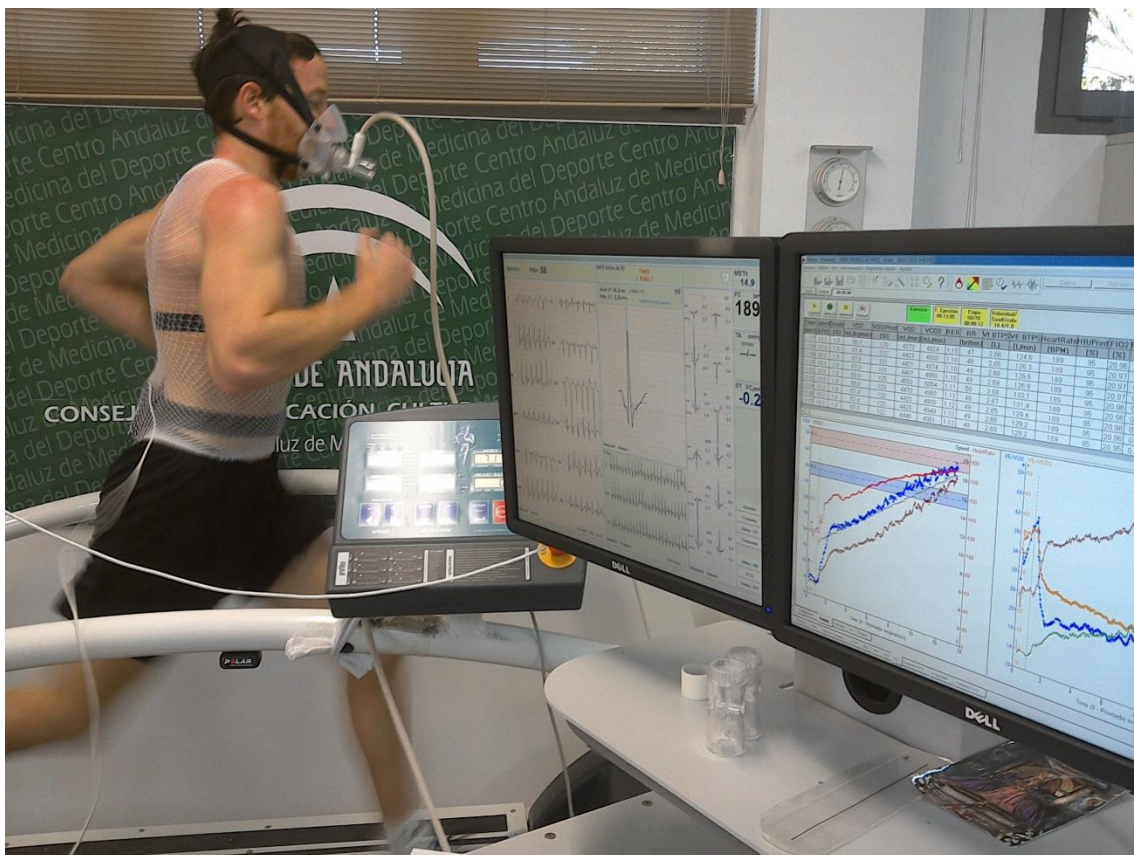


Fig. 29. Test incremental en tapiz rodante (Centro Andaluz de Medicina del Deporte)

6.2.7 Protocolo de entrenamiento

6.2.7.1 Protocolo de entrenamiento de fuerza

Las características del programada de entrenamiento de fuerza que fue realizado por los dos grupos de debían realizar dicho entrenamiento (VL15 y VL45) pueden observarse en la **tabla 14**. Ambos grupos entrenaron únicamente con el ejercicio de SQ como ha sido descrito previamente. Se realizó un total de 16 sesiones de entrenamiento (2 sesiones / semana). La intensidad relativa (% 1RM) de las cargas de entrenamiento, número de series (2-3 series) y tiempo de recuperación entre series (3-4 min) fue idéntico para ambos grupos en cada sesión de entrenamiento. Las intensidades relativas fueron determinadas a partir de la velocidad media propulsiva (VMP) del movimiento debido a la relación existente entre esta y el %1RM (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina, et al., 2011; Sánchez-Medina, et al., 2014). Por tanto, se programaba alcanzar una VMP determinada en la primera repetición (normalmente la más rápida) de la primera serie de cada sesión, la cual era usada para estimar el % 1RM con el que iba a entrenar. Las velocidades e intensidades relativas utilizadas fueron: $0.98 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~60% 1RM), $0.82 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~70% 1RM), $0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~75% 1RM) y $0.68 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~80% 1RM). Por tanto, se realizó un entrenamiento de fuerza basado en la velocidad, en lugar del entrenamiento de fuerza tradicional basado en una carga fijada de antemano (González-Badillo, Rodríguez-Rosell, Sánchez-Medina, Gorostiaga, & Pareja-Blanco, 2014; Pareja-Blanco, et al. 2014; Pareja-Blanco et al., 2016; Pareja-Blanco, Rodríguez-Rosell, Sánchez-Medina, Ribas-Serna, et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2016). Esta metodología permite ajustar individualmente la carga absoluta (kg) hasta alcanzar la velocidad asociada ($\pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) al % 1RM con el cual está previsto entrenar en esa sesión. Por tanto, ambos grupos entrenaron usando el mismo % 1RM en cada sesión, el cual aumentó progresivamente desde el 60 hasta el 80% 1RM durante el transcurso del estudio (**Tabla 15**), pero difirieron en el grado de fatiga neuromuscular experimentada durante las series de entrenamiento, el cual fue objetivamente estimado por la pérdida de velocidad alcanzada en cada serie (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). El grupo VL45 no comenzó perdiendo un 45% desde la primera sesión realizada con cada intensidad, sino que se realizaba una progresión en el grado de fatiga inducido en la serie. De manera que con las dos primeras intensidades (60 y 70% 1RM) se realizaron dos sesiones con una pérdida de velocidad en la serie del 40%, y dos sesiones con una pérdida de velocidad del 45%. Una pérdida de velocidad del

45% en el ejercicio de SQ implica realizar repeticiones muy próximas al fallo muscular (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Por el contrario, una pérdida de velocidad en la serie del 15% corresponde aproximadamente a la mitad del máximo número posible de repeticiones realizables en la serie en el ejercicio de SQ (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Durante los entrenamientos, se proporcionó a los participantes feedback inmediato acerca de la velocidad alcanzada en cada repetición además de animarlos a realizar cada repetición a la máxima velocidad posible.

El calentamiento que precedía a cada sesión de entrenamiento fue estandarizado para ambos grupos como sigue: 5 min de trote continuo más 3 min de movilización de los miembros inferiores, seguidos por dos series de 6 y 4 repeticiones de SQ con cargas del 40% y 50% 1RM, respectivamente, para las sesiones 1-4; se añadió una serie adicional de 2 repeticiones con el 60% 1RM para las sesiones 5-8; una serie adicional de 2 repeticiones con el 65% 1RM para las sesiones 9-12 y finalmente una serie de 1 repetición con el 75% 1RM para las sesiones 13-16. Se usó un descanso de 2 min entre las series de calentamiento en el ejercicio de SQ.

Tabla 15. Características del programa de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad realizado por ambos grupos experimentales

Programado	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6	Sesión 7	Sesión 8
Series x VL (%)								
VL15	2x15%	3x15%	3x15%	3x15%	2x15%	3x15%	3x15%	3x15%
VL45	2x40%	3x40%	3x45%	3x45%	2x40%	3x40%	3x45%	3x45%
VMP objetivo de la 1ª repetición (m·s⁻¹)	0,98 (~60% IRM)							
Realizado	0,82 (~70% IRM)							
Mejor VMP (%IRM)								
VL15	0.99 ± 0.03 (~59% IRM)	1.00 ± 0.04 (~58% IRM)	0.98 ± 0.03 (~60% IRM)	1.00 ± 0.04 (~58% IRM)	0.82 ± 0.03 (~70% IRM)	0.83 ± 0.03 (~70% IRM)	0.84 ± 0.04 (~69% IRM)	0.83 ± 0.04 (~70% IRM)
VL45	1.00 ± 0.04 (~58% IRM)	0.98 ± 0.05 (~60% IRM)	0.97 ± 0.03 (~61% IRM)	0.98 ± 0.04 (~60% IRM)	0.83 ± 0.03 (~70% IRM)	0.82 ± 0.03 (~70% IRM)	0.82 ± 0.03 (~70% IRM)	0.83 ± 0.01 (~70% IRM)
VL (%)								
VL15	15.8 ± 3.1	15.5 ± 2.3	15.2 ± 2.4	14.8 ± 2.6	14.7 ± 2.4	15.3 ± 2.9	18.0 ± 6.4	16.2 ± 3.7
VL45	39.6 ± 2.1	39.7 ± 3.9	43.7 ± 2.0	45.2 ± 4.0	39.7 ± 4.0	38.5 ± 2.8	43.2 ± 3.0	42.1 ± 3.5
Repeticiones por serie								
VL15	5.8 ± 2.1	5.7 ± 1.7	5.7 ± 2.1	5.7 ± 1.4	4.0 ± 1.1	4.2 ± 0.8	4.3 ± 1.3	4.1 ± 1.2
VL45	15.5 ± 6.0	12.8 ± 4.8	14.2 ± 6.4	15.1 ± 5.9	9.7 ± 3.4	8.8 ± 3.2	9.1 ± 2.8	9.3 ± 2.9
Programado	Sesión 9	Sesión 10	Sesión 11	Sesión 12	Sesión 13	Sesión 14	Sesión 15	Sesión 16
Series x VL (%)								
2x15%	2x15%	2x45%	3x15%	3x15%	2x15%	2x15%	3x15%	3x15%
2x40%	2x45%	3x45%	3x45%	3x45%	2x40%	2x45%	3x45%	3x45%
VMP objetivo de la 1ª repetición (m·s⁻¹)	0,75 (~75% IRM)							
Realizado	0,68 (~80% IRM)							
Mejor VMP (%IRM)								
VL15	0.76 ± 0.04 (~75% IRM)	0.77 ± 0.04 (~73% IRM)	0.76 ± 0.02 (~75% IRM)	0.69 ± 0.02 (~80% IRM)	0.69 ± 0.04 (~80% IRM)	0.68 ± 0.03 (~80% IRM)	0.69 ± 0.02 (~80% IRM)	0.82 ± 0.12 (~70% IRM)
VL45	0.76 ± 0.03 (~75% IRM)	0.78 ± 0.03 (~73% IRM)	0.75 ± 0.02 (~75% IRM)	0.69 ± 0.03 (~80% IRM)	0.69 ± 0.02 (~80% IRM)	0.68 ± 0.03 (~80% IRM)	0.71 ± 0.03 (~78% IRM)	0.82 ± 0.11 (~70% IRM)
VL (%)								
VL15	18.0 ± 5.4	17.6 ± 3.6	18.6 ± 4.8	21.1 ± 10.0	19.0 ± 5.3	19.9 ± 4.4	18.1 ± 6.4	17.1 ± 4.9
VL45	39.2 ± 4.3	44.6 ± 3.8	43.1 ± 2.5	39.6 ± 2.6	43.4 ± 3.1	45.4 ± 4.7	46.8 ± 6.3	42.3 ± 4.3
Repeticiones por serie								
VL15	3.6 ± 0.8	3.8 ± 0.9	3.5 ± 0.6	3.2 ± 1.1	3.2 ± 0.6	3.3 ± 0.8	3.3 ± 0.9	4.2 ± 1.5
VL45	8.2 ± 2.5	8.5 ± 2.7	7.5 ± 2.3	6.0 ± 2.3	6.5 ± 2.2	6.6 ± 2.3	6.9 ± 2.5	9.1 ± 2.8

Los datos son expresados como media ± desviación típica. Sólo un ejercicio (sentadilla completa) fue usado para el entrenamiento

6.2.7.2 Protocolo de entrenamiento de resistencia

Las características del programada de entrenamiento de resistencia realizado por los tres grupos experimentales pueden observarse en la **tabla 16**. Se realizó un total de 16 sesiones de entrenamiento (2 sesiones / semana). La intensidad relativa (% $v\text{VO}_{2\text{max}}$) del entrenamiento, número de series, tiempos de carrera y tiempos de recuperación entre series fueron idénticos para todos los grupos en cada sesión de entrenamiento. Las intensidades relativas fueron determinadas a partir de la velocidad individual a la que cada sujeto alcanzó el $\text{VO}_{2\text{max}}$. Las distancias que cada sujeto debía cubrir fue calculada en función a la velocidad a la que correspondía entrenar en cada sesión. Por ejemplo, si un sujeto tenía una $v\text{VO}_{2\text{max}}$ de $20 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ y la velocidad de entrenamiento correspondía al 80% de la $v\text{VO}_{2\text{max}}$, se calculaba en primer lugar la velocidad de entrenamiento ($(20\times 80)/100=16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$). Una vez conocida la velocidad de entrenamiento se calculaba la distancia que tenía que cubrir en el tiempo de la serie correspondiente. Si, por ejemplo, las series eran de 8 minutos, se pasaban los minutos a segundos y se multiplicaba por la velocidad en $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$, para finalmente multiplicar por 1000 y ya se obtenía la distancia en metros ($[8/60\times 16]\times 1000=1707\text{m}$). Cada una de estas distancias fueron ajustadas con un odómetro (MW1, UMAREX GmbH & Co. KG, Alemania) y señaladas mediante marcas visuales. Todos los entrenamientos fueron realizados en una pista de atletismo de 400 m bajo la supervisión de uno de los investigadores principales. La frecuencia cardiaca fue registrada durante todas las sesiones a través de un pulsómetro (Polar V800, Polar Electro Oy, Kempele, Finland).

Tabla 16. Características del programa de entrenamiento de resistencia

Programado	Sesión 1	Sesión 2	Sesión 3	Sesión 4	Sesión 5	Sesión 6	Sesión 7	Sesión 8
S x T	4x8	5x8	6x5	7x5	4x4	5x4	4x3	5x3
Desc. (min)	2	2	2	2	2	2	2	2
Int. objetivo (%vVO _{2max})	80	80	85	85	90	90	95	95
Realizado								
Intensidad media (%vVO _{2max})								
VL15	80.1 ± 0.9	79.7 ± 1.2	84.3 ± 1.1	83.8 ± 1.5	89.5 ± 2.4	89.4 ± 1.8	94.3 ± 2.0	93.5 ± 2.3
VL45	79.9 ± 1.8	79.4 ± 2.0	83.0 ± 4.5	85.1 ± 1.9	89.5 ± 2.5	89.6 ± 2.9	96.1 ± 4.1	94.0 ± 3.4
GC	79.9 ± 1.8	80.5 ± 1.1	84.1 ± 2.8	83.4 ± 3.3	90.0 ± 2.9	89.9 ± 1.9	95.4 ± 2.5	93.4 ± 2.6
	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}
VL15	30.2 ± 4.0	88.2 ± 2.7	37.9 ± 3.9	87.6 ± 2.9	29.7 ± 1.4	86.6 ± 2.9	33.8 ± 4.0	85.6 ± 2.3
VL45	31.1 ± 2.3	88.3 ± 3.6	40.1 ± 0.9	87.5 ± 2.9	27.9 ± 4.3	86.3 ± 2.6	34.6 ± 2.1	86.3 ± 2.3
GC	30.2 ± 6.1	87.7 ± 2.5	39.9 ± 0.6	87.5 ± 2.9	30.3 ± 0.7	86.0 ± 3.8	35.2 ± 1.9	84.3 ± 3.9
	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}
VL15	15.1 ± 0.3	85.4 ± 3.2	12.1 ± 1.2	85.2 ± 2.2	15.1 ± 0.3	85.4 ± 2.7	15.1 ± 0.3	85.4 ± 2.7
VL45	15.2 ± 0.6	86.7 ± 2.5	12.0 ± 0.3	85.1 ± 1.9	15.2 ± 0.6	86.7 ± 2.5	12.0 ± 0.3	85.1 ± 1.9
GC	15.0 ± 0.9	84.9 ± 4.2	11.9 ± 0.3	84.9 ± 3.5	15.0 ± 0.9	84.9 ± 4.2	11.9 ± 0.3	84.9 ± 3.5
	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}
Programado								
S x T	5x2	6x2	4x1	6x1	8x30	12x30	10x20	14x20
Desc. (min)	2	2	2	2	1	1	1	1
Int. objetivo (%vVO _{2max})	100	100	105	105	110	110	120	120
Realizado								
Intensidad media (%vVO _{2max})								
VL15	99.9 ± 2.7	99.2 ± 2.4	112.9 ± 5.0	111.2 ± 3.8	118.1 ± 4.6	118.5 ± 4.9	132.7 ± 11.7	130.6 ± 5.9
VL45	100.0 ± 5.5	99.7 ± 3.7	114.9 ± 5.1	112.3 ± 3.9	118.9 ± 5.8	119.0 ± 6.3	130.9 ± 9.1	128.6 ± 6.5
GC	100.5 ± 2.4	100.4 ± 2.4	114.5 ± 4.3	110.8 ± 4.2	120.4 ± 6.6	118.3 ± 4.6	130.1 ± 5.7	128.0 ± 4.3
	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}
VL15	9.9 ± 0.2	84.0 ± 2.5	12.0 ± 0.3	83.8 ± 3.1	3.8 ± 0.2	79.0 ± 4.0	5.7 ± 0.2	78.5 ± 4.0
VL45	9.8 ± 0.7	84.2 ± 2.0	11.7 ± 1.0	84.8 ± 3.2	3.7 ± 0.2	80.1 ± 3.2	5.6 ± 0.3	80.2 ± 2.6
GC	10.0 ± 0.3	84.7 ± 4.0	12.1 ± 0.3	83.2 ± 3.6	3.7 ± 0.1	79.6 ± 3.1	5.7 ± 0.3	78.4 ± 4.0
	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}	TT	FC _{Med}
VL15	3.1 ± 0.1	82.3 ± 3.0	5.5 ± 0.2	84.9 ± 3.1	5.5 ± 0.2	84.9 ± 3.1	5.5 ± 0.2	84.9 ± 3.1
VL45	3.1 ± 0.2	83.2 ± 2.3	3.1 ± 0.1	81.6 ± 4.3	5.3 ± 0.5	80.1 ± 4.6	5.3 ± 0.5	80.1 ± 4.6
GC	3.1 ± 0.1	81.6 ± 4.3	5.3 ± 0.5	80.1 ± 4.6	5.3 ± 0.5	80.1 ± 4.6	5.3 ± 0.5	80.1 ± 4.6

Datos expresados como media ± desviación típica

S: Número de series; T: tiempo de la serie (minutos, excepto en las sesiones 13, 14, 15 y 16, el cual es segundos); Desc: Descanso entre series; vVO_{2max}: velocidad asociada al VO_{2max}; Intensidad media (%vVO_{2max}); VL15: grupo que entreno con una pérdida de velocidad dentro de la serie del 15% (n = 11); VL45: grupo que entreno con una pérdida de velocidad dentro de la serie del 45% (n = 11); GC: Grupo control (n = 11); TT: tiempo total de entrenamiento (min); FC_{Med}: frecuencia cardiaca media alcanzada durante la serie (lat·min⁻¹)

6.2.8 Plan de trabajo

Debido a la complejidad y la duración del Estudio III, se hace necesario una descripción detallada tanto de las jornadas de evaluación como de las sesiones de entrenamiento.

Jornadas de evaluación

Debido al elevado número de evaluaciones que fueron realizadas, todos los sujetos participaron en 4 sesiones las cuales fueron repartidas a lo largo de 2 semanas. Durante la primera semana se llevaron a cabo las evaluaciones antropométricas, capacidad de aceleración, salto vertical y fuerza del miembro inferior. Todas estas evaluaciones fueron divididas en 2 sesiones (**Tabla 17**).

- Sesión 1. Evaluaciones antropométricas. Realizada en lunes y martes todos los deportistas en un único día en horario de mañana (9:00 a 13:00 horas).
- Sesión 2. Evaluación de la capacidad de aceleración, salto vertical y fuerza del miembro inferior, en el mismo orden como es indicado. Dicha evaluación fue realizada los días miércoles, jueves, viernes y sábado. Todos los sujetos fueron distribuidos en grupos de 3 componentes como máximo, con una duración aproximada de 2 horas por grupo. Se realizaron 4 evaluaciones por días en los horarios de 10:00 a 12:00, 12:00 a 14:00, 16:00 a 18:00 y 18:00 a 20:00 horas.

Tabla 17. Esquema temporal de las sesiones de evaluación correspondientes a la semana 1 llevadas a cabo en el Estudio III

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
9:00 a 10:00	Antrop.					
10:00 a 11:00		F	F	F	F	F
11:00 a 12:00		F	F	F	F	F
12:00 a 13:00		F	F	F	F	F
13:00 a 14:00		F	F	F	F	
16:00 a 17:00		F	F	F	F	
17:00 a 18:00		F	F	F	F	
18:00 a 19:00		F	F	F	F	
19:00 a 20:00						

Antrop: medidas antropométricas; F: Evaluación de la capacidad de aceleración, salto vertical y fuerza del miembro inferior

Durante la segunda semana de evaluación se llevaron a cabo las evaluaciones de resistencia. La sesión 3 de evaluación consistió en el test incremental en tapiz rodante. Tras 48-72h de descanso, se realizó la sesión 4 de evaluación correspondiente al Test de la Universidad de Montreal (TUM). Las sesiones 3 y 4 fueron repartidas a lo largo de 6 días (de lunes a sábado), de tal forma que si, por ejemplo, un sujeto realizaba el test incremental el lunes, no podía realizar el Test de la Universidad de Montreal hasta el miércoles (**Tabla 18**).

- Sesión 3. Test incremental en tapiz rodante. Realizada en horario de mañana (9:00 a 14:00) entre los días lunes, martes, miércoles y jueves. Cada evaluación tuvo una duración de 30 minutos.
- Sesión 4. Test de la universidad de Montreal. Esta prueba fue realizada con un descanso de 48-72 horas después del test incremental. Dicho test fue realizado los días miércoles, jueves, viernes y sábado en horario de mañana y tarde. Los sujetos fueron agrupados en grupos de 5 sujetos como máximo. El test tuvo una duración aproximada de 40 minutos.

La hora a la que cada sujeto realizó los distintos test fue registrada con la finalidad de ser repetida ($\pm 1h$) en el test final (Post).

Tabla 18. Esquema temporal de las sesiones de evaluación correspondientes a la semana 2 llevadas a cabo en el Estudio III

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
9:00 a 10:00	Inc.	Inc.	Inc. y TUM	Inc. y TUM	TUM	TUM
10:00 a 11:00						
11:00 a 12:00						
12:00 a 13:00						
13:00 a 14:00						
16:00 a 17:00			TUM	TUM		
17:00 a 18:00						
18:00 a 19:00						
19:00 a 20:00						

Inc: test incremental en tapiz rodante. TUM: Test de la universidad de Montreal

Jornadas de entrenamiento

Las sesiones de entrenamiento tanto de fuerza como de resistencia fueron distribuidas como aparece en la **Tabla 19**.

- Entrenamiento de fuerza: las sesiones de fuerza fueron realizadas los días lunes y jueves, tanto en horario de mañana como de tarde en el Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportivo de la Universidad Pablo de Olavide, bajo la supervisión de uno de los investigadores principales. Los grupos de entrenamientos fueron de tres sujetos como máximo para permitir que los tiempos de descanso entre series fueran respetados. La sesión de entrenamiento tuvo una duración de aproximadamente 40 minutos.
- Entrenamiento de resistencia: las sesiones de resistencia, fueron realizadas los días martes y viernes en horario de mañana y tarde en una pista de atletismo de 400 m. Se crearon grupos de entrenamiento de 10 sujetos como máximo para poder registrar la frecuencia cardiaca de cada sujeto durante todas las sesiones de entrenamiento. La sesión de entrenamiento de resistencia tuvo una duración aproximada de 40 minutos. Aquellos grupos que realizaban ambos tipos de entrenamientos (VL15 y VL45) realizaron un descanso de 24-48 horas entre los diferentes tipos de sesiones mientras que el grupo que realizó solo el entrenamiento de resistencia realizó un descanso de aproximadamente 72 horas entre sesiones.

Tabla 19. Esquema temporal de las sesiones de entrenamiento llevadas a cabo en el Estudio III

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
10:00 a 11:00	EF		Descanso	EF	
11:00 a 12:00					
12:00 a 13:00		ER			ER
13:00 a 14:00					
16:00 a 17:00					
17:00 a 18:00					
18:00 a 19:00	EF	ER	Descanso	EF	ER
19:00 a 20:00					
20:00 a 21:00					
21:00 a 22:00					

EF: entrenamiento de fuerza. ER: entrenamiento de resistencia.

6.2.9 Tratamiento estadístico

Análisis descriptivo.

Para la descripción de los datos se emplearon métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medias, desviaciones típicas (SD) y el coeficiente de variación (CV, %). La homogeneidad de varianzas entre grupos se verificó usando el test de Levene. La

normalidad de la distribución en cada una de las variables se comprobó mediante la prueba de Shapiro-Wilk.

Análisis de la varianza.

Los datos fueron analizados utilizando un ANOVA factorial 3x2 con medidas repetidas y ajuste de Bonferroni's para identificar las posibles diferencias significativas, usando un factor entre grupos (VL15, VL45, GC) y un factor intra-grupos (Pre vs. Post). Se usó el paquete estadístico SPSS 18.0 para el análisis.

Análisis basado en la magnitud del cambio.

Además de este análisis de hipótesis nula, se realizó un análisis basado en la magnitud de cambio. El tamaño del efecto (TE) se calculó usando la *g* de Hedges para estimar la magnitud del efecto del entrenamiento sobre las diferentes variables dentro de cada grupo, como sigue: $g = (\text{Test 2} - \text{Test 1}) / \text{SD combinada}$ (Hedges & Olkin, 1985). Las diferencias estandarizadas o los tamaños del efecto (TE) para los cambios en las variables dependientes entre grupos (VL15 vs. VL45, VL15 vs. GC, VL45 vs. GC) se calcularon usando los valores de la desviación típica del Pre combinada de ambos grupos (Cohen, 1988). Para las comparaciones entre grupos, se calculó la probabilidad de que los valores reales (desconocidos) para cada grupo experimental fuesen *beneficioso/mejor* (por ej. Mayor que el mínimo cambio apreciable [$0.2 \times \text{SD entre-sujetos del Pre}$, basado en el principio de TE de Cohen (Cohen, 1988)]), *no claro*, *perjudicial/peor* para el rendimiento. La probabilidad cuantitativa de que un efecto fuese *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* se calculó cualitativamente como sigue: <1%, casi seguro que no; 1-5%, muy poco probable; 5-25%, poco probable; 25-75%, posible; 75-95%, probable; 95-99%, muy probable; y >99%, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* fueron ambas >5%, la verdadera diferencia fue evaluada como *no clara* (Batterham & Hopkins, 2006; Hopkins et al., 2009). Para el análisis basado en la magnitud de cambio se usó una hoja de Excel (Hopkins, 2006).

Significatividad.

En todos los casos en que se estableció una relación entre variables o se contrastaron las diferencias entre medias se consideraron significativas si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ($P \leq 0.05$).

6.3 Resultados

No se observaron diferencias significativas en las variables dependientes entre los diferentes grupos experimentales (VL15, VL45 y GC) en el test inicial (Pre) las cuales mostraron homogeneidad de la varianza. Las características descriptivas del entrenamiento de fuerza realizado por VL15 y VL45 se muestran en la **tabla 15**. En la **Fig. 30** puede observarse el número total de repeticiones y las repeticiones realizadas en los diferentes rangos de velocidades (sin incluir las repeticiones realizadas durante el calentamiento). Mientras que en la **Fig. 31** se detallan el número total de repeticiones y las repeticiones realizadas en los diferentes rangos de velocidades incluyendo las repeticiones realizadas durante el calentamiento. Los sujetos pertenecientes al grupo VL15 entrenaron a mayor velocidad media que los pertenecientes al grupo VL45 (0.76 ± 0.03 vs. 0.67 ± 0.02 m·s⁻¹, respectivamente; $P < 0.001$), mientras que el grupo VL45 realizó significativamente más repeticiones que el grupo VL15 (401.6 ± 121.1 vs. 177.1 ± 38.5 , respectivamente; $P < 0.001$). La velocidad media de la repetición más rápida durante cada sesión, la cual indica la intensidad relativa (%1RM) de la carga que está siendo levantada, fue similar para ambos grupos (0.82 ± 0.12 y 0.82 ± 0.12 m·s⁻¹ para VL15 y VL45, respectivamente) y las velocidades de las repeticiones iniciales coincidieron con las velocidades objetivo esperadas para cada sesión. Finalmente, la magnitud media de la pérdida de velocidad fue muy similar a la prevista para cada grupo ($42.3 \pm 1.8\%$ vs. $17.1 \pm 2.4\%$ para VL45 y VL15, respectivamente, **Tabla 15**).

Las características descriptivas del entrenamiento de resistencia realizado por los tres grupos (VL15, VL45 y GC) se muestran en la **tabla 16**. No existieron diferencias significativas en la intensidad media (%vVO_{2max}), en el tiempo total de entrenamiento (TT), en la frecuencia cardiaca media (FC_{Med}) (**Tabla 16**) y en la distancia media recorrida durante las sesiones de entrenamiento entre los distintos grupos experimentales (**Fig. 32**).

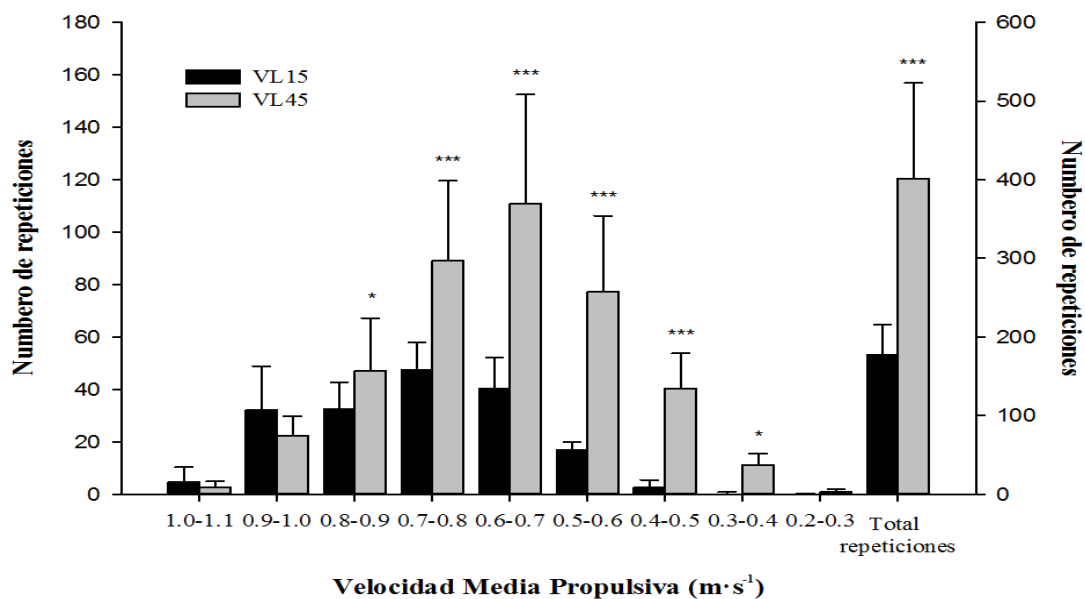


Fig. 30. Número de repeticiones realizado en cada rango de velocidad en el ejercicio de sentadilla con las intensidades máximas de cada sesión y el número total de repeticiones realizado por cada grupo de entrenamiento con dichas intensidades. Los datos son expresados como media \pm desviación típica. Diferencias estadísticamente significativas entre grupos en cada rango: ** P < 0.01, *** P < 0.001. VL15: grupo que entrenó con una pérdida de velocidad del 15% en cada serie (n = 11); VL45: grupo que entrenó con una pérdida de velocidad del 45% en cada serie (n = 11). Las repeticiones realizadas durante el calentamiento han sido excluidas del análisis

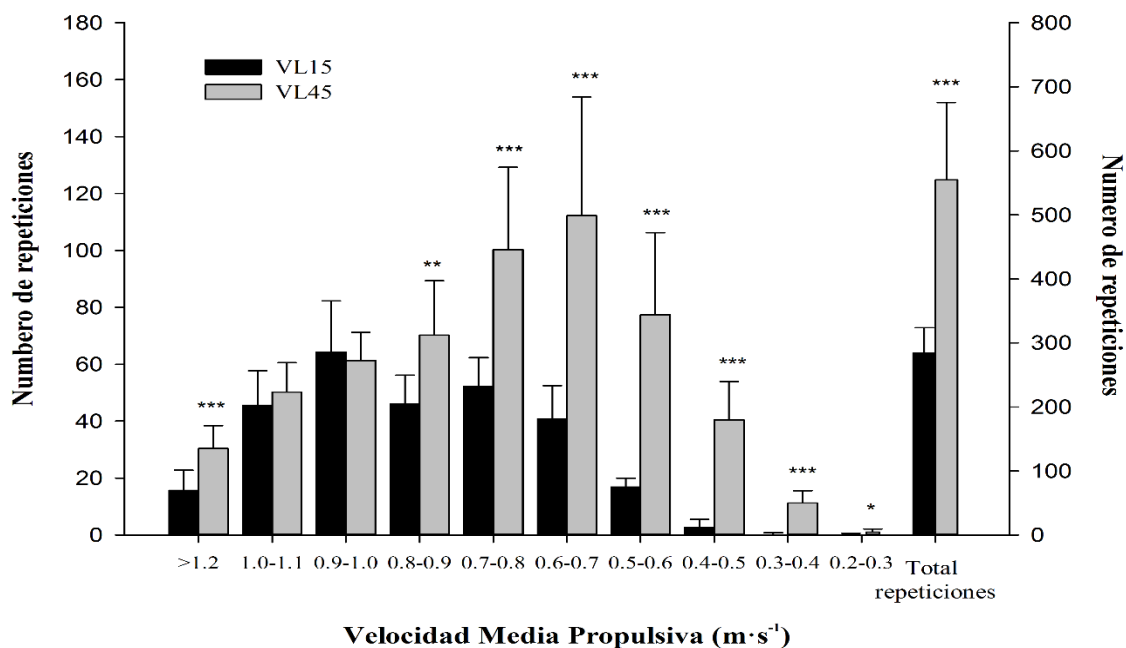


Fig. 31. Número de repeticiones realizado en cada rango de velocidad en el ejercicio de sentadilla con las intensidades máximas de cada sesión y el número total de repeticiones realizado por cada grupo de entrenamiento con dichas intensidades. Los datos son expresados como media \pm desviación típica. Diferencias estadísticamente significativas entre grupos en cada rango: * P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001. VL15: grupo que entrenó con una pérdida media de velocidad del 15% en cada serie (n = 11); VL45: grupo que entrenó con una pérdida de velocidad del 45% en cada serie (n = 11); GC: grupo que realizó únicamente en entrenamiento de resistencia (n = 11). Las repeticiones realizadas durante el calentamiento han sido incluidas en el análisis

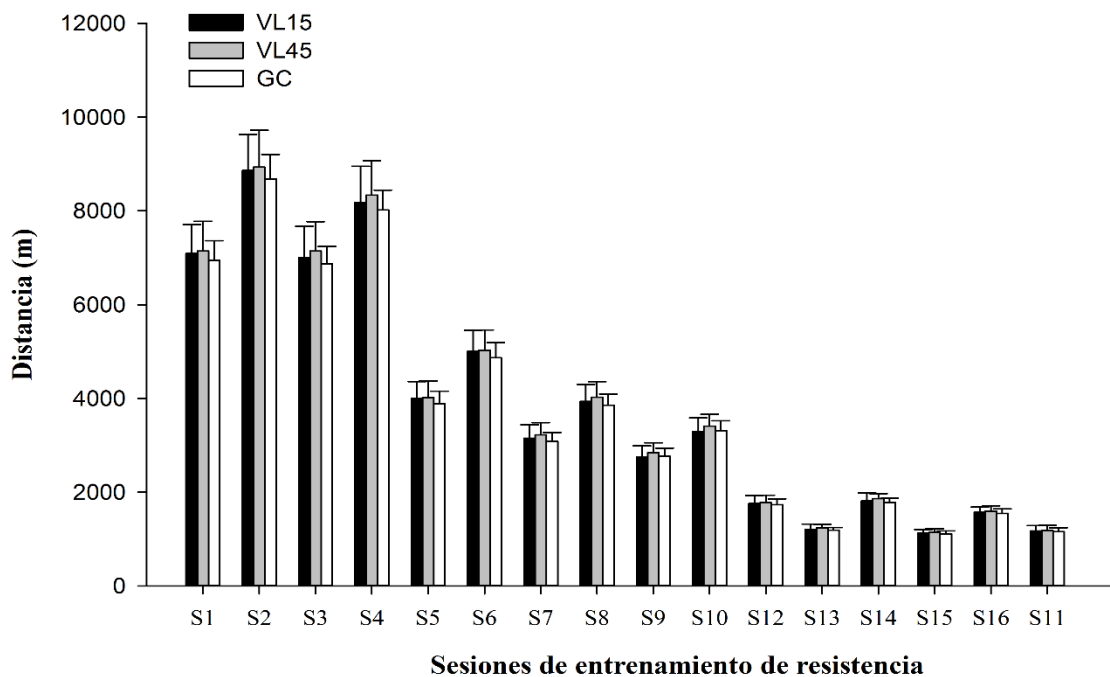


Fig. 32. Distancia media recorrida durante las 16 sesiones de entrenamiento de resistencia realizada por los 3 grupos experimentales

6.3.1 Efectos sobre la composición corporal

No se observaron diferencias significativas en la masa corporal tras las ocho semanas de entrenamiento (**Tabla 20**).

Tanto en el porcentaje graso como en el peso graso descendieron significativamente en los grupos VL45 y GC (**Tabla 20**), sin observarse diferencias significativas entre grupos. No tuvo lugar una interacción 'grupo' x 'tiempo' para el porcentaje y la masa grasa.

Con respecto al porcentaje muscular, tanto el grupo VL15 como VL45 incrementaron significativamente tras el periodo experimental (**Tabla 20**), sin observarse diferencias significativas entre grupos. No tuvo lugar una interacción 'grupo' x 'tiempo' para el porcentaje muscular.

Tanto el porcentaje muscular como la masa libre de grasa no cambió significativamente en ninguno de los grupos experimentales (**Tabla 20**).

Finalmente, el sumatorio de 5 pliegues disminuyó significativamente en los tres grupos experimentales (**Tabla 20**), sin observarse diferencias significativas entre grupos. No tuvo lugar una interacción 'grupo' x 'tiempo' para el porcentaje muscular.

Tabla 20. Cambios en las variables relacionadas con la composición corporal tras 8 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia

	VL15 (n = 11)			VL45 (n = 11)			GC (n = 11)		
	Pre	Post	Δ (%)	Pre	Post	Δ (%)	Pre	Post	Δ (%)
Masa corporal (kg)	73.9 ± 9.9	73.9 ± 9.5	0.0 (-0.04 a 0.05)	72.3 ± 4.5	72.0 ± 3.9	-0.5	75.2 ± 7.2	741.5 ± 7.1	-0.9 (-0.22 a 0.03)
Porcentaje grasa (%)	11.9 ± 2.6	11.6 ± 2.6	-3.0 (-0.22 a -0.05)	12.4 ± 1.6	11.8 ± 1.5**	-4.7	12.6 ± 1.8	12.2 ± 1.5*	-3.2 (-0.53 a 0.03)
Peso grasa (kg)	9.0 ± 3.2	8.7 ± 3.1	-3.1 (-0.140 a -0.03)	8.9 ± 1.2	8.5 ± 1.0*	-5.6	9.6 ± 2.0	9.2 ± 1.7*	-4.5 (-0.47 a 0.03)
Porcentaje muscular (%)	48.5 ± 2.1	48.9 ± 2.1*	0.8 (0.06 a 0.29)	47.8 ± 1.7	48.3 ± 1.5**	1.0	47.7 ± 1.7	48.0 ± 1.6	0.5 (-0.10 a 0.39)
Peso muscular (kg)	35.8 ± 4.2	36.0 ± 3.9	0.8 (-0.01 a 0.15)	34.6 ± 2.2	34.8 ± 1.9	0.6	35.8 ± 3.0	35.7 ± 3.1	-0.3 (-0.16 a 0.08)
Masa libre de grasa (kg)	64.9 ± 7.2	65.4 ± 6.8	0.5 (-0.02 a 0.10)	63.4 ± 4.3	63.5 ± 4.0	0.2	65.6 ± 5.7	65.4 ± 5.8	0.4 (-0.13 a 0.05)
Sumatorio 5 pliegues	47.1 ± 20.5	43.9 ± 19.3*	-7.3 (-0.26 a -0.06)	49.4 ± 11.4	44.6 ± 10.6**	-10.8	51.5 ± 13.1	47.8 ± 11.1*	-7.6 (-0.62 a 0.01)

Los datos son expresados como media ± desviación típica. TE: tamaño del efecto. IC 95%: intervalo de confianza al 95%
 VL15: grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie (n = 11); VL45: grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 45% dentro de la serie (n = 11); GC: grupo que solo realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (n = 11). * P < 0.05, ** P < 0.01

6.3.2 Efectos del entrenamiento sobre el rendimiento en fuerza

6.3.2.1 Velocidad media propulsiva con las cargas comunes (VMP_C)

Después del periodo de entrenamiento, la VMP_C incremento significativamente en los grupos VL15 y VL45 mientras que el GC experimento un descenso significativo. Se observaron diferencias significativas entre los grupos VL15 y VL45 con respecto al grupo GC (**Tabla 21**). Se observó una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ significativa ($P < 0.01$) en la VMP_C, con un incremento significativo ($P < 0.001$) de mayor magnitud para VL15 (13.1%) y VL45 (10.4%) que el encontrado para el GC (-4.3%; **Fig. 33**).

El análisis basado en la magnitud del cambio reveló un “*casi seguro*” mejor efecto para el entrenamiento realizado por el grupo VL15 y VL45 en VMP_C que el entrenamiento realizado por GC (TE: 2.11; IC 90% [1.64 a 2.57], y TE: 1.64; IC 90% [1.08 a 2.11], respectivamente), mientras que el entrenamiento realizado por VL15 mostró un “*no claro*” mejor efecto sobre VMP_C que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: 0.27; IC 90% [-0.32 a 0.85], **Fig. 34**).

Además, la VMP con cargas ligeras ($\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) incrementó significativamente en los grupos VL15 y VL45 mientras que en el grupo GC permaneció sin cambios, hallándose diferencias significativas entre VL15 y GC (**Tabla 21**). Se observó una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ significativa ($P < 0.01$) en $VMP_{\geq 1}$ con una magnitud de incremento significativamente mayor ($P < 0.05$) para VL15 (5.9%) que la obtenida por GC (-1.3%) (**Fig. 33**).

El entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “*probable/casi seguro*” mayor efecto sobre el rendimiento en $VMP_{\geq 1}$ que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: 0.46; IC 90% [-0.09 a 1.01]) y GC (TE: 1.22; IC 90% [0.79 a 1.64]). Además, el entrenamiento realizado por VL45 mostró un “*casi seguro*” mejor efecto sobre el rendimiento en $VMP_{\geq 1}$ que el entrenamiento realizado por GC (TE: 0.77; IC 90% [0.22 a 1.32], **Fig. 34**).

Con respecto a la VMP con cargas pesadas ($< 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), se observó un incremento significativo en los grupos VL15 y VL45, mientras que el grupo GC experimentó un descenso significativo. Se observaron diferencias significativas tras el periodo de entrenamiento entre VL15 y VL45 con respecto al grupo GC (**Tabla 21**). Además, tuvo lugar una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ significativa ($P < 0.001$) en la $VMP_{< 1}$ con un

incremento significativamente mayor ($P < 0.001$) observado para VL15 (22.7%) y VL45 (20.8%) que el obtenido por GC (-8.9%; **Fig. 33**).

Por último, el entrenamiento realizado por VL15 y VL45 reveló un “*casi seguro*” mayor efecto sobre el rendimiento en VMP<1 que el entrenamiento realizado por el grupo GC (TE: 2.36; IC 90% [1.79 a 2.93], y TE: 2.17; IC 90% [1.60 a 2.74]), mientras que el entrenamiento realizado por VL15 mostró un “*no claro*” menor efecto sobre VMP<1 que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: 0.14; IC 90% [-0.66 a 0.95], **Fig. 34**).

Tabla 21. Cambios en las variables relacionadas con el rendimiento en fuerza tras 8 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia

	VL15 (n = 11)			VL45 (n = 11)			GC (n = 11)				
	Pre	Post	Δ (%)	Pre	Post	Δ (%)	Pre	Post	Δ (%)		
VMP_c (m·s ⁻¹)	0.88 ± 0.05	1.00 ± 0.08 ^{####}	13.1	1.79 (0.90 a 2.68)	0.91 ± 0.08	1.00 ± 0.09 ^{####}	10.4	1.08 (0.41 a 1.76)	0.94 ± 0.06	0.90 ± 0.05 [*]	-4.3 (-1.30 a -0.20)
VMP_{≥1} (m·s ⁻¹)	1.22 ± 0.06	1.29 ± 0.07 ^{####}	5.9	1.04 (0.47 a 1.62)	1.23 ± 0.08	1.27 ± 0.07 [*]	3.1	0.53 (-0.03 to 1.09)	1.22 ± 0.05	1.20 ± 0.07	-1.3 (-0.68 a 0.12)
VMP<1 (m·s ⁻¹)	0.65 ± 0.06	0.80 ± 0.08 ^{####}	22.7	2.17 (1.00 a 3.34)	0.66 ± 0.04	0.80 ± 0.11 ^{####}	20.8	1.75 (0.86 a 2.64)	0.71 ± 0.05	0.65 ± 0.07 ^{**}	-8.9 (-1.75 a -0.34)
IRM_{est} (kg)	86.4 ± 7.2	96.0 ± 7.0 ^{####}	11.2	1.35 (0.65 a 2.05)	86.1 ± 10.6	97.1 ± 14.2 ^{####}	12.8	0.82 (0.30 a 1.34)	88.6 ± 6.7	84.3 ± 6.2 [*]	-4.8 (-1.15 a -0.18)
REP	10.2 ± 4.2	19.4 ± 7.1 ^{###}	90.2	1.57 (0.65 a 2.48)	15.5 ± 5.8	24.5 ± 10.3 ^{####}	57.3	1.06 (0.50 a 1.63)	15.5 ± 5.0	14.1 ± 5.0	-9.4 (-0.91 a 0.33)
VMP_{1M} (m·s ⁻¹)	0.75 ± 0.06	83.4 ± 0.03 ^{###}	10.6	1.65 (0.59 a 2.71)	0.76 ± 0.04	0.87 ± 0.09 ^{####}	14.7	1.54 (0.71 a 2.38)	0.74 ± 0.06	0.74 ± 0.07	-0.6 (-0.61 a 0.59)
VMP_{2M} (m·s ⁻¹)	0.56 ± 0.04	0.61 ± 0.04 ^{**}	9.7	1.41 (0.40 a 2.41)	0.57 ± 0.03	0.64 ± 0.07 ^{####}	12.3	1.34 (0.47 a 2.20)	0.57 ± 0.04	0.57 ± 0.05	0.5 (-0.56 a 0.67)
CMJ (cm)	35.4 ± 3.6	39.4 ± 4.4 ^{####}	11.3	0.99 (0.47 a 1.51)	35.4 ± 3.4	38.3 ± 2.7 ^{**}	7.9	0.91 (0.35 a 1.48)	34.9 ± 3.6	35.3 ± 3.3	1.3 (-0.13 a 0.40)
CMJ_c (m·s ⁻¹)	2.42 ± 0.08	2.47 ± 0.11 [*]	2.2	0.58 (-0.05 a 1.21)	2.39 ± 0.09	2.47 ± 0.10 ^{**}	3.3	0.81 (0.24 a 1.37)	2.39 ± 0.09	2.41 ± 0.11	0.3 (-0.30 a 0.62)
T₁₀ (s)	1.78 ± 0.06	1.77 ± 0.06	-0.4	-0.10 (-0.46 a 0.26)	1.81 ± 0.07	1.80 ± 0.06	-0.7	-0.17 (-0.48 a 0.14)	1.80 ± 0.08	1.82 ± 0.08	1.3 (-0.18 a 0.74)
T₂₀ (s)	3.09 ± 0.11	3.06 ± 0.11	-0.8	-0.24 (-0.68 a -0.10)	3.12 ± 0.12	3.10 ± 0.10	-0.8	-0.22 (-0.44 a -0.01)	3.11 ± 0.12	3.14 ± 0.13	0.7 (-0.18 a 0.54)
T₁₀₋₂₀ (s)	1.30 ± 0.04	1.28 ± 0.06 [*]	-1.5	-0.39 (0.13 a 0.72)	1.30 ± 0.05	1.29 ± 0.05	-1.1	-0.29 (-0.09 a 0.18)	1.30 ± 0.04	1.30 ± 0.05	0.1 (-0.26 a 0.54)

Los datos son expresados como media ± desviación típica. TE: tamaño del efecto. IC 95%: intervalo de confianza al 95%

VL15: grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie (n = 11); VL45: grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 45% dentro de la serie (n = 11); GC: grupo que solo realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (n = 11). Los valores de velocidad corresponden a la velocidad media alcanzada durante la fase propulsiva de cada repetición. VMP_c: velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes tanto en el Pre como en el Post en el test de cargas progresivas; VMP_{≥1}: velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Pre; VMP<1: velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron más lento de 1 m·s⁻¹ durante el Pre; CMJ: altura en el salto con contramovimiento; IRM_{est}: valor de una repetición máxima; Rep: máximo número de repeticiones realizado con una carga equivalente al 65% de IRM (0.9 m·s⁻¹) alcanzada durante el Pre; VMP_{1M}: velocidad media de la primera mitad de las repeticiones realizadas durante Rep; VMP_{2M}: velocidad media de la segunda mitad de las repeticiones realizadas durante Rep; CMJ_c: altura del salto vertical con cargas; T₁₀: tiempo en recorrer 10 metros; T₂₀: tiempo en recorrer 20 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo transcurrido entre 10 y 20 metros. Diferencias intra-grupos: * P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001, #### P < 0.0001; Diferencias con respecto a GC: # P < 0.05, ## P < 0.01, ### P < 0.001

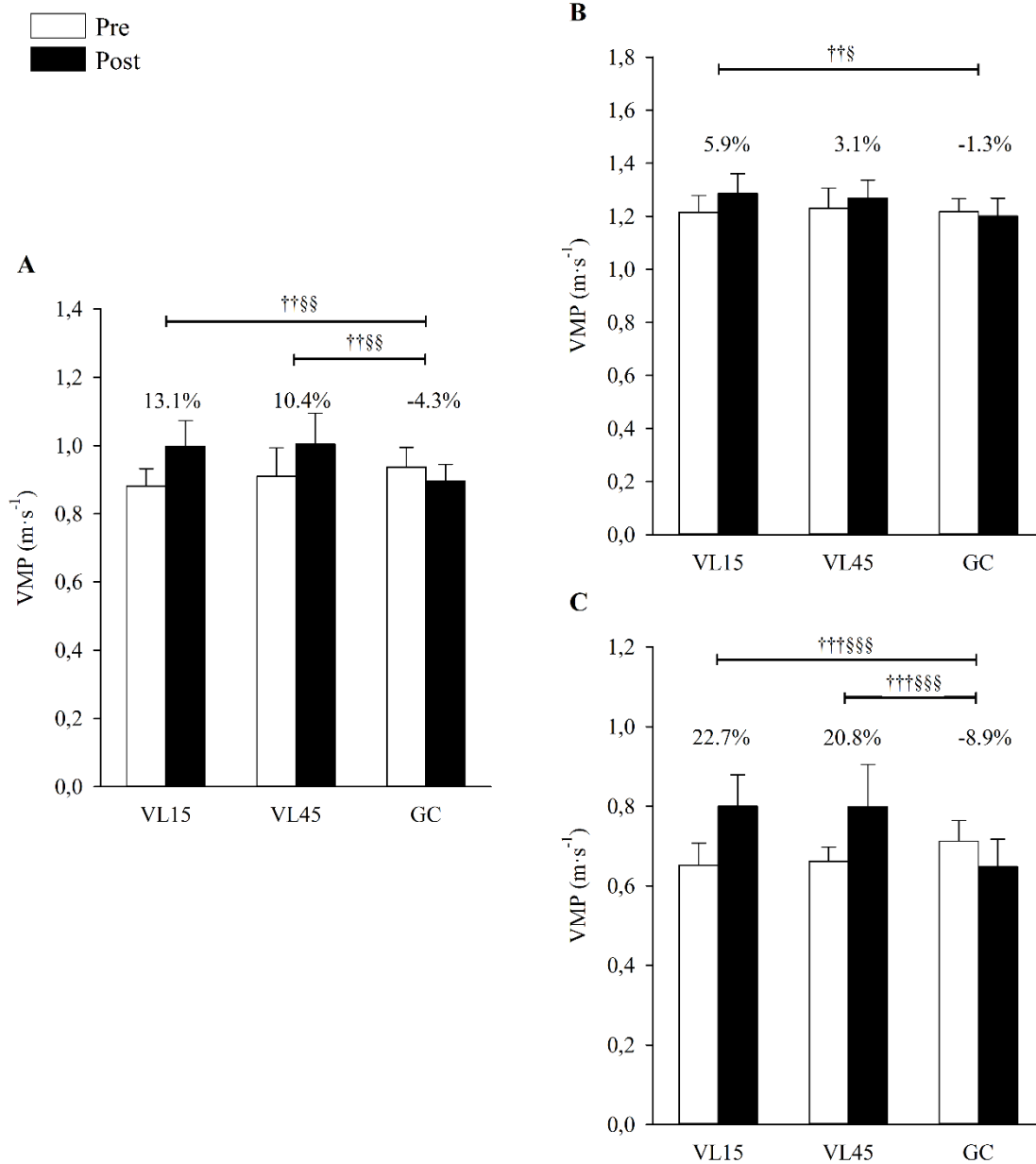


Fig.33. Cambios en la velocidad media (VMP) alcanzada con las cargas absolutas comunes del Pre en el test de cargas progresivas en sentadillas (A), la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Pre (B), y la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron más lento de 1 m·s⁻¹ durante el Pre (C). Los datos son expresados como media ± desviación típica. VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie (n = 11); VL40: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida media de velocidad del 45% dentro de la serie (n = 11); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (n = 11). Interacción significativa ‘grupo’ x ‘tiempo’: †† P < 0.01; ††† P < 0.001; Diferencias significativas para los porcentajes de cambios entre grupos: § P < 0.05; §§ P < 0.01; §§§ P < 0.001

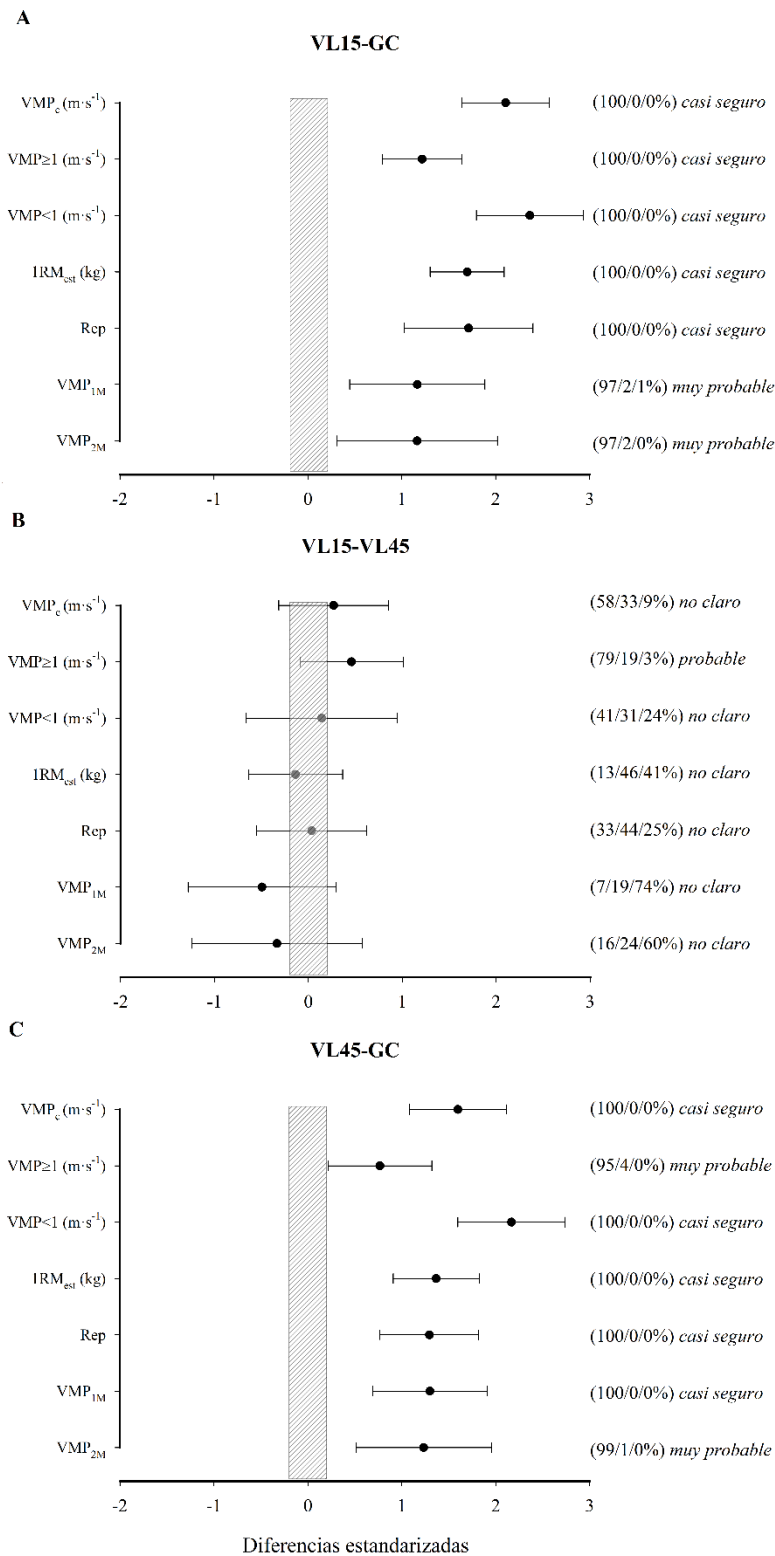


Fig 34. Diferencias estandarizadas en el cambio del Pre al Post test entre los grupos VL15 y GC (A), VL15 y VL45 (B) y VL45 y GC (C) para la velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes del Pre en el test de cargas progresivas en sentadillas (VMP_c), la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a 1 m·s⁻¹ durante el Pre (VMP_{≥1}), la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron más lento de 1 m·s⁻¹ durante el Pre (VMP<1); el valor de una repetición máxima estimada (IRM_{est}); en el máximo número de repeticiones realizado con la carga que se desplazó a 0.90 m·s⁻¹ en el Pre test (Rep); en la velocidad media de la primera mitad de las repeticiones realizadas durante Rep (VMP_{1M}), y en la velocidad media de la segunda mitad de las repeticiones realizadas durante Rep (VMP_{2M}). Entre paréntesis, la probabilidad del que el efecto sea mayor/similar/menor a favor de VL15 en A y B, y a favor de VL45 en C. El área gris representa el mínimo cambio apreciable

6.3.2.2 Una repetición máxima estimada ($1RM_{est}$)

El valor de $1RM$ incremento significativamente en los grupos VL15 y VL45, mientras que el grupo GC experimentó un descenso significativo en el mismo. Además, se observó la existencia de una diferencia significativa entre el grupo GC y los grupos VL15 y VL45 (**Tabla 21**). Se observó una interacción ‘grupo’ \times ‘tiempo’ significativa ($P < 0.001$) en $1RM_{est}$, con un incremento significativo ($P < 0.001$) de mayor magnitud para VL15 (11.2%) y VL45 (12.8%) que el encontrado para el GC (-4.8%; **Fig. 35**).

El análisis basado en la magnitud del cambio mostró un “*casi seguro*” mejor efecto para el entrenamiento realizado por los grupos VL15 y VL45 en $1RM_{est}$ que el entrenamiento realizado por GC (TE: 1.70; IC 90% [1.30 a 2.09] y, TE: 1.37; IC 90% [0.91 a 1.82]), mientras que el entrenamiento realizado por VL15 resultó en un “*no claro*” efecto similar sobre $1RM_{est}$ que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: -0.14; IC 90% [-0.64 a 0.36], **Fig. 34**).

6.3.2.3 Número máximo de repeticiones realizado con la carga de $0.90 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

El valor de Rep incrementó significativamente el VL15 y VL45 mientras este permaneció sin cambios en el grupo GC, observándose diferencias significativas entre los grupos VL45 y GC (**Tabla 21**). Se observó una interacción ‘grupo’ \times ‘tiempo’ significativa ($P < 0.001$) con un incremento significativo ($P < 0.01$) de mayor magnitud para VL15 (90.2%) que el encontrado para el GC (-9.4%; **Fig. 35**).

El análisis basado en la magnitud del cambio mostró un “*casi seguro*” mejor efecto del entrenamiento realizado por los grupos VL15 y VL45 sobre Rep que el entrenamiento realizado por GC (TE: 1.71; IC 90% [1.03 a 2.40] y TE: 1.29; IC 90% [0.77 a 1.82]), mientras que reveló un “*no claro*” similar efecto del entrenamiento realizado por VL15 en comparación al realizado por VL45 (TE: 0.03; IC 90% [-0.55 a 0.62], **Fig. 34**).

Además, la VMP alcanzada durante la primera mitad de Rep (VMP_{1M}) incrementó significativamente en los grupos VL15 y VL45, mientras que permaneció sin cambios en el grupo GC. Se observaron diferencias significativas entre el grupo GC y los grupos VL15 y VL45 (**Tabla 21**). Tuvo lugar una interacción ‘grupo’ \times ‘tiempo’ significativa ($P < 0.01$) en VMP_{1M} , con un incremento significativo de mayor magnitud para VL15

(10.6%; $P < 0.05$) y VL45 (14.7%; $P < 0.01$) que el encontrado para el GC (-0.6%; **Fig. 35**).

El entrenamiento realizado por VL15 y VL45 mostró un “*muy probable/casi seguro*” mejor efecto sobre la VMP_{1M} que el realizado para el GC (TE: 1.17; IC 90% [0.44 a 1.89], y TE: 1.30; IC 90% [0.69 a 1.91]; respectivamente), mientras que el entrenamiento realizado por VL15 arrojó un “*no claro*” menor efecto sobre la VMP_{1M} que el realizado por VL45 (TE: -0.50; IC 90% [-1.28 a 0.29], **Fig. 34**).

Por otro lado, la VMP alcanzada durante la segunda mitad de Rep (VMP_{2M}) incrementó significativamente en los grupos VL15 y VL45, mientras que permaneció sin cambios en el grupo GC. Se observaron diferencias significativas entre el grupo VL45 y el GC (**Tabla 21**). Tuvo lugar una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ significativa ($P < 0.05$) en VMP_{2M} , con un incremento significativo de mayor magnitud para VL45 (12.3%; $P < 0.05$) que el encontrado para el GC (0.5%; **Fig. 35**).

El entrenamiento realizado por VL15 y VL45 mostró un “*muy probable*” mejor efecto sobre el rendimiento en la VMP_{2M} que el entrenamiento realizado por el GC (TE: 1.16; IC 90% [0.31 a 2.02], y TE: 1.23; IC 90% [0.51 a 1.95]; respectivamente). Finalmente, el entrenamiento realizado por VL15 mostró un “*no claro*” menor efecto sobre la VMP_{2M} que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: -0.34; IC 90% [-1.24 a 0.57], **Fig. 34**).

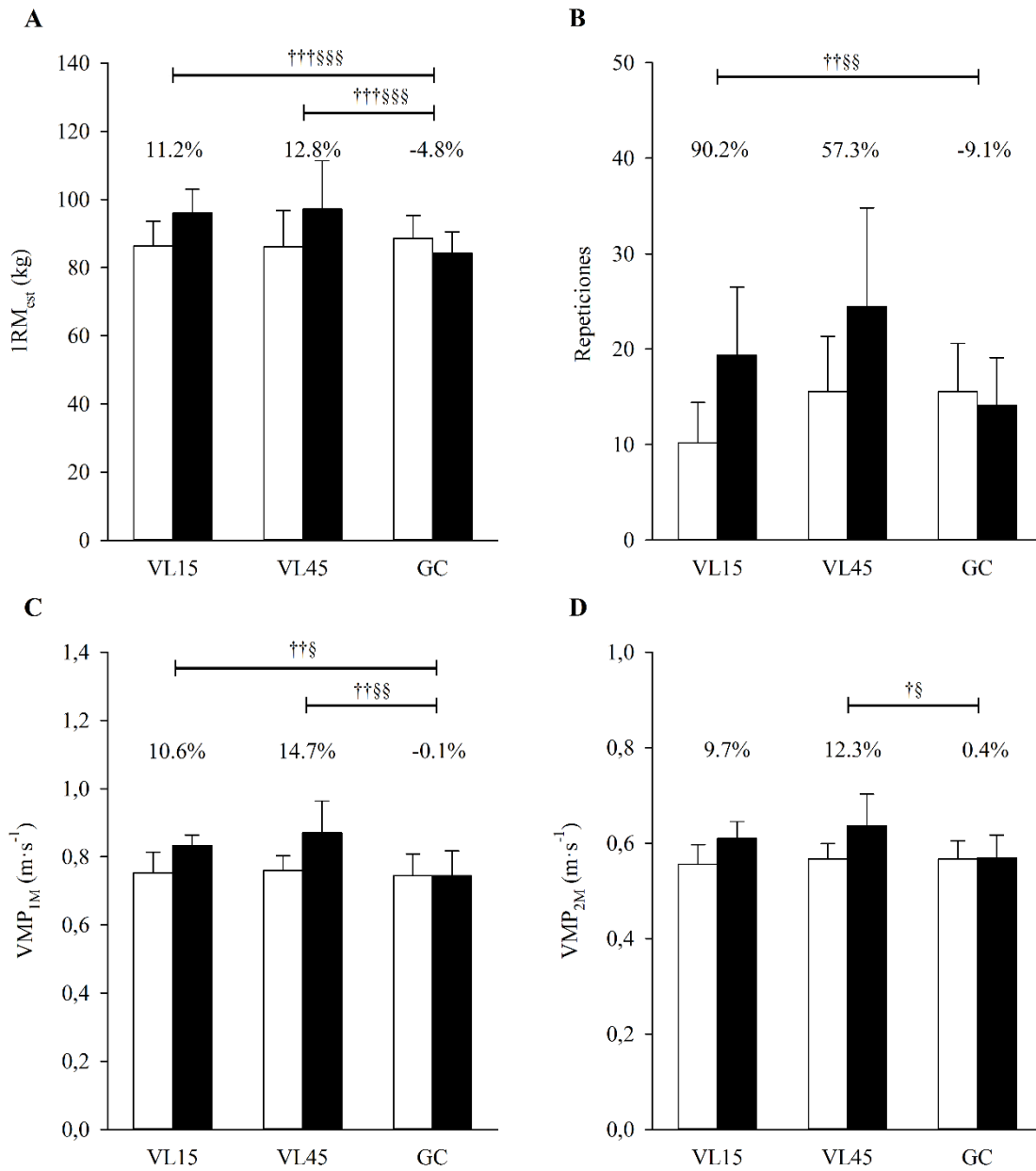


Fig. 35. Cambios en el valor de 1RM estimada ($1RM_{est}$; **A**), en el número máximo de repeticiones (Rep) con la carga que se desplazó a una velocidad media propulsiva de $0.90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el Pre test (**B**), en la VMP alcanzada durante la primera mitad de Rep realizado durante el Pre test (VMP_{1M} ; **C**), y la VMP alcanzada durante la segunda mitad de Rep realizado durante el Pre test (VMP_{2M} ; **D**). Los datos son expresados como media \pm desviación típica. VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie ($n = 11$); VL45: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida media de velocidad del 45% dentro de la serie ($n = 11$); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia ($n = 11$). Interacción significativa ‘grupo’ x ‘tiempo’: † $P < 0.05$; †† $P < 0.01$; ††† $P < 0.001$; Diferencias significativas para los porcentajes de cambios entre grupos: § $P < 0.05$; §§ $P < 0.01$; §§§ $P < 0.001$

6.3.2.4 Capacidad de salto vertical (CMJ)

Tras el periodo de entrenamiento, la altura del salto vertical incrementó significativamente en los grupos VL15 y VL45 mientras que permaneció sin cambios en el grupo GC. Se observó una diferencia significativa entre el grupo VL15 y GC (**Tabla 21**). Se encontró una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ significativa ($P < 0.01$), con un incremento significativo de mayor magnitud para VL15 (11.3%; $P < 0.01$) y VL45 (7.9%; $P < 0.05$) que el encontrado para el GC (1.3%; **Fig. 36**).

Los entrenamientos realizados por VL15 y VL45 mostraron un “*casi seguro/muy probable*” mejor efecto sobre el CMJ que el entrenamiento realizado por GC (TE: 0.86; IC 90% [0.53 a 1.20]; y TE: 0.67; IC 90% [0.28 a 1.07]), respectivamente) (**Fig. 37**). Además, el entrenamiento realizado por VL15 resultó en un “*posible*” mejor efecto sobre el CMJ que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: 0.32; IC 90% [-0.10 a 0.75]) (**Fig. 37**). La evolución de la altura del salto vertical desde el test inicial, tras 2, 4, 6 y 8 semanas de entrenamiento para los tres grupos experimentales es mostrada en la **Fig. 38**.

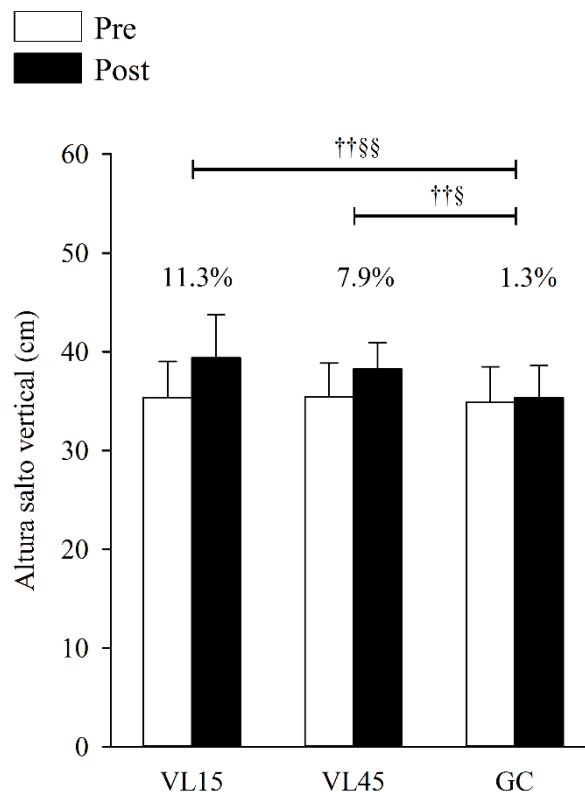


Fig. 36. Cambios en la altura del salto vertical. Los datos son expresados como media \pm desviación típica. VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie ($n = 11$); VL45: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 45% dentro de la serie ($n = 11$); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia ($n = 11$). Interacción significativa ‘grupo’ x ‘tiempo’: †† $P < 0.01$; Diferencias significativas para los porcenjes de cambios entre grupos: § $P < 0.05$; §§ $P < 0.01$

6.3.2.5 Capacidad de salto vertical con cargas (CMJ_C)

El grupo VL15 y VL45 mejoraron significativamente la altura del CMJ_C, mientras que el grupo GC permaneció sin cambios. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos (**Tabla 21**). No se observó interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ en CMJ_C.

En entrenamiento realizado por VL45 mostró un “*probable*” mejor efecto sobre CMJ_C que el entrenamiento realizado por GC (TE: 0.60; IC 90% [0.05 a 1.15]), mientras que el entrenamiento realizado por VL15 reveló un “*no claro*” mejor efecto sobre CMJ_C que el entrenamiento realizado por GC (TE: 0.37; IC 90% [-0.26 a 1.00]) y un “*no claro*” menor efecto que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: -0.25; IC 90% [-0.89 a 0.40], **Fig. 37**).

6.3.2.6 Capacidad de aceleración en 10-20m (T₁₀, T₂₀, T₁₀₋₂₀)

Únicamente el grupo VL15 descendió significativamente el tiempo transcurrido entre 10-20 metros. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre grupos (**Tabla 21**). No se observó interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ en ninguna de las variables analizadas (T₁₀, T₂₀, T₁₀₋₂₀).

Sin embargo, el entrenamiento realizado por VL15 mostró un “*posible*” mejor efecto sobre T₁₀ (TE: -0.38; IC 90% [-0.88 a 0.11]), y un “*probable*” mejor efecto sobre T₂₀ (TE: -0.39; IC 90% [-0.77 a -0.02]) y sobre T₁₀₋₂₀ (TE: -0.43; IC 90% [-0.85 a -0.01]) que el entrenamiento realizado por GC (**Fig. 37**). Del mismo modo, VL45 presentó un “*probable*” mejor efecto sobre T₁₀ (TE: -0.45; IC 90% [-0.93 a 0.04]) y sobre T₂₀ (TE: -0.39; IC 90% [-0.76 a -0.03]), y un “*posible*” mejor efecto sobre T₁₀₋₂₀ (TE: -0.33; IC 90% [-0.73 a 0.06]) que el entrenamiento realizado por GC (**Fig. 37**). Finalmente, el entrenamiento realizado por VL15 mostró un “*no claro/posible*” efecto similar sobre el rendimiento en T₁₀, T₂₀ y T₁₀₋₂₀ (TE: 0.08; IC 90% [-0.32 a 0.48]; TE: 0.00; IC 90% [-0.27 a 0.27]; TE: -0.11; IC 90% [-0.41 a 0.20], respectivamente) que el entrenamiento realizado por VL45 (**Fig. 37**).

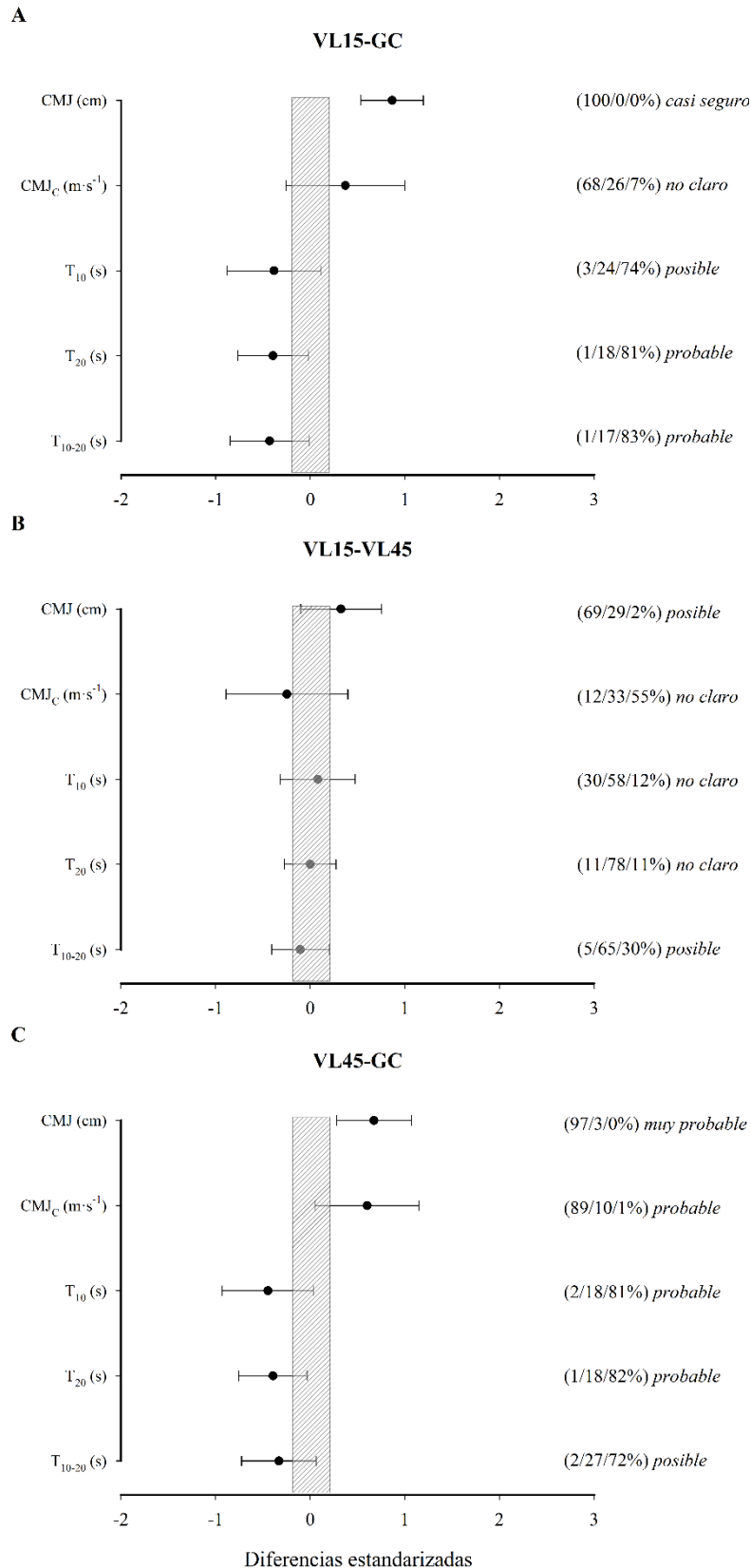


Fig 37. Diferencias estandarizadas en el cambio del Pre al Post test entre los grupos VL15 y GC (A), VL15 y VL45 (B) y VL45 y GC (C) para la altura del salto vertical (CMJ), la velocidad media con las cargas comunes realizadas en el Pre en el ejercicio de salto con cargas (CMJ_c), el tiempo en recorrer 10 m (T₁₀), el tiempo en recorrer 20 m (T₂₀) y el tiempo transcurrido entre 10-20 m (T₁₀₋₂₀). Entre paréntesis, la probabilidad del que el efecto sea mayor/similar/menor a favor de VL15 en A y B, y a favor de VL45 en C. El área gris representa el mínimo cambio apreciable

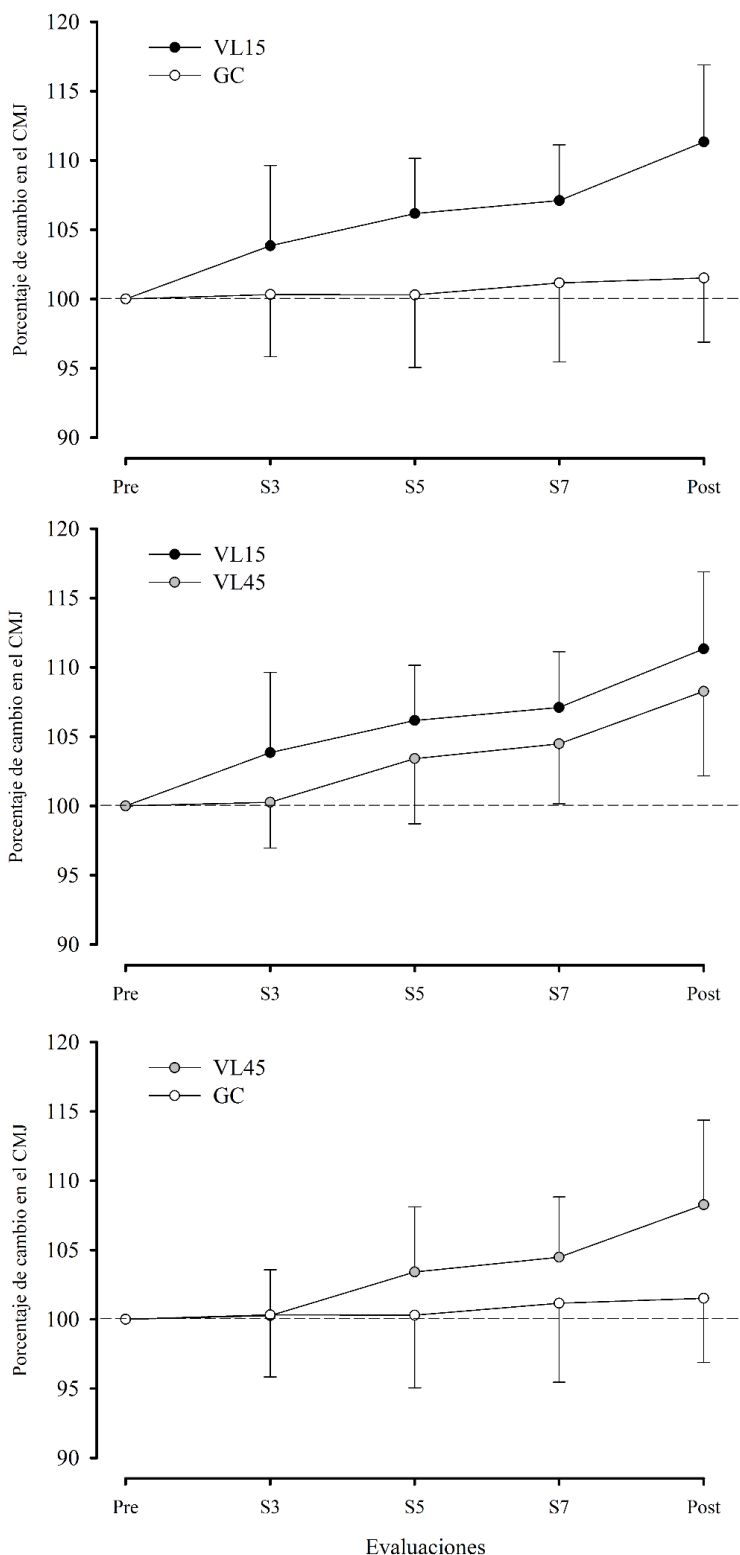


Fig 38. Porcentaje de cambio en la altura del salto vertical (CMJ) evaluado en el test inicial (Pre), en la semana 3 (S3) tras la realización de dos semanas de entrenamiento, en la semana 5 (S5) tras 4 semanas de entrenamiento (S5), en la semana 7 (S7) tras 6 semanas de entrenamiento y en el test final (Post) tras 8 semanas de entrenamiento. Los datos son expresados como media \pm desviación típica. VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie (n = 11); VL40: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida media de velocidad del 45% dentro de la serie (n = 11); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (n = 11)

6.3.3 Efectos del entrenamiento sobre el rendimiento en resistencia

6.3.3.1 Consumo máximo de oxígeno (VO_{2max})

No se observaron diferencias significativas en el VO_{2max} tras las ocho semanas de entrenamiento (**Tabla 22**). No tuvo lugar una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ para la VO_{2max} .

6.3.3.2 Velocidad de consumo máximo de oxígeno (vVO_{2max})

Después del periodo de entrenamiento, la vVO_{2max} incrementó significativamente en los tres grupos experimentales sin darse diferencias significativas entre grupos (**Tabla 22**). Se observó una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ significativa ($P < 0.05$) en la vVO_{2max} , con un incremento significativo ($P < 0.05$) de mayor magnitud para VL15 (5.7%) que el encontrado para el GC (2.1%; **Fig. 39**).

El entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “probable” mejor efecto sobre la vVO_{2max} que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: 0.32; IC 90% [0.13 a 0.51]) y que el realizado por GC (TE: 0.44; IC 90% [0.12 a 0.76]) (**Fig. 40**).

6.3.3.3 Tiempo límite en el test incremental en tapiz ($Tlim_T$)

El tiempo hasta el agotamiento en tapiz incremento significativamente en los tres grupos experimentales, sin observarse diferencias significativas entre grupos (**Tabla 22**). No tuvo lugar una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ en $Tlim_T$.

El entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “posible” mejor efecto sobre el $Tlim_T$ que el entrenamiento realizado por GC (TE: 0.28; IC 90% [0.01 a 0.54], **Fig. 40**) y un “posible” efecto similar que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: 0.16; IC 90% [-0.08 a 0.39]). Del mismo modo, el entrenamiento realizado por VL45 mostró un “posible” efecto similar sobre el $Tlim_T$ que el entrenamiento realizado por GC (TE: 0.11; IC 90% [-0.16 a 0.38], **Fig. 40**).

6.3.3.4 Tiempo límite en el Test de la Universidad de Montreal (Tlim_P)

El tiempo hasta el agotamiento en pista incrementó significativamente en los tres grupos experimentales, sin observarse diferencias significativas entre grupos (**Tabla 22**). No tuvo lugar una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ en Tlim_P.

El entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “*posible*” efecto similar sobre el Tlim_P que el entrenamiento realizado por VL45 (TE: 0.11; IC 90% [-0.13 a 0.35]) y por GC (TE: 0.16; IC 90% [0.03 a 0.29], **Fig. 40**). Finalmente, el entrenamiento realizado por VL45 mostró un “*no claro*” efecto similar sobre el Tlim_P que el entrenamiento realizado por GC (TE: 0.03; IC 90% [-0.25 a 0.35], **Fig. 40**).

Tabla 22. Cambios en las variables relacionadas con el rendimiento en resistencia tras 8 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia

	VL15 (n = 11)				VL45 (n = 11)				GC (n = 11)			
	Pre	Post	Δ (%)	TE (IC 95%)	Pre	Post	Δ (%)	TE (IC 95%)	Pre	Post	Δ (%)	TE (IC 95%)
VO_{2max} (ml·min⁻¹)	3825.2 ± 436.8	3787.1 ± 421.8	-1.0	-0.09 (-0.37 a 0.20)	3804.7 ± 385.2	3781.8 ± 359.3	-0.6	-0.06 (-0.29 a 0.16)	3824.7 ± 521.7	3791.2 ± 442.2	-0.9	-0.07 (-0.38 a 0.24)
vVO_{2max} (km·h⁻¹)	16.4 ± 1.5	17.3 ± 1.5***	5.7	0.61 (0.31 a 0.92)	16.5 ± 1.2	17.0 ± 1.2**	3.0	0.42 (0.17 a 0.67)	16.5 ± 1.1	16.9 ± 0.9*	2.1	0.35 (-0.07 a 0.77)
Tlimp (s)	630.5 ± 89.1	673.5 ± 89.0***	6.8	0.48 (0.20 a 0.76)	654.1 ± 83.5	683.3 ± 84.7**	4.5	0.35 (0.10 a 0.59)	630.7 ± 74.6	651.6 ± 55.8*	3.3	0.32 (0.07 a 0.57)
Tlimp (s)	982.3 ± 180.8	1034.6 ± 177.4**	5.3	0.29 (0.13 a 0.45)	1068.4 ± 161.3	1102.2 ± 133.7*	3.2	0.21 (-0.05 a 0.51)	955.6 ± 95.7	984.5 ± 100.5*	3.0	0.29 (0.09 a 0.50)

Los datos son expresados como media ± desviación típica. TE: tamaño del efecto. IC 95%: intervalo de confianza al 95%

VL15: grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie (n = 11); VL45: grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 45% dentro de la serie (n = 11); GC: grupo que solo realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (n = 11). VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno; vVO_{2max}: velocidad a la se alcanza el VO_{2max}; Tlimp: tiempo límite en el test incremental en tapiz; Tlimp: tiempo límite en el test incremental en pista. Diferencias intra-grupos: * P < 0.05, ** P < 0.01, *** P < 0.001

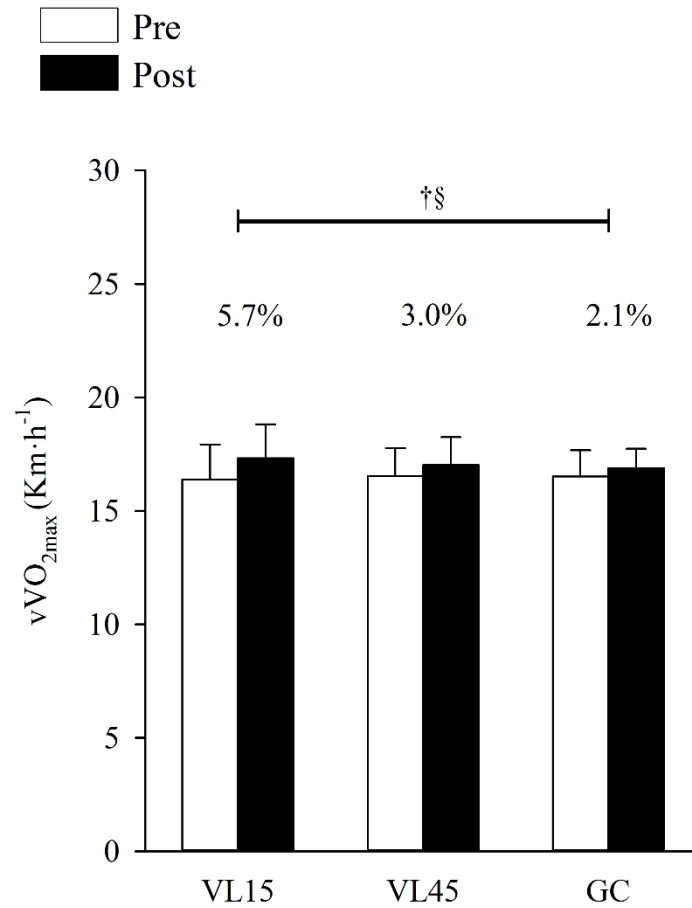


Fig. 39. Cambios en la velocidad de consumo máximo de oxígeno (vVO_{2max}). Los datos son expresados como media \pm desviación típica. VL15: Grupo que entrenó con una pérdida media de velocidad del 15% en cada serie ($n = 11$); VL40: Grupo que entrenó con una pérdida media de velocidad del 45% en cada serie ($n = 11$); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia ($n = 11$). Interacción significativa 'grupo' x 'tiempo': † $P < 0.05$; Diferencias significativas para los porcentajes de cambios entre grupos: § $P < 0.05$

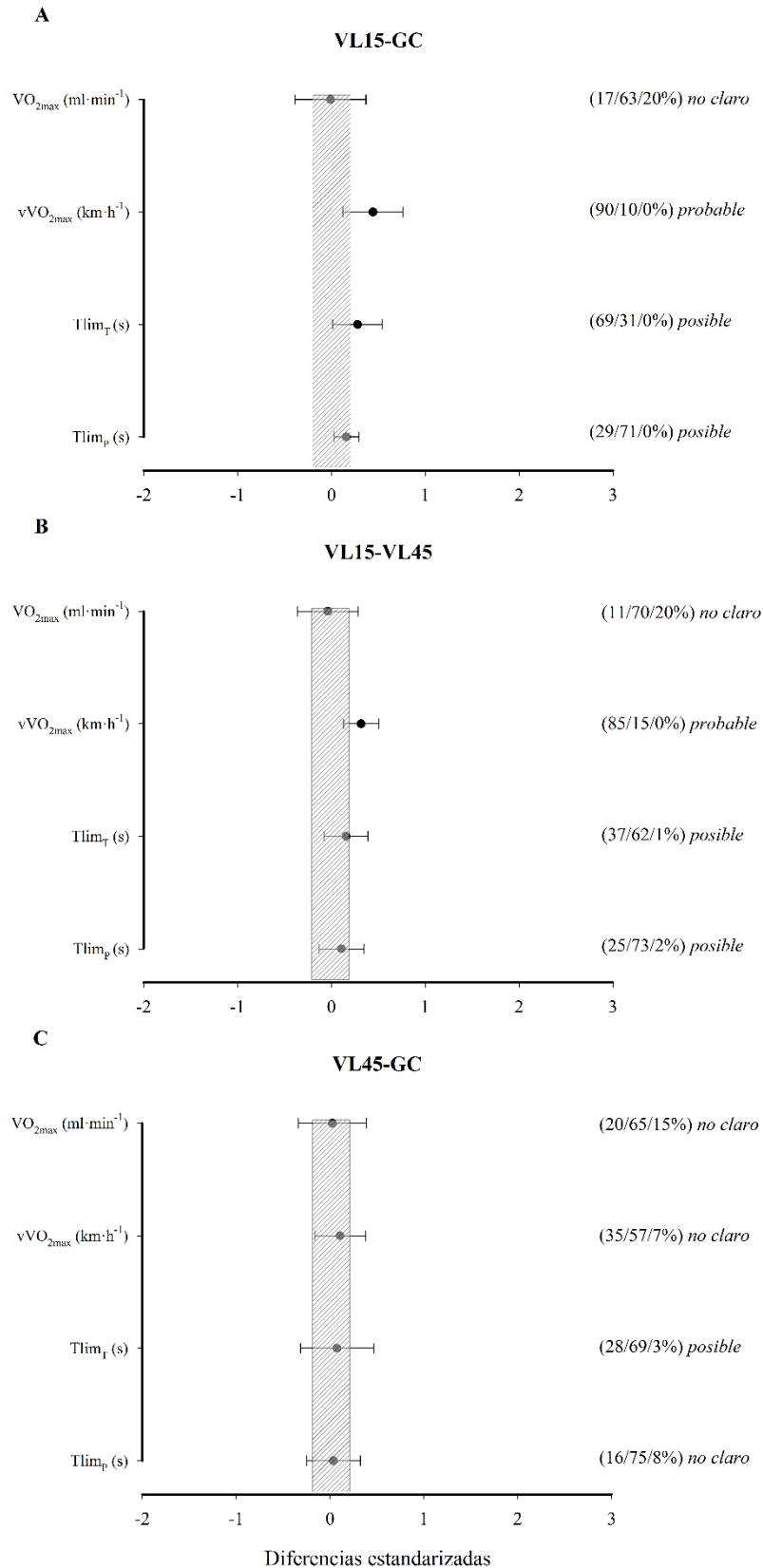


Fig 40. Diferencias estandarizadas en el cambio del Pre al Post test entre los grupos VL15 y GC (A), VL15 y VL45 (B) y VL45 y GC (C) para el consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}); la velocidad de VO_{2max} (vVO_{2max}); el tiempo límite en el test incremental en tapiz ($Tlim_T$) y el tiempo límite en el Test de la Universidad de Montreal ($Tlim_P$). Entre paréntesis, la probabilidad del que el efecto sea mayor/similar/menor a favor de VL15 en A y B, y a favor de VL45 en C. El área gris representa el mínimo cambio apreciable

6.3.4 Análisis de las correlaciones entre cambios

Los cambios en la VMP_C mostraron una correlación significativa con los cambios observados en el CMJ ($r = 0.61$, $P < 0.001$), en T_{20} ($r = -0.35$, $P < 0.05$) y, finalmente con los cambios en la vVO_{2max} ($r = 0.35$, $P < 0.05$). Además, los cambios en la $VMP_{\geq 1}$ y los cambios en la $VMP_{< 1}$ mostraron una correlación significativa con los cambios observados en CMJ ($r = 0.43$, $P < 0.05$; y $r = 0.64$, $P < 0.001$; respectivamente) mientras que solo los cambios en $VMP_{\geq 1}$ mostraron una relación significativa con los cambios en la vVO_{2max} ($r = 0.42$; $P < 0.05$). Por otro lado, los cambios en CMJ mostraron una correlación significativa con los cambios en la vVO_{2max} ($r = 0.37$; $P < 0.05$). Finalmente, los cambios en T_{10} y T_{20} presentaron correlaciones significativas con los cambios en la vVO_{2max} ($r = -0.48$, $P < 0.01-0.05$; respectivamente) y con los cambios en $Tlim_T$ ($r = -0.46$, $P < 0.05$; $r = -0.49$; $P < 0.01$; respectivamente). Para un mejor entendimiento de estos resultados, aquellas correlaciones más importantes han sido representadas (**Fig. 41**).

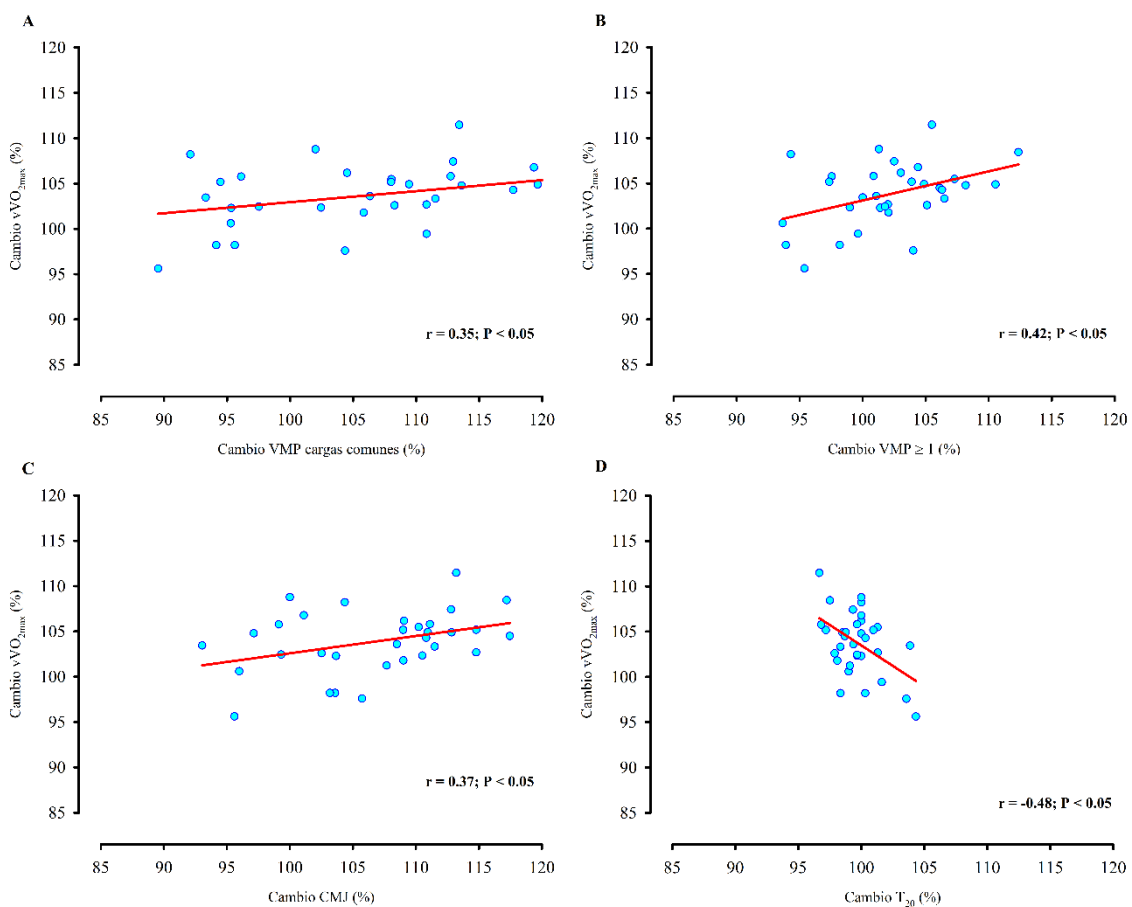


Fig.41. Correlación entre los porcentajes de cambios observados en la vVO_{2max} y la velocidad media propulsiva con las cargas absolutas comunes del pre (VMP_C ; **A**), velocidad media propulsiva con las cargas $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($VMP_{\geq 1}$; **B**), altura del CMJ (**C**) y en tiempo en recorrer 20m (T_{20} ; **D**)

6.4 Discusión

El principal hallazgo del presente estudio fue que, tras 8 semanas de entrenamiento combinado de fuerza y resistencia, los incrementos en el rendimiento de ambas cualidades fueron similares o incluso superiores en el grupo que realizó el entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad dentro de la serie del 15% (VL15) en comparación con el grupo que entrenó con una pérdida de velocidad del 45% (VL45) y con el grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (GC). Según nuestro conocimiento, solo un estudio (Izquierdo-Gabarren et al. 2010) ha analizado los efectos de la manipulación del volumen del entrenamiento de fuerza dentro del contexto del entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia, y hasta la fecha, en ningún trabajo se ha estudiado la influencia de dicha manipulación sobre el rendimiento en resistencia en carrera. En el presente estudio pudimos observar cómo el grupo VL15 alcanzó aumentos significativos similares en la fuerza que el grupo VL45, a pesar de que el número de repeticiones totales realizado por el grupo VL15 fue aproximadamente el 45% del realizado por VL45 (**Fig. 31**). Como resultado más novedoso observamos que el entrenamiento realizado por el grupo VL15 tuvo un aparente mejor efecto sobre vVO_{2max} en carrera que el entrenamiento realizado por los grupos VL45 y GC (**Fig. 40**). Estos últimos resultados están en la misma línea que los observados por Izquierdo-Gabarren et al. (2010), quienes contemplaron cómo el entrenamiento llevado a cabo por los grupos que no realizaron repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular incrementaron en mayor medida el rendimiento en resistencia evaluado en remoergómetro en un grupo de 43 remeros entrenados. Por tanto, en el presente estudio se ponen de manifiesto, una vez más, el potencial de la utilización del entrenamiento de fuerza como estrategia para ayudar a mejorar el rendimiento en resistencia, haciendo de este un componente vital en la preparación de diferentes tipos de deportistas. Además, nuestros resultados parecen confirmar que la realización de un entrenamiento de fuerza con volúmenes moderados de repeticiones en la serie (en nuestro caso aproximadamente la mitad del máximo número de repeticiones posibles) permite un ambiente más favorable para lograr similares e incluso mayores ganancias tanto en la fuerza como en la resistencia en carrera cuando ambas cualidades son entrenadas de manera simultánea en sujetos entrenados. Esta información puede ser útil para aquellos entrenadores o deportistas cuyo rendimiento depende del desarrollo conjunto de la fuerza y la resistencia, (Por ej. remo, decatlón, etc.) o de manera prioritaria de la resistencia (Por ej. corredores de fondo), poniendo de

manifiesto que, la implementación de un programa de entrenamiento de fuerza caracterizado por una pérdida de velocidad baja dentro de la serie parece ser una opción más adecuada que alcanzar una pérdida de velocidad alta dentro de la serie (hasta alcanzar el fallo muscular o cerca de este) para el desarrollo simultáneo de la fuerza y la resistencia.

Efectos sobre el VO_{2max} , la vVO_{2max} y el tiempo hasta el agotamiento

El VO_{2max} está asociado con el éxito en deportes de resistencia (Saltin & Astrand, 1967) y es una de las principales características que determinan el nivel de rendimiento (Di Pampero, 2003). En el presente estudio, el VO_{2max} permaneció sin cambios en todos los grupos experimentales (**Tabla 22**). Estos resultados están en concordancia con los resultados pioneros de Hickson et al. (1988) en deportistas moderadamente entrenados en resistencia ($\sim 60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Dicha ausencia de cambio también se ha observado en corredores entrenados tras la incorporación de un entrenamiento de fuerza a su entrenamiento de resistencia habitual (Johnson et al., 1997; Mikkola et al., 2007; Mikkola et al., 2011; Millet et al., 2002; Paavolainen et al., 1999; Saunders et al., 2006; Spurrs et al., 2003; Støren et al., 2008; Taipale et al., 2010; Turner et al., 2003). Por otro lado, Kraemer et al. (1995) observaron incrementos similares en VO_{2max} tras un periodo de entrenamiento concurrente en un grupo de militares físicamente activos ($\sim 50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Finalmente, en un trabajo de meta análisis llevado a cabo por Wilson et al. (2012) se observó que el tamaño del efecto (ES) para el VO_{2max} fue similar para el entrenamiento concurrente y el entrenamiento de resistencia (ES = 1.41; y ES = 1.37; respectivamente). Los resultados del presente estudio están en concordancia con los mostrados en trabajos anteriores poniendo de manifiesto que la incorporación de un entrenamiento de fuerza al entrenamiento de resistencia no tiene efectos negativos sobre la capacidad máxima de consumir oxígeno (VO_{2max}) en deportistas de distinto nivel deportivo.

La vVO_{2max} es aceptada como uno de los factores claves del rendimiento en resistencia en deportistas de elite (Beattie et al., 2014; Ingham et al., 2008; Lucia et al., 1998; Noakes et al., 1990), la cual tiene la capacidad de poder predecir el rendimiento en resistencia en corredores y ciclistas entrenados (McLaughlin et al., 2010; Millet et al., 2003). En el presente estudio, la vVO_{2max} incrementó significativamente en todos los grupos experimentales (**Tabla 22**). Resultados similares fueron aportados por Berryman et al. (2010), en un grupo de corredores entrenados ($VO_{2max} \sim 57 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$), quienes observaron un incremento del 4.2% en la vVO_{2max} en dos grupos experimentales, los

cuales combinaron el entrenamiento de resistencia con un entrenamiento de fuerza (1 sesión / semana, 3 a 6 series de 8 repeticiones con la carga con la que se alcanzaba la máxima potencia en el ejercicio de media sentadilla) y con un entrenamiento con ejercicio polimétricos (consistente en drop jump desde una altura de 20, 40 o 60 cm). En el citado estudio, el grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia mostró un incremento no significativo del 1.2% en la vVO_{2max} . En esta misma línea, Beattie et al. (2017) observaron en corredores entrenados ($VO_{2max} \sim 60 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) un incremento del 3.5% en el vVO_{2max} en el grupo que realizó el entrenamiento concurrente tras las primeras 20 semanas de entrenamiento llegando a alcanzar un incremento del 4% tras 40 semanas, sin observar cambios en el grupo control. A diferencia con estos trabajos, en nuestro estudio observamos cómo el GC también mejoró significativamente la vVO_{2max} . Esto puede ser parcialmente explicado por el hecho de que los sujetos participantes en el presente estudio mostraron un nivel de rendimiento en resistencia ligeramente inferior ($VO_{2max} = 51.9 \pm 5.1 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) a los utilizados por los autores arriba mencionados y, por tanto, el entrenamiento de resistencia propuesto en el estudio resultó ser suficiente para producir un incremento en la vVO_{2max} . Con respecto a los grupos experimentales, los cambios en la vVO_{2max} observados por Berryman et al. (2010) y Beattie et al. (2017) fueron muy similar al observado por el grupo VL45 (3.6%), sin embargo, estos parecen ser ligeramente inferiores a los cambios observado por VL15 (5.6%). Debido a las diferencias observadas en la metodología de los diferentes estudios (Por ej.: duración de la intervención, nivel de los deportistas, historial de entrenamiento, tipo de entrenamiento de fuerza empleado, etc.) se hace difícil la comparación entre los mismo. No obstante, en el presente estudio todos los sujetos realizaron en mismo entrenamiento de resistencia y el entrenamiento de fuerza realizado por dos de ellos (VL15 y VL45) solo se diferenció por el número de repeticiones realizadas dentro de la serie. A pesar de que no existieron diferencias significativas al final del periodo experimental en la vVO_{2max} entre los diferentes grupos, se observó una interacción ‘grupo’ \times ‘tiempo’ significativa ($P < 0.05$) para VL15 con respecto al GC. Además, el análisis basado en la magnitud de cambio reveló que el entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “probable” mejor efecto sobre la vVO_{2max} en comparación al entrenamiento realizado por el grupo VL45 (**Fig. 40B**) y por el GC (**Fig.40A**). Estos resultados parecen indicar que el entrenamiento de fuerza realizado por el grupo VL15 tuvo aparentemente mayor efecto sobre la vVO_{2max} que el entrenamiento realizado por VL45 y GC.

Finalmente, el tiempo hasta el agotamiento durante el test incremental realizado tanto en tapiz como en pista experimentó un incremento significativo para todos los grupos sin diferencias entre ellos (**Tabla 22**). En un trabajo llevado a cabo por Støren et al. (2008) se observó un incremento del 21% en el tiempo hasta el agotamiento en tapiz al 70% de la $v\text{VO}_{2\text{max}}$ en un grupo de corredores bien entrenados ($\text{VO}_{2\text{max}} \sim 58 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) tras 8 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza (3 sesiones /semana, 4 series de 4RM en el ejercicio de media sentadilla) y resistencia, mientras que el grupo control no mostró mejoras en el rendimiento. Por el contrario, Schumann et al. (2014) no observaron diferencias significativas en el tiempo hasta el agotamiento en un test incremental en tapiz tras 24 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia en un grupo de sujetos físicamente activos. Similar a lo ocurrido con la $v\text{VO}_{2\text{max}}$, en el presente estudio pudimos observar que el entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “*posible*” mejor efecto sobre el tiempo límite realizado en tapiz que el entrenamiento realizado por el grupo GC (**Fig. 40A**). Estos resultados parecen indicar de nuevo que el entrenamiento de fuerza realizado por el grupo VL15 presentó una tendencia a ofrecer mayores efectos que los demás grupos sobre el tiempo hasta el agotamiento en tapiz.

Por tanto, nuestros resultados sugieren nuevamente que la realización de un entrenamiento de fuerza adicional al entrenamiento de resistencia puede tener efectos positivos sobre el rendimiento en resistencia, especialmente sobre la $v\text{VO}_{2\text{max}}$ y el tiempo hasta el agotamiento en tapiz. Además, el menor número de repeticiones y grado de fatiga generado durante el entrenamiento de fuerza llevado a cabo por el grupo VL15 parece estar detrás de la tendencia observada a ofrecer mayor efecto sobre el rendimiento en resistencia que los demás grupos. Los resultados discutidos hasta el momento nos permiten confirmar, al menos parcialmente, las hipótesis planteadas en el presente estudio. En primer lugar, las adaptaciones positivas observadas en la resistencia tienden a ser mayores para los grupos que entrenaron de manera concurrente la fuerza y la resistencia en comparación con el grupo que entrenó la resistencia de manera aislada (hipótesis 1). Además, las adaptaciones en resistencia experimentadas por el grupo que realizó un programa de entrenamiento de fuerza que permitió un 15% de descenso de la velocidad dentro de la serie fueron “*posible*” o “*probablemente*” superiores a las manifestadas por el grupo que entrenó con el 45% de descenso de la velocidad dentro de la serie (hipótesis 2).

Efectos sobre la fuerza

Los resultados sobre los efectos del entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en fuerza han mostrado resultados inconsistentes. Distintos autores han observado un efecto atenuante sobre las ganancias en la fuerza (Bell et al., 2000; Dudley & Djamil, 1985; Hennessy & Watson, 1994; Hickson, 1980; Hunter, et al., 1987; Kraemer et al., 1995), en la potencia (Häkkinen et al., 2003; Hennessy & Watson, 1994; Hunter et al., 1987; Kraemer et al., 1995) y la hipertrofia muscular (Bell et al., 2000; Kraemer et al., 1995) del miembro inferior cuando el entrenamiento de fuerza se realizó de manera concurrente con el entrenamiento de resistencia. Sin embargo, otros autores han observado que ambas modalidades pueden ser entrenados simultáneamente sin observarse interferencia sobre los aumentos de la fuerza (Balabinis et al., 2003; Davis et al., 2008; Gravelle & Blessing, 2000; Häkkinen et al., 2003; McCarthy et al., 1995; Nelson et al., 1990; Silva et al., 2012) y dando lugar a mejoras en la misma (Aagaard et al., 2011; Berryman et al., 2010; Hoff et al., 2002; Hoff et al., 1999; Johnston et al., 1997; Mikkola et al., 2007; Østerås et al., 2002; Paavolainen et al., 1999; Rønnestad et al. 2010a; Rønnestad et al. 2010b; Rønnestad et al. 2012; Spurrs et al., 2003; Sunde et al., 2010; Støren et al., 2008).

En el presente estudio observamos cómo los grupos que entrenaron la fuerza y la resistencia simultáneamente (VL15 y VL45) incrementaron el rendimiento en las diferentes variables analizadas, mientras que el GC permaneció sin cambio o incluso sufrió un descenso del rendimiento en algunas de ellas (VMP_C , $VMP_{<1}$, y $1RM_{est}$; **Tabla 21**). Estos resultados resaltan, en primer lugar, la importancia de la realización de un programa de entrenamiento de fuerza para mantener unos niveles adecuados de la misma. Con respecto a los grupos que realizaron el entrenamiento de fuerza (VL15 y VL45), el principal hallazgo del presente estudio fue las ganancias similares manifestadas por ambos grupos (**Tabla 21**) a pesar de que el número de repeticiones realizadas por VL15 representó aproximadamente el 45% de las realizadas por VL45 (**Fig. 31**). El valor de $1RM_{est}$ incrementó significativamente en VL15 (11.2%) y VL45 (12.8%) sin observarse diferencias significativas entre ellos (**Tabla 21**). A este respecto, Izquierdo-Gabarrón et al. (2010) observaron cómo el valor de 1RM en el ejercicio de press de banca incrementó significativamente solo en el grupo que no entrenó hasta alcanzar el fallo muscular, observándose una interacción ‘grupo’ x ‘tiempo’ con un porcentaje de cambio significativamente mayor para dicho grupo (4.6% vs. 2.1%). Dentro del contexto del

entrenamiento de fuerza, previamente se ha recogido que el entrenamiento hasta el fallo podría no ser necesario para alcanzar las mayores ganancias de fuerza (Davies, et al., 2016; Drinkwater et al., 2007; Folland et al., 2002; Izquierdo et al., 2006; Pareja-Blanco et al., 2016; Sampson & Groeller, 2016; Sanborn et al., 2000). Nuestros resultados, en línea con los de Izquierdo-Gabarren et al. (2010), sugieren que cuando la fuerza es entrenada de manera concurrente con la resistencia, el entrenamiento de fuerza con un número elevado de repeticiones parece no proporcionar las mayores adaptaciones en la fuerza máxima (1RM).

Además, en la presente investigación, también evaluamos los cambios en la velocidad media alcanzada ante todas las cargas absolutas comunes en el Pre y Post test en el ejercicio de sentadillas, desde las cargas ligeras a las más pesadas, así como los cambios en la altura del salto vertical y en la capacidad de aceleración. Cabe destacar que el entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “probable” o “posible” mejor efecto sobre aquellas acciones realizadas a alta velocidad (VMP \geq 1, y CMJ, respectivamente) que el entrenamiento realizado por el grupo VL45 (**Fig. 34B**, y **Fig 37B**). Además, el T₁₀₋₂₀ se redujo significativamente en VL15 mientras permaneció sin cambios en VL45 (**Tabla 21**). Un fenómeno bastante similar ya fue observado por Pareja-Blanco et al. (2016), quienes, tras 8 semanas de entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad dentro de la serie del 40% (VL40), no observaron incrementos significativos en la velocidad ante cargas bajas (VMP \geq 1) y la altura del salto vertical (CMJ), mientras que el grupo que entrenó con una pérdida de velocidad dentro de la serie del 20% (VL20) sí lo hizo, con diferencias significativas entre grupos para el salto. Estas menores adaptaciones en aquellas acciones realizadas a velocidades altas podrían venir explicadas por el hecho de que el grupo VL45 realizó de manera significativa un mayor número de repeticiones a moderadas y bajas velocidades (VMP $<$ 0.80 m·s⁻¹, **Fig. 31**), lo cual pudo haber dado lugar a adaptaciones en los tipos de fibras más lentas y más resistentes a la fatiga. Un ejemplo de esto puede ser visto en el estudio llevado a cabo por Pareja-Blanco et al. (2016) donde se observó una reducción del porcentaje de fibras tipo IIX y del área relativa de estas fibras tras 8 semanas de entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad dentro de la serie del 40%, cosa que no ocurrió en un segundo grupo que entrenó con una pérdida de velocidad del 20%. Aunque en el presente estudio no realizamos un análisis de la transición de los diferentes tipos de fibras musculares, dadas las similitudes en los protocolos de entrenamientos de fuerza entre ambos estudios, parece

razonable aceptar que haya tenido lugar una transición de fibras musculares en la misma línea a la observada por dichos autores. Además, es de destacar que en el presente estudio no existieron diferencias significativas en el número de repeticiones realizado a velocidades altas (VMP entre 0.90 y 1.10 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; **Fig. 31**), excepto para aquellas repeticiones a velocidades superior a 1.20 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (**Fig. 31**), lo cual sugiere que los mecanismos responsables de las adaptaciones inferiores en aquellas acciones realizadas a velocidades altas experimentadas por el grupo VL45 pueden estar relacionadas con este mayor número de repeticiones realizado a velocidades bajas. Del mismo modo, cabría esperar que el mayor número de repeticiones a velocidades medias y bajas realizado por el grupo VL45 (**Fig. 31**) podría haber resultado en mayores adaptaciones en acciones realizadas a dichas velocidades manifestándose, probablemente, en el número de repeticiones realizadas en Rep y en la velocidad media durante la primera (VMP_{1M}) y segunda mitad (VMP_{2M}) del test de repeticiones hasta alcanzar en fallo muscular con la carga que se desplazó a 0.90 $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el pre test. Sin embargo, los efectos experimentados por ambos grupos fueron aparentemente similares (**Fig. 34B**). Por tanto, parece ser que el menor número de repeticiones a velocidades medias y bajas realizadas por el grupo VL15 no tuvo efecto negativo sobre aquellas acciones realizadas a velocidades bajas.

Por tanto, el presente estudio confirma el planteamiento que propone que no es necesario la realización del máximo número de repeticiones posible para alcanzar las mayores adaptaciones en fuerza cuando esta es entrenada de manera concurrente con la resistencia (Izquierdo-Gabarren et al. 2010). Aunque entrenar con una pérdida de velocidad alta dentro de la serie (~40%) podría resultar en un mayor grado de hipertrofia (Pareja-Blanco et al. 2016), esto podría ser contraproducentes para obtener adaptaciones relacionadas con la rápida producción de fuerza requerida por muchas disciplinas deportivas. Así pues, estos resultados confirman parcialmente la hipótesis 2, ya que el programa de entrenamiento que permitió sólo un 15% de descenso de la velocidad dentro de la serie mostró superiores aumentos en algunas de las variables evaluadas relacionadas con la fuerza, especialmente en aquellas realizadas a velocidades altas, en comparación con el programa de entrenamiento en el que se alcanzaron pérdidas de velocidad en la serie del 45%.

Posibles mecanismos responsables del efecto aditivo del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en resistencia

El rendimiento en resistencia no está influido solamente por factores cardiorrespiratorios responsables del transporte y la utilización de oxígeno, sino que también se ve determinado por aspectos periféricos relacionados con la producción de fuerza. El entrenamiento de fuerza pudo haber tenido un efecto aditivo sobre la mejora del rendimiento en resistencia en el presente estudio por distintos mecanismos. El incremento de la fuerza máxima y/o la RFD pudo ser uno de esos mecanismos (Rønnestad & Mujika, 2014). En nuestro estudio ambos grupos que realizaron el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia incrementaron significativamente la fuerza máxima ($1RM_{est}$), la curva carga / velocidad (VMP_C , $VMP_{\geq 1}$, $VMP_{< 1}$) y la capacidad de salto vertical tras 8 semanas de entrenamiento (**Tabla 21**). Teóricamente, dicho incremento de la fuerza podría significar una reducción de la intensidad relativa que representa el propio peso corporal (sin cambios durante todo el periodo experimental, **Tabla 20**) durante la carrera y, por tanto, disminuir así el estrés metabólico general que supone el ejercicio (Beattie et al., 2017). Además, tendría lugar una reducción del tiempo necesario para alcanzar un determinado valor de fuerza, necesario para mantener una velocidad de desplazamiento dada, lo que resultaría en un aumento del flujo de sangre que llega a los músculos mediante la reducción de tiempo en el que el mismo está restringido (Rønnestad & Mujika, 2014). Esto daría lugar a una fase de propulsión más corta y por consiguiente una fase de relajación más amplia para una misma frecuencia de ejecución. Esta fase de relajación muscular prolongada aumentaría el tiempo de perfusión del músculo, dando lugar a un mayor tiempo de tránsito capilar (Aagaard & Andersen, 2010). Un aumento en el flujo sanguíneo aumentaría la entrega de oxígeno y de sustratos para los músculos en funcionamiento contribuyendo así a la mejora del rendimiento de resistencia (Rønnestad & Mujika, 2014). Esta mejora de la eficiencia muscular es un importante mecanismo que puede estar detrás de la mayor mejora de la vVO_{2max} observada por los grupos VL15 y VL45 (5.6 y 3.1%, respectivamente) en comparación con GC (2.1%). De hecho, en el presente estudio observamos la existencia de una correlación entre los cambios observados en la vVO_{2max} y los cambios observados en la VMP_C (**Fig. 41**).

El resultado más novedoso del presente estudio fue que el entrenamiento realizado por el grupo VL15 mostró un “probable” mayor efecto sobre la vVO_{2max} (TE = 0.61) que el

entrenamiento realizado por VL45 y GC (TE = 0.42, y TE = 0.35; respectivamente). La vVO_{2max} no viene definida únicamente por factores cardiorrespiratorios (VO_{2max} , UL, y la economía del ejercicio), sino también por factores relacionados con la potencia muscular (Paavolainen et al. 1999). Se ha sugerido que la vVO_{2max} puede ser utilizada como una medida de potencia muscular en corredores de resistencia (Noakes, 1988), siendo esta entendida como la capacidad del sistema neuromuscular para producir energía durante un ejercicio máximo cuando la producción de energía glucolítica y/u oxidativa es alta y la capacidad contráctil del musculo puede ser limitada (Paavolainen et al. 1999). Las diferencias en las mejoras conseguidas en aquellas acciones realizadas a velocidades altas mostrada por el grupo VL15 (VMP \geq 1; CMJ, **Tabla 21**), acompañado por los cambios similares en la fuerza máxima pueden haber contribuido a las mayores ganancias en la vVO_{2max} observadas por dicho grupo. Además, en el presente estudio observamos una relación entre los cambios en dichas variables (VMP \geq 1 y CMJ) y la vVO_{2max} (**Fig. 41**). Estos resultados están parcialmente de acuerdo con los observados en Izquierdo-Gabarren et al. (2010) los cuales mostraron que un programa de entrenamiento de fuerza no llevado al fallo muscular proporcionó mayores ganancias en el rendimiento anaeróbico durante la acción de remo y sobre la potencia media en dicha acción. Por tanto, nuestros resultados también sugieren que cuando el volumen del entrenamiento de fuerza es controlado cuidadosamente, la realización de un elevado número de repeticiones (alcanzando el fallo muscular o próximo a este) no produce mayores ganancias en la fuerza y en la resistencia e incluso puede influir negativamente en el rendimiento en aquellas acciones realizadas a velocidades altas (Por ejemplo: saltar o correr a velocidades altas). Por el contrario, nuestros resultados nos permiten sugerir que el entrenamiento de fuerza con volúmenes moderados puede ayudar a aumentar en mayor medida el rendimiento en resistencia en comparación con el entrenamiento de resistencia aislado. Por lo tanto, en el contexto del entrenamiento simultáneo de la fuerza y la resistencia, las mayores ganancias en ambas cualidades pueden tener lugar realizando durante el entrenamiento de fuerza aproximadamente la mitad del número máximo de repeticiones que podrían ser realizadas, como ya sugería González-Badillo a principios de los años 90 (González-Badillo et al., 2017).

6.5 Conclusiones

En resumen, este estudio muestra cómo 8 semanas de entrenamiento de fuerza y resistencia realizado de manera concurrente permite adaptaciones positivas sobre ambas cualidades, manifestándose un efecto aditivo sobre el rendimiento en resistencia. Además, nuestros hallazgos sugieren que una alta pérdida de velocidad dentro de la serie durante el entrenamiento de fuerza no ofrece los mejores resultados ni en fuerza ni en resistencia en carrera. Sin embargo, el entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad moderada dentro de la serie (15%) resultó en similares e incluso superiores ganancias, según las variables analizadas, en el rendimiento, principalmente en acciones realizadas a alta velocidad. Es de destacar que estos resultados fueron obtenidos a pesar de que, ante la misma carga relativa (%1RM), el grupo VL15 sólo realizó aproximadamente el 45% del volumen de entrenamiento realizado por VL45. Por tanto, nuestros hallazgos sugieren que una vez que se ha alcanzado una pérdida de velocidad aproximadamente del 15% en la serie con respecto a la primera repetición en la misma serie, mayores incrementos del grado de esfuerzo dentro de la serie no producen mayores ganancias, y que incluso este exceso de repeticiones podría producir descensos en el rendimiento neuromuscular.

6.6 Aplicaciones prácticas

Los resultados del presente estudio contribuyen al desarrollo del conocimiento sobre los efectos de la carga de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento tanto en fuerza como en resistencia en el contexto del entrenamiento concurrente de ambas cualidades. La inclusión de un entrenamiento de fuerza de baja frecuencia semanal puede ser una estrategia adecuada para favorecer las adaptaciones tanto en resistencia como en fuerza. Debido a que las adaptaciones tanto en la fuerza como en la resistencia fueron similares e incluso superiores para el grupo que entrenó con una pérdida de velocidad dentro de la serie moderada, se sugiere que una vez que se ha alcanzado dicha pérdida de velocidad en el ejercicio de sentadilla completa, no deberían realizarse más repeticiones en la misma serie, ya que es probable que no se produzcan mayores ganancias de fuerza e incluso sea perjudicial para las adaptaciones relacionadas con la producción de fuerza por unidad de tiempo. Estos hallazgos podrían tener relevancia para muchos deportistas que necesitan desarrollar adaptaciones neuromusculares específicas de la manera más eficiente mientras intentan evitar el aumento de peso corporal y una excesiva fatiga, los cuales podrían interferir con el desarrollo del rendimiento deportivo específico como puede ser el rendimiento en carrera.

A man in a yellow tank top is performing a pull-up on a horizontal bar in a gym. The image is overlaid with a dense, diagonal hatching pattern. A blue horizontal bar is positioned across the middle of the image, containing the text 'CONCLUSIONES GENERALES'.

CONCLUSIONES GENERALES

7 Conclusiones generales

ESTUDIO I

- ✚ Las relaciones observadas entre las distintas medidas de rendimiento evaluadas en los ejercicios de polea al pecho y dominadas sugieren que ambos ejercicios tienen elementos comunes.
- ✚ El rendimiento en el ejercicio de dominadas, cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones realizado con el propio peso corporal está determinado por la fuerza relativa al peso corporal en el ejercicio de polea al pecho.
- ✚ Las diferentes dimensiones antropométricas y las variables de composición corporal parecen ejercer una influencia de signo diferente sobre ambos ejercicios dependiendo del indicador de fuerza evaluado. Una mayor MC, aunque sea en su mayor parte MLG, puede generar una cierta penalización en el rendimiento relativo al peso corporal mientras que podría tener un efecto positivo sobre el rendimiento en valores absolutos, como por ejemplo en 1RM.
- ✚ El rendimiento en el ejercicio de dominadas, cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones realizado con el propio peso corporal, parece estar favorecido por un somatotipo de clase mesomórfico-balanceado.

ESTUDIO II

- ✚ La relación alta observada entre la velocidad de desplazamiento y los porcentajes de 1RM nos permite afirmar que la velocidad media propulsiva puede ser utilizada como indicador de intensidad relativa también en el ejercicio de dominada.

- ✚ La relación observada entre la velocidad media propulsiva (VMP) y la intensidad relativa (% 1RM), así como la velocidad alcanzada con cada porcentaje de 1RM, se mantiene estable a pesar de: i) que tengan lugar cambios en el rendimiento; y, ii) del nivel de rendimiento de los sujetos.

- ✚ La relación alta entre el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado nos permite afirmar que la pérdida de velocidad dentro de la serie puede ser utilizado como un indicador del grado de esfuerzo que está teniendo lugar cuando se realizan repeticiones con el propio peso corporal en el ejercicio de dominadas.

- ✚ La relación observada entre el porcentaje de repeticiones realizado y el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie, así como el porcentaje de repeticiones realizado para una determinada pérdida de velocidad dentro de la serie, se mantiene estable a pesar de: i) que tengan lugar cambios en el rendimiento; y, ii) del nivel de rendimiento de los sujetos.

- ✚ Las relaciones directas y entre los cambios observadas entre la velocidad propulsiva máxima alcanzada sin añadir carga externa (V_{Max}), la velocidad media propulsiva del test incremental alcanzada con las cargas comunes y el rendimiento en el ejercicio de dominadas nos permite sugerir que dichas variables son indicadores válidos para detectar cambios en el rendimiento en el ejercicio de dominadas cuando este es evaluado a través del máximo número de repeticiones realizado con el propio peso corporal.

ESTUDIO III

- ✚ La utilización de un entrenamiento de fuerza de baja frecuencia semanal (2 sesiones / semana) parece ser una estrategia adecuada para favorecer las adaptaciones tanto en resistencia como en fuerza, manifestándose un cierto efecto aditivo sobre el rendimiento en resistencia.
- ✚ El entrenamiento de fuerza con una pérdida de velocidad dentro de la serie moderada (15%) produjo similares o mayores ganancias en el rendimiento físico, especialmente en aquellas acciones realizadas a velocidades altas.
- ✚ Estos resultados fueron obtenidos a pesar de que, ante la misma carga relativa (%1RM), el grupo VL15 sólo realizó aproximadamente el 45% del volumen de entrenamiento realizado por VL45.
- ✚ Una pérdida de velocidad dentro de la serie de aproximadamente el 15% en el ejercicio de sentadilla completa es suficiente para que se produzcan las mayores ganancias de fuerza y resistencia.
- ✚ Estos hallazgos podrían tener relevancia para muchos deportistas que necesitan desarrollar adaptaciones neuromusculares específicas de la manera más eficiente mientras intentan evitar el aumento de peso corporal y una excesiva fatiga, los cuales podrían interferir con el desarrollo del rendimiento deportivo específico como puede ser el rendimiento en resistencia en carrera.

APLICACIONES PRÁCTICAS



8 Aplicaciones prácticas

ESTUDIO I

- ✚ El uso del ejercicio de polea al pecho se presenta como una opción adecuada para tratar de mejorar la fuerza de tracción de los brazos, hombros y espalda gracias a que este permite un mayor ajuste e individualización de la carga, especialmente para aquellos deportistas que no son capaces de desplazar su propio peso corporal con el ejercicio de dominadas. Un incremento de la fuerza máxima de tracción de los brazos, hombros y espalda, sin incrementos adicionales en la masa corporal, puede resultar en un incremento en el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas con el propio peso corporal.

- ✚ Cuando el objetivo del entrenamiento es incrementar el número de repeticiones que pueden ser realizado con el propio peso corporal en el ejercicio de dominadas, sería recomendable alejarse de aquellos entrenamientos de fuerza que impliquen una exagerada hipertrofia muscular, ya que estos métodos supondrían un aumento concomitante de la masa corporal que podría resultar en un descenso de la fuerza relativa ante la misma.

- ✚ Para aquellos deportistas que posean una masa corporal pesada, a pesar de una composición adecuada, y/o un somatotipo con un mayor componente mesomórfico, y con necesidades de alcanzar un rendimiento alto en el máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas, podría ser aconsejable realizar algún entrenamiento dirigido a disminuir la masa corporal total de los mismos.

ESTUDIO II

De la relación existente entre la velocidad de ejecución y el porcentaje de 1RM pueden derivarse importantes aplicaciones prácticas para el control y la dosificación de la carga de entrenamiento en el ejercicio de dominadas.

- ✚ Evaluar la fuerza de un sujeto sin necesidad de realizar un test de 1RM ni de XRM ejercicio de dominadas.
- ✚ Determinar con bastante precisión qué porcentaje de 1RM representa una carga absoluta dada nada más el sujeto realice la primera repetición a la máxima velocidad posible, lo cual permite conocer el grado de esfuerzo real (% 1RM) con el que trabaja el sujeto utilizando cualquier carga desde el 60% al 95% de 1RM.
- ✚ Evaluar cambios en el rendimiento en el ejercicio de dominadas sin necesidad de hacer nunca ni 1RM ni un test de XRM. Dado que al medir la velocidad con cualquier carga en el ejercicio de dominadas sabremos qué porcentaje representa esa carga para el sujeto, si esa carga absoluta se ha utilizado previamente, podremos saber en qué porcentaje se ha modificado el rendimiento del sujeto en función del cambio de la velocidad con dicha carga.
- ✚ Dosificar la carga de trabajo en el ejercicio de dominadas. La información inmediata sobre la intensidad relativa que representa cualquier carga absoluta dada, una vez esta es levantada, nos permite hacer ajustes con el fin de que esfuerzo real realizado por el deportista se ajuste al esfuerzo programado para el entrenamiento.

De la relación existente entre la pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado con el propio peso corporal pueden derivarse importantes aplicaciones prácticas para el control y la dosificación de la carga de entrenamiento en el ejercicio de dominadas.

- ✚ Estimar de forma bastante precisa cuántas repeticiones podría hacer el sujeto en la serie y cuántas ha realizado sin necesidad de realizar un test de máximo número de repeticiones.

- ✚ Prescribir y controlar el volumen del entrenamiento durante el ejercicio de dominadas usando la magnitud de pérdida de velocidad alcanzada durante la serie.

- ✚ Igualar el grado de esfuerzo realizado por diferentes deportistas independientemente del número de repeticiones realizado por cada uno de ellos a través de la pérdida de velocidad dentro de la serie.

ESTUDIO III

- ✚ Aquellos deportistas cuyo rendimiento depende exclusivamente de la resistencia en carrera pueden incluir un entrenamiento de fuerza, realizado en días alternos y de baja frecuencia semanal, a su entrenamiento de resistencia habitual con el objetivo de conseguir mayores incrementos en el rendimiento en resistencia.

- ✚ Dentro de las características del entrenamiento de fuerza, la utilización del ejercicio de sentadilla completa, en un rango de intensidades del 60 al 80% de 1RM y con una pérdida de velocidad permitida dentro de la serie del 15% parece ser suficiente para conseguir adaptaciones similares tanto en fuerza como en resistencia.

- ✚ Cuando el rendimiento está relacionado con acciones que se realizan a velocidades altas (por ejemplo: correr, saltar, lanzar), una pérdida de velocidad dentro de la serie del 15% en el ejercicio de sentadillas completas parece ser un grado de esfuerzo más adecuado que seguir realizando repeticiones hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 45%.

LIMITACIONES DE LOS ESTUDIOS



9 Limitaciones de los estudios

Una de las principales limitaciones del **Estudio I** fue la no inclusión de una medida de fuerza absoluta en el ejercicio de dominadas (1RM). La inclusión de esta variable nos hubiera ayudado a comprender la relación existente entre ambos ejercicios en función al indicador de fuerza evaluado.

Además, las variables antropométricas fueron calculadas utilizando una serie de ecuación de predicción a través de la medición de pliegues cutáneos (Ball, 1993). Este hecho debe tenerse en cuenta al interpretar nuestros resultados, ya que dicho método presenta cierto grado de error en sus estimaciones. Sin embargo, este método ha sido escogido previamente (Harman et al., 2008) porque es un método más razonable de usar en estudio de campo (en oposición al absorciómetro de rayos X de doble energía o pesaje bajo el agua).

Finalmente, la inclusión de deportistas con un menor rendimiento en el ejercicio de dominadas nos hubiera permitido un mayor y mejor conocimiento sobre la influencia de la composición corporal y de la fuerza del miembro superior sobre el rendimiento en dicho ejercicio.

Se podría considerar que una de las limitaciones del **Estudio II** fue que la intensidad relativa mínima que pudo ser utilizada correspondió a la que represento el propio peso corporal, la cual fue de aproximadamente el 65% de 1RM, y por tanto, aquellas intensidades inferiores a esta no pudieron ser analizadas. No obstante, entendemos que esta es una limitación propia del ejercicio, no del diseño del estudio.

Una de las principales limitaciones de **Estudio III** fue la no inclusión de un grupo que realizara únicamente el entrenamiento de fuera. La existencia de dicho grupo nos hubiera permitido observar la existencia de un posible efecto atenuante de la realización simultánea del entrenamiento de fuerza y resistencia.

La inclusión de una variable representativa de la economía de carrera habría proporcionado información relevante sobre los posibles efectos del entrenamiento de fuerza sobre las adaptaciones en resistencia.

La duración del periodo experimental pudo ser otra posible limitación del **Estudio III**. Un periodo experimental más largo podría haber resultado en que determinadas variables que muestran una tendencia diferente entre grupos hubieran alcanzado una diferencia probablemente significativa, reduciendo así la probabilidad de incurrir en un error de tipo II. De hecho, varias variables muestran P valores inferiores a 0.10 sin llegar a alcanzar diferencias significativas, indicando que el grupo de menor pérdida de velocidad (VL15) podría haber obtenido mayores ganancias significativas del rendimiento que el grupo de mayor pérdida de velocidad (VL45) en más variables que las que aquí hemos destacado.

La no inclusión de variables cinéticas, obtenidas con una plataforma de fuerza, y la no medición de variables relacionadas con las adaptaciones fisiológicas en el **Estudio III**, ha limitado la interpretación de las causas que han originado esos resultados.

A person in a white lab coat is working in a laboratory setting. In the foreground, there is a treadmill. The background shows a window with blinds and a wall with some text, including "CONSEJERIA" and "Cm".

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

10 Futuras líneas de investigación

Tras las conclusiones obtenidas con la realización de nuestra Tesis Doctoral, y una vez descrita: i) la relación entre los ejercicios de dominadas y polea al pecho y la influencia de la composición corporal sobre el rendimiento en ambos; i) la relación entre la velocidad de ejecución y la intensidad relativa y, la relación entre la pérdida de velocidad dentro de la serie y el porcentaje de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas; y iii) la respuesta de dos grados de esfuerzo diferentes durante el entrenamiento de fuerza sobre variables relacionadas con el rendimiento tanto en la fuerza como en la resistencia, los avances en la ciencia del deporte, y en particular en nuestra línea de investigación, podrían continuar tratando de abordar los siguientes objetivos:

- Comprobar el posible efecto que podría tener la mejora de la fuerza y la resistencia muscular a través del ejercicio de polea al pecho sobre el rendimiento en el ejercicio de dominadas (transferencia).
- Comprobar los efectos agudos y a largo plazo de la manipulación voluntaria de la masa corporal sobre el rendimiento en el ejercicio de dominadas.
- Estudiar la variabilidad individual en el número máximo de repeticiones que pueden ser realizado en el ejercicio de dominadas ante distintas intensidades relativas (% 1RM).
- Comprobar los efectos sobre la hipertrofia, los cambios en el fenotipo muscular, la actividad electromiográfica y la economía de carrera de distintos grados de esfuerzo realizados durante el entrenamiento de fuerza, dentro de un programa de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia.
- Comprobar el posible efecto de interferencia sobre la fuerza tras la realización de un entrenamiento de fuerza con distintos grados de esfuerzo cuando este es realizado de manera aislada o de forma concurrente con el entrenamiento de resistencia.

The background of the page is a photograph of a gymnasium. In the foreground, a person is performing a sit-up on a blue mat. In the background, several other people are visible, some sitting on chairs and others standing. The gymnasium has a wooden floor and a white wall with a window. The overall scene is bright and active.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

11 Referencias bibliográficas

- Aagaard, P. (2003). Training-induced changes in neural function. *Exerc Sports Sci Rev*, 31(2), 61-67.
- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scand J Med Sci Sports*, 20(s2), 39-47.
- Aagaard, P., Andersen, J. L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J. L., Cramer, R., & Kjaer, M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scand J Med Sci Sports*, 21(6), e298-e307.
- Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment. Issues, controversies and challenges. *Sports Med*, 19(6), 401-417.
- Abernethy, P., & Quigley, B. M. (1993). Concurrent Strength and Endurance Training of the Elbow Extensors. *J Strength Cond Res*, 7(4), 234-240.
- Ahtiainen, J. P., Pakarinen, A., Kraemer, W. J., & Hakkinen, K. (2003). Acute hormonal and neuromuscular responses and recovery to forced vs maximum repetitions multiple resistance exercises. *Int J Sports Med*, 24(6), 410-418.
- Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2000). Myosin heavy chain IIX overshoot in human skeletal muscle. *Muscle & nerve*, 23(7), 1095-1104.
- Andersen, J. L., & Aagaard, P. (2010). Effects of strength training on muscle fiber types and size; consequences for athletes training for high-intensity sport. *Scand J Med Sci Sports*, 20 Suppl 2, 32-38.
- Atha, J. (1981). Strengthening muscle. *Exerc Sports Sci Rev*, 9(1), 1-74.
- Atherton, P. J., & Smith, K. (2012). Muscle protein synthesis in response to nutrition and exercise. *J physiol*, 590(5), 1049-1057.
- Atkinson G., Nevill A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*, 26(4), 217-38.

- Baar, K. (2006). Training for endurance and strength: lessons from cell signaling. *Med Sci Sports Exerc*, 38(11), 1939.
- Baar, K. (2014). Using molecular biology to maximize concurrent training. *Sports Med*, 44(2), 117-125.
- Babcock, L., Escano, M., D'Lugos, A., Todd, K., Murach, K., & Luden, N. (2012). Concurrent aerobic exercise interferes with the satellite cell response to acute resistance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 302(12), R1458-R1465.
- Bacon, N. T., Wingo, J. E., Richardson, M. T., Ryan, G. A., Pangallo, T. C., & Bishop, P. A. (2012). Effect of two recovery methods on repeated closed-handed and open-handed weight-assisted pull-ups. *J Strength Cond Res*, 26(5), 1348-1352.
- Baker, D. G., & Newton, R. U. (2004). An analysis of the ratio and relationship between upper body pressing and pulling strength. *J Strength Cond Res*, 18(3), 594-598.
- Balabinis, C. P., Psarakis, C. H., Moukas, M., Vassiliou, M. P., & Behrakis, P. K. (2003). Early phase changes by concurrent endurance and strength training. *J Strength Cond Res*, 17(2), 393-401.
- Ball, T. E. (1993). The predictability of muscular strength and endurance from calisthenics. *Res Q Exerc Sport*, 64, 39.
- Ball, T. E., Van Vleet, C., Lahey, R. J., & Glass, A. L. (1995). The relationship of relative muscular endurance to maximal lifting capacity in college men and women. *J Strength Cond Res*, 9, 277.
- Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J., & Grivas, G. V. (2016). The effects of strength training on running economy in highly trained runners: a systematic review with meta-analysis of controlled trials. *J Strength Cond Res*, 30(8): 2361-2368
- Barnes, K. R., Hopkins, W. G., McGuigan, M. R., Northuis, M. E., & Kilding, A. E. (2013). Effects of resistance training on running economy and cross-country performance. *Med Sci Sports Exerc*, 45 (12), 2322–2331.

- Barnes, K. R., & Kilding, A. E. (2015). Running economy: measurement, norms, and determining factors. *Sports Med Open*, 1(8), 1.
- Bassett, D. R., & Howley, E. T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*, 32(1), 70-84.
- Bastiaans, J. J., van Diemen, A. B., Veneberg, T., & Jeukendrup, A. E. (2001). The effects of replacing a portion of endurance training by explosive strength training on performance in trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 86(1), 79-84.
- Batterham, A. M., & Cox, A. J. (2006). Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. *Sportscience*, 10, 46-51.
- Batterham, A. M., & Hopkins, W. G. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform*, 1(1), 50-57.
- Beattie, K., Carson, B. P., Lyons, M., Rossiter, A., & Kenny, I. C. (2017). The Effect of Strength Training on Performance Indicators in Distance Runners. *J Strength Cond Res*, 31(1), 9-23.
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Med*, 44(6), 845-865.
- Bell, G. J., Petersen, S. R., Wessel, J., Bagnall, K., & Quinney, H. A. (1991). Physiological adaptations to concurrent endurance training and low velocity resistance training. *Int J Sports Med*, 12(04), 384-390.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R., & Quinney, H. A. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur J Appl Physiol*, 81(5), 418-427.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Socha, T., Maclean, I., & Quinney, H. A. (1997). Effect of Strength Training and Concurrent Strength and Endurance Training on Strength, Testosterone, and Cortisol. *J Strength Cond Res*, 11(1), 57-64.
- Berryman, N., Maurel, D., & Bosquet, L. (2010). Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *J Strength Cond Res*, 24(7), 1818-1825.

- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness. *Sports Med*, 35(10), 841-851.
- Bishop, D., Jenkins, D. G., Mackinnon, L. T., McEniery, M., & Carey, M. F. (1999). The effects of strength training on endurance performance and muscle characteristics. *Med Sci Sports Exerc*, 31(6), 886-891.
- Bosco, C., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 50(2), 273-282.
- Bottinelli, R., Pellegrino, M. A., Canepari, M., Rossi, R., & Reggiani, C. (1999). Specific contributions of various muscle fibre types to human muscle performance: an in vitro study. *J Electromyogr Kinesiol*, 9(2), 87-95.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Leggett, S. H., & Pollock, M. L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Med Sci Sports Exerc*, 25(1), 132-138.
- Brzycki, M. (1993). Strength testing predicting a one-rep max from reps-to-fatigue. *J Health, Phys Educ, Recr Dance*, 64(1), 88-90.
- Cadore, E. L., Pinto, R. S., Pinto, S. S., Alberton, C. L., Correa, C. S., Tartaruga, M. P., Kruegel, L. F. M. (2011). Effects of strength, endurance, and concurrent training on aerobic power and dynamic neuromuscular economy in elderly men. *J Strength Cond Res*, 25(3), 758-766.
- Caiozzo, V. J., Perrine, J. J., & Edgerton, V. R. (1981). Training-induced alterations of the in vivo force-velocity relationship of human muscle. *J Appl Physiol*, 51(3), 750-754.
- Campos, G. E., Luecke, T. J., Wendeln, H. K., Toma, K., Hagerman, F. C., Murray, T. F., Staron, R. S. (2002). Muscular adaptations in response to three different resistance-training regimens: specificity of repetition maximum training zones. *Eur J Appl Physiol*, 88(1-2), 50-60.
- Carter, JE Lindsay, & Heath, Barbara Honeyman. (1990). *Somatotyping: development and applications* (Vol. 5): Cambridge University Press.

- Chandler, T., Ware, J. S., & Mayhew, J. L. (2001). Relationship of lat-pull repetitions and pull-ups to 1-RM lat-pull strength in male athletes. *J Human Mov Stud*, 41(1), 25-38.
- Chromiak, J. A., Mulvaney, D. R. (1990). A review: the effects of combined strength and endurance training on strength development. *J Appl Sport Sci Res*, 4: 55-60
- Chtara, M., Chaouachi, A., Levin, G., Chaouachi, M., Chamari, K., Amri M., & Laursenet, P. B. (2008). Effect of concurrent endurance and circuit resistance training sequence on muscular strength and power development. *J Strength Cond Res*, 22(4):1037-1045
- Chtourou, H., Hammouda, O., Souissi, H., Chamari, K., Chaouachi, A., & Souissi, N. (2012). Diurnal variations in physical performances related to football in young soccer players. *Asian J Sports Med*, 3(3), 139-144.
- Coffey, V. G., & Hawley, J. A. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports Med*, 37(9), 737-763.
- Coffey, V. G., Jemiolo, B., Edge, J., Garnham, A. P., Trappe, S. W., & Hawley, J. A. (2009). Effect of consecutive repeated sprint and resistance exercise bouts on acute adaptive responses in human skeletal muscle. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 297(5), 1441-1451.
- Coffey, V. G., Pilegaard, H., Garnham, A. P., O'Brien, B. J., & Hawley, J. A. (2009). Consecutive bouts of diverse contractile activity alter acute responses in human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 106(4), 1187-1197.
- Coffey, V. G., Zhong, Z., Shield, A., Canny, B. J., Chibalin, A. V., Zierath, J. R., & Hawley, J. A. (2006). Early signaling responses to divergent exercise stimuli in skeletal muscle from well-trained humans. *FASEB J*, 20(1), 190-192.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2 ed.): Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates.

- Conceição F., Fernandes J., Lewis M., González-Badillo J. J., Jiménez-Reyes P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *J Sports Sci*, 34: 1099–1106
- Cormie P., McGuigan M. R., Newton R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power. Part 1 – biological basis of maximal power production. *Sports Med*, 41(1): 17-38, 528
- Costill, D. L. (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 7(2), 61.
- Costill, D. L., Thomason, H., & Roberts, E. (1972). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports*, 5(4), 248-252.
- Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Horowitz, J. F., & Beltz, J. D. (1992). Cycling efficiency is related to the percentage of type I muscle fibers. *Med Sci Sports Exerc*, 24(7), 782-788.
- Craib, M. W., Mitchell, V. A., Fields, K. B., Cooper, T. R., Hopewell, R., & Morgan, D. W. (1996). The association between flexibility and running economy in sub-elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 28(6), 737-743.
- Craig, B. W., Lucas, J., Pohlman, R., & Stelling, H. (1991). The Effects of Running, Weightlifting and a Combination of Both on Growth Hormone Release. *J Strength Cond Res*, 5(4), 198-203.
- Crewther, B., Cronin, J., & Keogh, J. (2005). Possible stimuli for strength and power adaptation. *Sports Med*, 35(11), 967-989.
- Cronin, J. B., McNair, P. J., & Marshall, R. N. (2003). Force-velocity analysis of strength-training techniques and load: implications for training strategy and research. *J Strength Cond Res*, 17(1), 148-155.
- Damasceno, M. V., Lima-Silva, A. E., Pasqua, L. A., Tricoli, V., Duarte, M., Bishop, D. J., & Bertuzzi, R. (2015). Effects of resistance training on neuromuscular characteristics and pacing during 10-km running time trial. *Eur J Appl Physiol*, 115(7), 1513-1522.

- Davies, T. O. R., Halaki, M., & Hackett, D. (2016). Effect of Training Leading to Repetition Failure on Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med*, 46(4), 487-502.
- Davis, W. J., Wood, D. T., Andrews, R. G., Elkind, L. M., & Davis, W. B. (2008). Concurrent training enhances athletes' strength, muscle endurance, and other measures. *J Strength Cond Res*, 22(5), 1487-1502.
- Delorme, T. L. (1945). Restoration of muscle power by heavy-resistance exercises. *J Bone Joint Surg Am*, 27(4), 645-667.
- Desgorces, F. D., Berthelot, G., Dietrich, G., & Testa, M. S. A. (2010). Local muscular endurance and prediction of 1 repetition maximum for bench in 4 athletic populations. *J Strength Cond Res*, 24(2), 394-400.
- Di Prampero, P. E. (2003). Factors limiting maximal performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, 90(3-4), 420-429.
- Di Prampero, P. E., Atchou, G., Brückner, J. C., & Moia, C. (1986). The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 55(3), 259-266.
- Docherty, D., & Sporer, B. (2000). A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent aerobic and strength training. *Sports Med*, 30(6), 385-394.
- Doma, K., & Deakin, G. B. (2014). The acute effects intensity and volume of strength training on running performance. *Eur J Sport Sci*, 14(2), 107-115.
- Doma, K., Schumann, M., Sinclair, W. H., Leicht, A. S., Deakin, G. B., & Häkkinen, K. (2015). The repeated bout effect of typical lower body strength training sessions on sub-maximal running performance and hormonal response. *Eur J Appl Physiol*, 115(8), 1789-1799.
- Dowling, J. J., & Vamos, L. (1993). Identification of kinetic and temporal factors related to vertical jump performance. *J Appl Biomech*, 9, 95-95.

- Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., Lindsell, R. P., Pyne, D. B., Hunt, P. H., & McKenna, M. J. (2005). Training leading to repetition failure enhances bench press strength gains in elite junior athletes. *J Strength Cond Res*, *19*(2), 382-388.
- Drinkwater, E. J., Lawton, T. W., McKenna, M. J., Lindsell, R. P., Hunt, P. H., & Pyne, D. B. (2007). Increased number of forced repetitions does not enhance strength development with resistance training. *J Strength Cond Res*, *21*(3), 841-847.
- Dudley, G. A., & Djamil, R. (1985). Incompatibility of endurance-and strength-training modes of exercise. *J Appl Physiol*, *59*(5), 1446-1451.
- Ellenbecker, T. S., & Davies, G. J. (2001). *Closed kinetic chain exercise: a comprehensive guide to multiple joint exercise*: Human Kinetics.
- Enoka, R. M. (2008). *Neuromechanics of human movement*: Human kinetics.
- Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1992). Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*, *72*(5), 1631-1648.
- Farrell, P. A., Wilmore, J. H., Coyle, E. F., Billing, J. E., & Costill, D. L. (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports*, *11*(4), 338-344.
- Faude, O., Kindermann, W., & Meyer, T. (2009). Lactate threshold concepts. *Sports Med*, *39*(6), 469-490.
- Faulkner, J. (1968). *Physiology of swimming and diving*. Falls: H. Exerc. Phy. Baltimore. Academic Press.
- Ferrauti, A., Bergemann, M., & Fernandez-Fernandez, J. (2010). Effects of a concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *J Strength Cond Res*, *24*(10), 2770-2778.
- Flanagan, S. P., Vanderburgh, P. M., Borchers, S. G., & Kohstall, C. D. (2003). Training college-age women to perform the pull-up exercise. *Res Q Exerc Sport*, *74*(1), 52-59.

- Fleck, S. J., & Kraemer, W. J. (1987). *Designing Resistance Training Programs*. Champaign, III: Human Kinetics Books.
- Floyd, R. T., & Thompson, C. W. (2012). *Structural Kinesiology* (pp. 208-209, 217): New York, NY: McGraw-Hill.
- Flück, M. , & Hoppeler, H. (2003). Molecular basis of skeletal muscle plasticity-from gene to form and function. *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol*, 146, 159–216.
- Folland, J. P., Irish, C. S., Roberts, J. C., Tarr, J. E., & Jones, D. A. (2002). Fatigue is not a necessary stimulus for strength gains during resistance training. *Br J Sports Med*, 36(5), 370-373.
- Folland, J. P., & Williams, A. G. (2007). Morphological and neurological contributions to increased strength. *Sports Med*, 37(2), 145-168.
- Fox, David J. (1969). *The research process in education*: Holt, Rinehart, and Winston.
- Frost, D. M., Cronin, J. B., & Newton, R. U. (2008). A comparison of the kinematics, kinetics and muscle activity between pneumatic and free weight resistance. *Eur J Appl Physiol*, 104(6), 937-956.
- Fry, A. C. (2004). The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*, 34(10), 663-679.
- Garber C. E., Blissmer B., Deschenes M. R., Franklin B. A., Lamonte M. J., Lee I. M., Nieman D. C., & Swain D. P. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1334-1359.
- García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Carrasco, L., Díaz, A., & Izquierdo, M. (2009). Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *Eur J Appl Physiol*, 106(4), 629-638.

- Gergley, J. C. (2009). Comparison of two lower-body modes of endurance training on lower-body strength development while concurrently training. *J Strength Cond Res*, 23(3), 979-987.
- Goldspink, G., Scutt, A., Loughna, P. T., Wells, D. J., Jaenicke, T., & Gerlach, G. F. (1992). Gene expression in skeletal muscle in response to stretch and force generation. *Am J Physiol*, 262(3), R356-R363.
- González-Badillo. (1991). *Halterofilia: Comité Olímpico Español*.
- González-Badillo. (1992). *Metodología del entrenamiento para el desarrollo de la fuerza*. Comité Olímpico Español (COES).
- González-Badillo. (2000). Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento deportivo. *Infocoes*, 5(2), 3-14.
- González-Badillo, & Gorostiaga. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo* (Vol. 302): Inde.
- González-Badillo, & Ribas. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza* (Vol. 308): Inde.
- González-Badillo, J. J. (2005). Proyecto de investigación: Identificación de las variables dinámicas, cinemáticas y temporales relacionadas con el salto vertical con contramovimiento. Universidad Pablo de Olavide. Sevilla.
- González-Badillo, J. J., & Marques, M. C. (2010). Relationship between kinematic factors and countermovement jump height in trained track and field athletes. *The J Strength Cond Res*, 24(12), 3443-3447.
- González-Badillo, J. J., Marques, M. C., & Sánchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J hum kinet*, 29(Special Issue), 15-19.
- González-Badillo, J. J., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Pareja-Blanco, F. (2014). Maximal intended velocity training induces greater gains in bench press performance than deliberately slower half-velocity training. *Eur J Sport Sci*, 14(8), 772-781.

- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*, 31(05), 347-352.
- González-Badillo, J. J., Sánchez-Medina, L., Pareja-Blanco, F., & Rodríguez-Rosell, D. (2017). *La velocidad de ejecución como referencia para la programación, control y evolución del entrenamiento de fuerza*. Sevilla, España: ERGOTECH
- González-Badillo, J. J., Yáñez-García, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodríguez-Rosell, D. (2017). Velocity Loss as a Variable for Monitoring Resistance Exercise. *Int J Sports Med*, 38(03), 217-225.
- Goreham, C., Green, H. J., Ball-Burnett, M., & Ranney, D. (1999). High-resistance training and muscle metabolism during prolonged exercise. *Am J Physiol*, 276(3), E489-E496.
- Gorostiaga, E. M., Navarro-Amézqueta, I., Calbet, J. A. L., Hellsten, Y., Cusso, R., Guerrero, M., & Izquierdo, M. (2012). Energy metabolism during repeated sets of leg press exercise leading to failure or not. *PloS one*, 7(7), e40621.
- Grant, S., Hynes, V., Whittaker, A., & Aitchison, T. (1996). Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci*, 14(4), 301-309.
- Gravelle, B. L., & Blessing, D. L. (2000). Physiological Adaptation in Women Concurrently Training for Strength and Endurance. *J Strength Cond Res*, 14(1), 5-13.
- Gualano, A. B., Bozza, T., Lopes, De Campos P., Roschel, H., Dos Santos, C. A., Luiz, MM., & Herbert, L. J. A. (2011). Branched-chain amino acids supplementation enhances exercise capacity and lipid oxidation during endurance exercise after muscle glycogen depletion. *J Sports Med Phys Fitness*, 51(1), 82-88.
- Guglielmo, L. G. A., Greco, C. C., & Denadai, B. S. (2009). Effects of strength training on running economy. *Int J Sports Med*, 30(01), 27-32.
- Gülch, R. W. (1994). Force-velocity relations in human skeletal muscle. *Int J Sports Med*, 15(S1), S2-S10.

- Häkkinen, K. (1993). Neuromuscular fatigue and recovery in male and female athletes during heavy resistance exercise. *Int J Sports Med*, 14(02), 53-59.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., & Kaarakainen, E. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur J Appl Physiol*, 89(1), 42-52.
- Häkkinen, K., & Kauhanen, H. (1989). Daily changes in neural activation, force-time and relaxation-time characteristics in athletes during very intense training for one week. *Electromyogr Clin Neuro Physiol*, 29(4), 243-249.
- Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1986). Effects of fatigue and recovery on electromyographic and isometric force-and relaxation-time characteristics of human skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 55(6), 588-596.
- Häkkinen, K., Pakarinen, A., Alen, M., Kauhanen, H., & Komi, P. V. (1987). Relationships between training volume, physical performance capacity, and serum hormone concentrations during prolonged training in elite weight lifters. *Int J Sports Med*, 8(S 1), S61-S65.
- Halet, K. A., Mayhew, J. L., Murphy, C., & Fanthorpe, J. (2009). Relationship of 1 repetition maximum lat-pull to pull-up and lat-pull repetitions in elite collegiate women swimmers. *J Strength Cond Res*, 23(5), 1496-1502.
- Harman, E. A., Gutekunst, D. J., Frykman, P. N., Nindl, B. C., Alemany, J. A., Mello, R. P., & Sharp, M. A. (2008). Effects of two different eight-week training programs on military physical performance. *J Strength Cond Res*, 22(2), 524-534.
- Hauswirth, C., Argentin, S., Bieuzen, F., Le Meur, Y., Couturier, A., & Brisswalter, J. (2010). Endurance and strength training effects on physiological and muscular parameters during prolonged cycling. *J Electromyogr Kinesiol*, 20(2), 330-339.
- Hawley, J. A. (2002). Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance training. *Clin Exp Pharmacol Physiol*, 29(3), 218-222.
- Heath, B. H., & Carter, J. E. (1967). A modified somatotype method. *Am J Phys Anthropol*, 27(1), 57-74.

- Hedges, L. V., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods for meta-analysis*. Academic Press.
- Heggelund, J., Fimland, M. S., Helgerud, J., & Hoff, J. (2013). Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. *Eur J Appl Physiol*, *113*(6), 1565-1573.
- Hennessy, L. C., & Watson, A. W. S. (1994). The Interference Effects of Training for Strength and Endurance Simultaneously. *J Strength Cond Res*, *8*(1), 12-19.
- Heyward, V. H., & Stolarczyk, L. M. (1996). *Body composition basics. Applied body composition assessment*. Champaign IL: Human Kinetics Publishers, 2-20.
- Hickson, R. C. (1980). Interference of strength development by simultaneously training for strength and endurance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, *45*(2-3), 255-263.
- Hickson, R. C., Dvorak, B. A., Gorostiaga, E. M., Kurowski, T. T., & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol*, *65*(5), 2285-2290.
- Hill, A. V. (1938). The Heat of Shortening and the Dynamic Constants of Muscle. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B - Biological Sciences*, *126*(843), 136-195. doi: 10.1098/rspb.1938.0050
- Hill, A. V. (1953). The mechanics of active muscle. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *141*(902), 104-117.
- Hoff, J., Gran, A., & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scand J Med Sci Sports*, *12*(5), 288-295.
- Hoff, J., Helgerud, J., & Wisloff, U. (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc*, *31*, 870-877.
- Hoffman, J. (2014). *Physiological aspects of sport training and performance: Human Kinetics*.
- Holviala, J., Häkkinen, A., Karavirta, L., Nyman, K., Izquierdo, M., Gorostiaga, EM., Kraemer, W. J. (2010). Effects of combined strength and endurance training on

- treadmill load carrying walking performance in aging men. *J Strength Cond Res*, 24(6), 1584-1595.
- Holviala, J., Kraemer, W. J., Sillanpää, E., Karppinen, H., Avela, J., Kauhanen, A., Häkkinen, K. (2012). Effects of strength, endurance and combined training on muscle strength, walking speed and dynamic balance in aging men. *Eur J Appl Physiol*, 112(4), 1335-1347.
- Hollander, D. B., Kraemer, R. R., Kilpatrick, M. W., Ramadan, Z. G., Reeves, G. V., Francois., Michelle., Tryniecki, J. L. (2007). Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *J Strength Cond Res*, 21(1), 37-40.
- Holloszy, J. O. (1967). Biochemical adaptations in muscle effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle. *J Biol Chem*, 242(9), 2278-2282.
- Holloszy, J. O., & Coyle, E. F. (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol*, 56(4), 831-838.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med*, 30(1), 1-15.
- Hopkins, W. G. (2006). Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. *Sportscience*, 10, 46-51.
- Hopkins, W. G., Marshall, S., Batterham, A., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3.
- Hunter, G., Demment, R., & Miller, D. (1987). Development of strength and maximum oxygen uptake during simultaneous training for strength and endurance. *J Sports Med Phys Fitness*, 27(3), 269-275.
- Impellizzeri, F. M., Marcora, S. M., Rampinini, E., Mognoni, P., & Sassi, A. (2005). Correlations between physiological variables and performance in high level cross country off road cyclists. *Br J Sports Med*, 39(10), 747-751.

- Ingham, S., Whyte, G., Pedlar, C., Bailey, D., Dunman, N., & Nevill, A. (2008). Determinants of 800-m and 1500-m running performance using allometric models. *Med Sci Sports Exerc*, 40(2), 345.
- ISAK, Sociedad internacional para el avance de la kinantropometría. (2001). Estándares Internacionales para la Evaluación Antropométrica (1 ed.). Sudáfrica: ISAK.
- Izquierdo-Gabarren, M., & Izquierdo, M. (2010). Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers. *Med Sci Sports Exerc*, 42, 1209-1214.
- Izquierdo-Gabarren, M., González De Txábarri Expósito, R., García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., De Villarreal, E. S., & Izquierdo, M. (2010). Concurrent endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc*, 42(6), 1191-1199.
- Izquierdo, M., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W. J., Altadill, A., Gorostiaga, E. M. (2006). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med*, 27(09), 718-724.
- Izquierdo, M., Häkkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W. J., & Gorostiaga, E. M. (2005). Effects of combined resistance and cardiovascular training on strength, power, muscle cross-sectional area, and endurance markers in middle-aged men. *Eur J Appl Physiol*, 94(1-2), 70-75.
- 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. *J Appl Physiol*, 100(5), 1647-1656.
- Izquierdo, M., Ibanez, J., Hakkinen, K., Kraemer, W. J., Larrion, J. L., & Gorostiaga, E. M. (2004). Once weekly combined resistance and cardiovascular training in healthy older men. *Med Sci Sports Exerc*, 36(3), 435-443.
- Jensen, C. R. (1963). Effects of five training combinations of swimming and weight training on swimming the front crawl. *Res Quarterly*, 34(4), 471-477.

- Jidovtseff, B., Croisier, J.L., Lhermerout, C., Serre, L., Sac, D., & Crielaard, J.M. (2006). The concept of iso-inertial assessment: Reproducibility analysis and descriptive data. *Isokinet Exerc*, 14(1), 53-62.
- Jidovtseff, B., Croisier, J.L., Scimar, N., Demoulin, C., Maquet, D., & Crielaard, J.M. (2008). The ability of isoinertial assessment to monitor specific training effects. *J Sports Med Phys Fitness*, 48(1), 55.
- Johnson, D., Lynch, J., Nash, K., Cygan, J., & Mayhew, J. L. (2009). Relationship of lat-pull repetitions and pull-ups to maximal lat-pull and pull-up strength in men and women. *J Strength Cond Res*, 23(3), 1022-1028.
- Johnson, R. E., Quinn, T. J., Kertzer, R., & Vroman, N. B. (1997). Strength training in female distance runners: impact on running economy. *J Strength Cond Res*, 11(4), 224-229.
- Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Med*, 29(6), 373-386.
- Karavirta, L., Häkkinen, A., Sillanpää, E., García-López, D., Kauhanen, A., Haapasaari, A., Izquierdo, M. (2011). Effects of combined endurance and strength training on muscle strength, power and hypertrophy in 40–67-year-old men. *Scand J Med Sci Sports*, 21(3), 402-411.
- Kelly, C. M., Burnett, A. F., & Newton, M. J. (2008). The effect of strength training on three-kilometer performance in recreational women endurance runners. *J Strength Cond Res*, 22(2), 396-403.
- Knuttgén, H. G., & Kraemer, W. J. (1987). Terminology and measurement in exercise performance. *J Strength Cond Res*, 1(1), 1-10.
- Kraemer, W. J., Ratamess, N., Fry, A. C, Triplett-McBride, T., Koziris, L. P., Bauer, J. A., Fleck, S. J. (2000). Influence of resistance training volume and periodization on physiological and performance adaptations in collegiate women tennis players. *Am J Sports Med*, 28(5), 626-633.

- Kraemer, W. J., Fleck, S.J., & Deschenes, M. (1988). Exercise physiology corner: A Review: Factors in exercise prescription of resistance training. *Strength Cond J*, 10(5), 36-42.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674-688.
- Kraemer, W. J., Patton, J. F., Gordon, S. E., Harman, E. A., Deschenes, M. R., Reynolds, K., Dziados, J. E. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol* 78(3), 976-989.
- 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. *J Strength Cond Res*, 11(3), 143-147.
- LaChance, P. F., & Hortobagyi, T. (1994). Influence of Cadence on Muscular Performance During Push-up and Pull-up Exercise. *J Strength Cond Res*, 8(2), 76-79.
- Leger L., & Boucher R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Universite de Montreal track test. *Can J of Appl Sports Sci*, 5, 77-84.
- Leveritt, M., Abernethy, P. J., Barry, B. K., & Logan, P. A. (1999). Concurrent strength and endurance training. *Sports Med*, 28(6), 413-427.
- Levin, G. T., Mcguigan, M. R., & Laursen, P. B. (2009). Effect of concurrent resistance and endurance training on physiologic and performance parameters of well-trained endurance cyclists. *J Strength Cond Res*, 23(8), 2280-2286.
- Loturco I., Pereira L. A., Cal Abad C. C., Gil S., Kitamura K., Kobal R., Nakamura F. Y. (2016). Using the bar-velocity to predict the maximum dynamic strength in the half-squat exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 11: 697-700
- Lucia, A., Pardo, J., Durantez, A., Hoyos, J., & Chicharro, J. L. (1998). Physiological differences between professional and elite road cyclists. *Int J Sports Med*, 19(05), 342-348.

- Mahoney, D. J., & Tarnopolsky, M. A. (2005). Understanding skeletal muscle adaptation to exercise training in humans: contributions from microarray studies. *Phys Med Rehabil Clin N Am*, 16(4), 859-873.
- Maior, A. S., Varallo, Â. T., Matoso, André Gustavo De Paula Santos., Edmundo, D. A., De Oliveira, M. M., & Minari, V. A. (2007). Male muscle strength response to two methodologies for 1RM testing. *Rev Brasileira Cin Des Hum*, 9(2), 177-182.
- Marques, M. C., & González-Badillo, J. J. (2011). Relationship between strength parameters and squat jump performance in trained athletes/Relações entre diferentes parâmetros de força ea performance do squat jump em atletas treinados. *Motricidade*, 7(4), 43.
- Matiegka, J. (1921). The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol*, 4(3), 223-230.
- Mayhew, J. L., Ball, T.E., Arnold, M. D., & Bowen, J. C. (1992). Relative Muscular Endurance Performance as a Predictor of Bench Press Strength in College Men and Women. *J Strength Cond Res*, 6(4), 200-206.
- McCarthy, J. P., Agre, J. C., Graf, B. K., Pozniak, M. A., & Vailas, A. C. (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*, 27(3), 429-436.
- McCarthy, J. P., Pozniak, M. A., & Agre, J. C. (2002). Neuromuscular adaptations to concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc*, 34(3), 511-519.
- McCartney, N. (1999). Acute responses to resistance training and safety. *Med Sci Sports Exerc*, 31(1), 31-37.
- McKean, M. R., & Burkett, B. J. (2014). The influence of upper-body strength on flat-water sprint kayak performance in elite athletes. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(4).

- McLaughlin, J. E., Howley, E. T., Bassett Jr, D. R., Thompson, D. L., & Fitzhugh, E. C. (2010). Test of the classic model for predicting endurance running performance. *Med Sci Sports Exerc*, 42(5), 991-997.
- Mikkola, J., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Pollari, T., & Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *Int J Sports Med*, 28(07), 602-611.
- Mikkola, J., Rusko, H. K., Nummela, A. T., Paavolainen, L. M., & Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training increases activation and fast force production of leg extensor muscles in endurance athletes. *J Strength Cond Res*, 21(2), 613-620.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K., & Nummela, A. T. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *J Sports Sci*, 29(13), 1359-1371.
- Millet, G. P., Dréano, P., & Bentley, D. J. (2003). Physiological characteristics of elite short-and long-distance triathletes. *Eur J Appl Physiol*, 88(4-5), 427-430.
- Millet, G. P., Jaouen, B., Borrani, F., & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO₂ kinetics. *Med Sci Sports Exerc*, 34(8), 1351-1359.
- Mitchell, C. J., Churchward-Venne, T. A., West, D. W., Burd, N. A., Breen, L., Baker, S. K., & Phillips, S. M. (2012). Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol* 113(1), 71-77.
- Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., López-Chicharro, J., & & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load, Force and Power-Velocity Relationships in the Prone Pull-Up Exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-22.

- Nelson, A. G., Arnall, D. A., Loy, S. F., Silvester, L. J., & Conlee, R. K. (1990). Consequences of combining strength and endurance training regimens. *Phys Ther*, 70(5), 287-294.
- Noakes, T. D. (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc*, 20: 319–330, 1988.
- Noakes, T. D., Myburgh, K. H., & Schall, R. (1990). Peak treadmill running velocity during the VO₂max test predicts running performance. *J Sports Sci*, 8(1), 35-45.
- Østerås, H., Helgerud, J., & Hoff, J. (2002). Maximal strength-training effects on force-velocity and force-power relationships explain increases in aerobic performance in humans. *Eur J Appl Physiol*, 88(3), 255-263.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Härmäläinen, I., Nummela, A., & Rusko, H. (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol*, 86(5), 1527-1533.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., & Rusko, H. (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 62(4), 251-255.
- Paavolainen, L., Nummela, A., & Rusko, H. (2000). Muscle power factors and VO₂max as determinants of horizontal and uphill running performance. *Scand J Med Sci Sports*, 10(5), 286-291.
- Paavolainen, L., Nummela, A., Rusko, H., & Häkkinen, K. (1999). Neuromuscular characteristics and fatigue during 10 km running. *Int J Sports Med*, 20(08), 516-521.
- Pallarés, J. G., Sánchez-Medina, L., Pérez, C. E., De La Cruz-Sánchez, E., & Mora-Rodríguez, R. (2014). Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci*, 32(12), 1165-1175.

- Panissa, V. L. G., Azevedo Neto, R. M., Julio, U. F., Andreato, L. V., Pinto e Silva, C. M., Hardt, F., & Franchini, E. (2013). Maximum number of repetitions, total weight lifted and neuromuscular fatigue in individuals with different training backgrounds. *Biol Sport*, *30*, 131-136.
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & González-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med*, *35*(11), 916-924.
- Pareja-Blanco, F., Sánchez-Medina, L., Suárez-Arrones, L., & González-Badillo, J. J. (2016). Effects of Velocity Loss During Resistance Training on Performance in Professional Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, 1-24.
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., López-López, C., Mora-Custodio, R., & González-Badillo, J. J. (2016). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin Physiol Funct Imaging*, [Epub ahead of print] doi: 10.1111/cpf.1234
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R.,...González-Badillo, J. J. (2016). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports*, doi: 10.1111/sms.12678.
- Perroni, F., Cignitti, L., Cortis, C., & Capranica, L. (2014). Physical fitness profile of professional Italian firefighters: Differences among age groups. *Appl Ergon*, *45*(3), 456-461.
- Phillips, S. M. (2009). Physiologic and molecular bases of muscle hypertrophy and atrophy: impact of resistance exercise on human skeletal muscle (protein and exercise dose effects) This paper is one of a selection of papers published in this Special Issue, entitled 14th International Biochemistry of Exercise Conference- Muscles as Molecular and Metabolic Machines, and has undergone the Journal's usual peer review process. *Appl Physiol Nutr Metab*, *34*(3), 403-410.
- Phillips, S. M., Tipton, K. D., Aarsland, A., Wolf, S. E., & Wolfe, R. R. (1997). Mixed muscle protein synthesis and breakdown after resistance exercise in humans. *Am J Physiol*, *273*(1), E99-E107.

- Puletic, M., & Stankovic, D. (2014). The influence of somatotype components on success in sport climbing. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport*, 105-111.
- Putman, C. T., Xu, X., Gillies, E. L., MacLean, I. M., & Bell, G. J. (2004). Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Eur J Appl Physiol*, 92(4-5), 376-384.
- Ricci, B., Figura, F., Felici, F., & Marchetti, M. (1988). Comparison of male and female functional capacity in pull-ups. *J Sports Med Phys Fitness*, 28(2), 168-175.
- Richens, B., & Cleather, D. J. (2014). The relationship between the number of repetitions performed at given intensities is different in endurance and strength trained athletes. *Biol Sport*, 31(2), 157-161.
- Rodriguez-Rosell, D., Mora-Custodio, R., Franco-Márquez, F., Yáñez-García, J. M., & González-Badillo, J. J. (2017). Traditional vs. sport-specific vertical jump tests: reliability, validity and relationship with the legs strength and sprint performance in adult and teen soccer and basketball players. *J Strength Cond Res*, 31(1), 196-206.
- Ronai, P., & Scibek, E. (2014). The Pull-up. *Strength Cond J*, 36(3), 88-90.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010a). Effect of heavy strength training on thigh muscle cross-sectional area, performance determinants, and performance in well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol*, 108(5), 965-975.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2010b). In-season strength maintenance training increases well-trained cyclists' performance. *Eur J Appl Physiol*, 110(6), 1269-1282.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2011). Strength training improves 5-min all-out performance following 185 min of cycling. *Scand J Med Sci Sports*, 21(2), 250-259.

- Rønnestad, B. R., Hansen, J., Hollan, I., & Ellefsen, S. (2015). Strength training improves performance and pedaling characteristics in elite cyclists. *Scand J Med Sci Sports*, 25(1), e89-e98.
- Rønnestad, B. R., Kojedal, Ø., Losnegard, T., Kvamme, B., & Raastad, T. (2012). Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *Eur J Appl Physiol*, 112(6), 2341-2352.
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scand J Med Sci Sports*, 24(4), 603-612.
- Rooney, K. J., Herbert, R. D., & Balnave, R. J. (1994). Fatigue contributes to the strength training stimulus. *Med Sci Sports Exerc*, 26(9), 1160-1164.
- Sakamoto, A., & Sinclair, P. J. (2006). Effect of movement velocity on the relationship between training load and the number of repetitions of bench press. *J Strength Cond Res*, 20(3), 523-527.
- Sale, D. G., MacDougall, J. D., Jacobs, I., & Garner, S. (1990). Interaction between concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol*, 68(1), 260-270.
- Sale, D. G. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 20(5 Suppl), S135-145.
- Saltin, B., & Astrand, P. O. (1967). Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol*, 23(3), 353-358.
- Sampson, J. A., & Groeller, H. (2015). Is repetition failure critical for the development of muscle hypertrophy and strength? *Scand J Med Sci Sports*, 26(4), 375-383.
- 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. *J Strength Cond Res*, 14(3), 328-331.

- Sánchez-Medina, L., García-Pallarés, J., Pérez, C. E., Fernandes, J., & González-Badillo, J. J. (2011). *Estimation of relative load from mean velocity in the full squat exercise*. Paper presented at the Book of Abstracts of the 16th Annual Congress of the European College of Sports Science. Liverpool, UK: Liverpool John Moores University.
- Sánchez-Medina, L., & 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., & Pallarés, J. G. (2014). Velocity-and power-load relationships of the bench pull vs. Bench press exercises. *Int J Sports Med*, *35*(03), 209-216.
- Sánchez-Medina, L., Pallarés J. G., Pérez C. E., Morán-Navarro R., González-Badillo J. J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Med Int Open* 1(2): E80-E88 DOI: 10.1055/s-0043-102933
- Sánchez-Medina, L., Perez, C. E., & González-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med*, *31*(2), 123-129.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., & Hawley, J. A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *J Strength Cond Res*, *20*(4), 947-954.
- Sawyer, B. J., Stokes, D. G., Womack, C. J., Morton, R. H., Weltman, A., & Gaesser, G. A. (2014). Strength training increases endurance time to exhaustion during high-intensity exercise despite no change in critical power. *J Strength Cond Res*, *28*(3), 601-609.
- Schilling, B. K., Falvo, M. J., & Chiu, L. Z. F. (2008). Force-velocity, impulse-momentum relationships: Implications for efficacy of purposefully slow resistance training. *J Sports Sci Med*, *7*(2), 299-304.
- Schumann, M., Mykkänen, O. P., Doma, K., Mazzolari, R., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2014). Effects of endurance training only versus same-session combined

- endurance and strength training on physical performance and serum hormone concentrations in recreational endurance runners. *Appl Physiol Nutr Metab*, 40(1), 28-36.
- Sedano, S., Marín, P. J., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: the influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *J Strength Cond Res*, 27(9), 2433-2443.
- Seo, D., Kim, E., Fahs, C. A., Rossow, L., Young, K., Ferguson, S. L., . . . Kim, D. (2012). Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *J Sports Sci Med*, 11(2), 221-225.
- Shimano, T., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Hatfield, D. L., Silvestre, R., . . . Fleck, S. J. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in trained and untrained men. *J Strength Cond Res*, 20(4), 819-823.
- Signorile, J. E., Zink, A. J., & Szwed, S. P. (2002). A comparative electromyographical investigation of muscle utilization patterns using various hand positions during the lat pull-down. *J Strength Cond Res*, 16(4), 539-546.
- Silva, R. F., Cadore, E. L., Kothe, G., Guedes, M., Alberton, C. L., Pinto, S. S., . . . Kruel, L. F. M. (2012). Concurrent training with different aerobic exercises. *Int J Sports Med*, 33(08), 627-634.
- Slattery, K. M., Wallace, L. K., Murphy, A. J., & Coutts, A. J. (2006). Physiological determinants of three-kilometer running performance in experienced triathletes. *J Strength Cond Res*, 20(1), 47-52.
- Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Nindl, B. C., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2008). Resistance exercise biology. *Sports Med*, 38(7), 527-540.
- Spurrs, R. W., Murphy, A. J., & Watsford, M. L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur J Appl Physiol*, 89(1), 1-7.

- Stepito, N., Coffey, V., Carey, A., Ponnampalam, A., Canny, B., Powell, D., & Hawley, J. (2009). Global gene expression in skeletal muscle from well-trained strength and endurance athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 41(3), 546.
- Storen, O., Helgerud, J., Stoa, E. M., & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc*, 40(6), 1087.
- Sunde, A., Støren, Ø., Bjerkaas, M., Larsen, M. H., Hoff, J., & Helgerud, J. (2010). Maximal strength training improves cycling economy in competitive cyclists. *J Strength Cond Res*, 24(8), 2157-2165.
- Suriano, R., Edge, J., & Bishop, D. (2010). Effects of cycle strategy and fibre composition on muscle glycogen depletion pattern and subsequent running economy. *Br J Sports Med*, 44(6), 443-448.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Salo, T., Hokka, L., Vesterinen, V., Kraemer, W. J., . . . Häkkinen, K. (2014). Mixed maximal and explosive strength training in recreational endurance runners. *J Strength Cond Res*, 28(3), 689-699.
- Taipale, R. S., & Häkkinen, K. (2013). Acute hormonal and force responses to combined strength and endurance loadings in men and women: the “order effect”. *PloS one*, 8(2), e55051.
- Taipale, R. S., Mikkola, J., Nummela, A., Vesterinen, V., Capostagno, B., Walker, S., ... Häkkinen, K. (2010). Strength training in endurance runners. *Int J Sports Med*, 31(07), 468-476.
- Tanaka, H., Costill, D. L., Thomas, R., Fink, W. J., & Widrick, J. J. (1993). Dry-land resistance training for competitive swimming. *Med Sci Sports Exerc*, 25(8), 952-959.
- Taylor, H. L., Buskirk, E., & Henschel, A. (1955). Maximal oxygen intake as an objective measure of cardio-respiratory performance. *J Appl Physiol*, 8(1), 73-80.

- Terzis, G., Spengos, K., Manta, P., Sarris, N., & Georgiadis, G. (2008). Fiber type composition and capillary density in relation to submaximal number of repetitions in resistance exercise. *J Strength Cond Res*, 22(3), 845-850.
- Tesch, P. A. (1988). Skeletal muscle adaptations consequent to long-term heavy resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 20(5 Suppl), S132-134.
- Tokmakidis, S. P., Léger, L. A., & Piliandis, T. C. (1998). Failure to obtain a unique threshold on the blood lactate concentration curve during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 77(4), 333-342.
- Trehearn, T. L., & Buresh, R. J. (2009). Sit-and-reach flexibility and running economy of men and women collegiate distance runners. *J Strength Cond Res*, 23(1), 158-162.
- Turner, AM, Owings, M, & Schwane, JA. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *J Strength Cond Res*, 17(1), 60-67.
- Twist, C., & Eston, R. (2005). The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*, 94(5-6), 652-658.
- Vanderburgh, P. M., & Edmonds, T. (1997). The Effect of Experimental Alterations in Excess Mass on Pull-up Performance in Fit Young Men. *J Strength Cond Res*, 11(4), 230-233.
- Weir, J. P., Wagner, L. L., & Housh, T. J. (1994). The Effect of Rest Interval Length on Repeated Maximal Bench Presses. *J Strength Cond Res*, 8(1), 58-60.
- Wild, J., Bezodis, N. E., Blagrove, R., & Bezodis, I. (2011). A biomechanical comparison of accelerative and maximum velocity sprinting: strength training considerations for the Strength and Conditioning Coach. *Professional Strength and Conditioning*, 21, 23-37.
- Willardson, J. M. (2007). The application of training to failure in periodized multiple-set resistance exercise programs. *J Strength Cond Res*, 21(2), 628-631.

- Williford, H. N., Duey, W. J., Olson, M. S., Howard, R., & Wang, N. (1999). Relationship between fire fighting suppression tasks and physical fitness. *Ergonomics*, 42(9), 1179-1186.
- Yamamoto, L., Lopez, R., Klau, J., Casa, D., Kraemer, W. J., Maresh, C. (2008). The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: A systematic review. *J Strength Cond Res*, 22(6), 2036-44.
- Youdas, J. W., Amundson, C. L., Cicero, K. S., Hahn, J. J., Harezlak, D. T., & Hollman, J. H. (2010). Surface electromyographic activation patterns and elbow joint motion during a pull-up, chin-up, or perfect-pullup™ rotational exercise. *J Strength Cond Res*, 24(12), 3404-3414.



GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

GLOSARIO DE ACRÓNIMOS

1RM: una repetición máxima

1RM_{est}: una repetición máxima estimada

1RM_{PP}: una repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho

CCI: coeficiente de correlación intraclase

CE: carácter del esfuerzo

CMJ: salto vertical con contramovimiento

CMJc: salto vertical con contramovimiento con carga añadida

CSA: área de sección transversal, “cross sectional area”

CV: coeficientes de variación

Desc: descanso entre series durante el entrenamiento de resistencia

ECT: componente ectomórfico del somatotipo

EMG: electromiografía

END: componente endomórfico del somatotipo

FC: frecuencia cardíaca

FC_{Med}: frecuencia cardíaca media

FIM: fuerza isométrica máxima

Fr: fuerza relativa a la masa corporal

GC: grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia

GH: Hormona de Crecimiento, “Growth Hormone”

IC: intervalo de confianza

IGF-1: Factor de Crecimiento similar a la Insulina-1, “Insulin-like Growth Factor-1”

ISAK: “International Society for Advancement in Kinanthropometry”

MC: masa corporal

MES: componente mesomórfico del somatotipo

MG: masa grasa

MHC: cadenas pesadas de la miosina

MM: masa muscular

MLG: masa libre de grasa

MNR_D: máximo número de repeticiones realizado en el ejercicio de dominadas con el propio peso corporal

MNR_{DA}: grupo con mayor rendimiento en el número máximo de repeticiones hasta el fallo muscular en el ejercicio de dominadas

MNR_{DB}: grupo con menor rendimiento en el número máximo de repeticiones hasta el fallo muscular en el ejercicio de dominadas

MNR_{PP80%}: máximo número de repeticiones realizadas con una carga equivalente al 80% de 1RM en el ejercicio de polea al pecho

MNR_{PPMC}: máximo número de repeticiones realizadas con una carga equivalente a la masa corporal del deportista en el ejercicio de polea al pecho

MVC: máxima contracción voluntaria, “maximal voluntary contraction”

PB: press banca

PG: porcentaje grasa

PM: porcentaje muscular

Post: post-ejercicio

Pre: pre-ejercicio

rep: repeticiones realizadas en la serie

Rep: número máximo de repeticiones con una carga equivalente al 65% de 1RM en el ejercicio de sentadillas

RFD: producción de fuerza por unidad de tiempo, “rate of force development”

S: número de series durante el entrenamiento de resistencia

SD: desviación típica, “standard deviation”

SEE: error estándar de la estimación

SEM: error típico de medida

SQ: sentadilla

T₁₀: tiempo en recorrer 10 metros

T₂₀: tiempo en recorrer 20 metros

T₁₀₋₂₀: tiempo transcurrido entre 10-20 metros

T: tiempo de la serie durante el entrenamiento de resistencia

TE: tamaño del efecto

T_{limT}: tiempo límite en tapiz

T_{limP}: Tiempo límite en pista

TT: tiempo total durante el entrenamiento de resistencia

UL: umbral de lactato

V_{1RM}: velocidad con la que se alcanza la 1RM

VL15: grupo que entrenó con una pérdida media de velocidad del 15% en cada serie

VL45: grupo que entrenó con una pérdida media de velocidad del 45% en cada serie

V_{Max}: velocidad media propulsiva máxima alcanzada con el propio peso corporal

VMP_{1M}: velocidad media propulsiva de la primera mitad del máximo número de repeticiones realizadas en Rep

VMP_{2M}: velocidad media propulsiva de la segunda mitad del máximo número de repeticiones realizadas en Rep

VMP: velocidad medida propulsiva

VMP_c: Velocidad media con las cargas absolutas comunes en los test 1 y test 2

VMP_{≥1}: Velocidad media con las cargas absolutas que podían desplazarse a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ o más en el test 1 para el ejercicio de sentadilla

VMP<1: Velocidad media con las cargas absolutas que podían desplazarse a menos de 1 m·s⁻¹ en el test 1 para el ejercicio de sentadilla

VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno

vVO_{2max}: velocidad a la que se alcanza en VO_{2max}

XRM: número de repeticiones máximas que pueden completarse con una carga submáxima determinada

%1RM: porcentaje de una repetición máxima

%PV: porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie

%RR: porcentaje de repeticiones realizado dentro de la serie

Σ6: sumatorio de seis pliegues

Σ5: sumatorio de cinco pliegues

[La]: concentración de lactato

RELACIÓN DE TABLAS Y FIGURAS



RELACIÓN DE TABLAS

Número	Título	Página
1	Relación entre el ejercicio de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza y resistencia muscular	83
2	Relación parcial entre el ejercicio de dominadas y polea al pecho en las diferentes medidas de fuerza muscular controlando la masa corporal	85
3	Relación entre el ejercicio de dominadas y polea al pecho con las diferentes variables antropométricas y el somatotipo	90
4	Comparación entre distinto nivel de rendimiento en el ejercicio de dominadas	92
5	Velocidad media propulsiva para cada porcentaje de 1RM	117
6	Cambios en la velocidad media propulsiva ($m \cdot s^{-1}$) alcanzado con cada intensidad relativa, desde del test inicial (T1) al re-test (T2), después de 12 semanas de entrenamiento en el ejercicio de dominadas	120
7	Comparación entre la velocidad media del test, velocidad media a la que se alcanza 1RM (V_{1RM}), y la VMP para los diferentes % de 1RM estudiados entre subgrupos con diferente fuerza relativa (Fr)	122
8	Porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones posible para cada porcentaje de pérdida de velocidad estudiado	126
9	Porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones y fiabilidad absoluta para cada magnitud de pérdida de VMP alcanzada durante la serie realizada hasta alcanzar el fallo muscular	128
10	Comparación del porcentaje de repeticiones realizado (%RR) con diferentes porcentajes de pérdida de velocidad (%PV) entre subgrupos de rendimiento en fuerza relativa (Fr)	130
11	Coefficiente de variación (CV) para el número máximo de repeticiones realizado para cada magnitud de carga	131
12	Relación entre MNR y las diferentes variables neuromusculares seleccionadas (n=52)	132
13	Correlación entre los cambios en las diferentes variables neuromusculares seleccionadas tras un periodo de 12 semanas de entrenamiento (n=39)	134
14	Características iniciales de los sujetos pertenecientes a los tres grupos	155
15	Características del programa de entrenamiento de fuerza basado en la velocidad realizado por ambos grupos experimentales	169
16	Características del programa de entrenamiento de resistencia	171

17	Esquema temporal de las sesiones de evaluación correspondientes a la semana 1 llevadas a cabo en el Estudio III	172
18	Esquema temporal de las sesiones de evaluación correspondientes a la semana 2 llevadas a cabo en el Estudio III	173
19	Esquema temporal de las sesiones de entrenamiento llevadas a cabo en el Estudio III	174
20	Cambios en las variables relacionadas con la composición corporal tras 8 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia	179
21	Cambios en las variables relacionadas con el rendimiento en fuerza tras 8 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia	182
22	Cambios en las variables relacionadas con el rendimiento en resistencia tras 8 semanas de entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia	194

RELACIÓN DE FIGURAS

Número	Título	Página
1	Instrumental para la medición de diámetros óseos (superior izquierda), pliegues cutáneos (superior derecha) y perímetros (inferior)	76
2	Máquina para la evaluación de la fuerza y la resistencia en el movimiento de tracción en posición sentado (Steelflex PLLA, Taiwan)	77
3	Ejecución del ejercicio de polea al pecho. Posición inicial (izquierda) y posición final (derecha)	78
4	Ejecución del ejercicio de dominadas. Posición inicial (izquierda) y posición final (derecha)	80
5	Correlación entre el máximo número de repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y máximo número de repeticiones en el ejercicio de polea al pecho con un peso equivalente a la masa corporal (MNR_{PPMC} , A) y fuerza relativa a la masa corporal en el ejercicio de polea al pecho (Fr, B). Correlación entre el valor de 1 repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho ($1RM_{PP}$) y máximo número de repeticiones en el ejercicio de polea al pecho con un peso equivalente al 80% de $1RM$ ($MNR_{PP80\%}$; C) y fuerza relativa a la masa corporal en el ejercicio de polea al pecho (Fr, D)	84
6	Correlación entre el máximo número de repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y la masa corporal (MC; A), masa grasa (MG; B), masa libre de grasa (MLG; C) y masa muscular (MM; D)	86
7	Correlación entre el valor de una repetición máxima en el ejercicio de polea al pecho ($1RM_{PP}$) y la masa corporal (MC; A), masa libre de grasa (MLG; B) y masa muscular (MM; C)	87
8	Correlación entre el máximo número de repeticiones realizadas en el ejercicio de dominadas (MNR_D) y el componente endomórfico (A), mesomórfico (B) y ectomórfico (C)	88
9	Correlación entre el máximo número de repeticiones realizadas en el ejercicio de polea al pecho con una carga equivalente a la masa corporal (MNR_{PPMC}) y la masa corporal (MC; A), masa grasa (MG; B), masa libre de grasa (MLG; C) y masa muscular (MM; D)	89
10	Diferencias estandarizadas (IC al 90%) entre el grupo con mayor rendimiento en el número máximo de repeticiones hasta el fallo muscular en el ejercicio de dominadas (MNR_{DA}) y el grupo con menor rendimiento en dicho ejercicio (MNR_{DB}) en las diferentes	93

	variables de fuerza y resistencia muscular, antropométricas y somatotipo	
11	Somacarta grupo MNR _{DA} (izquierda) y grupo MNR _{DB} (derecha)	93
12	Cinturón para añadir el peso en el test incremental de dominadas	110
13	Componentes del Dispositivo T-FORCE System (Hardware)	111
14	Pantalla del software del T-FORCE System que muestra la evolución de la velocidad de ejecución conseguidas ante cada carga absoluta en un test incremental hasta la RM en el ejercicio de dominadas	112
15	Esquemas de colocación del peso y el transductor lineal en el ejercicio de dominadas. Vista posterior (izquierda) y anterior (derecha)	112
16	Relación entre carga relativa (%1RM) y velocidad media propulsiva (VMP) obtenida de 432 datos procedentes de los 52 test incrementales realizados durante el test inicial (T1). La línea continua muestra el ajuste lineal de primer grado, y las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerá el 95% de las predicciones	117
17	Relación entre carga relativa (%1RM) y velocidad media propulsiva (VMP) obtenida de 304 (círculos vacíos, A) y 341 (círculos rellenos, B) datos procedentes del subconjunto de 39 sujetos que desarrollaron el test incremental en ambas ocasiones (T1 y T2). Las líneas continuas muestran los ajustes lineales de primer grado, y las líneas punteadas indican los límites dentro de los cuales caerá el 95% de las predicciones	119
18	Relaciones entre la intensidad relativa (%1RM) y la velocidad media propulsiva (VMP) en el ejercicio de dominadas para los 3 subgrupos de diferente de fuerza relativa (Fr) que conformaron la muestra: A G1 (n = 18, Fr ≤ 1.41); B G2 (n = 17), 1.41 < Fr ≤ 1.52); y C G3 (n = 17), Fr > 1.50)	121
19	Relación entre la velocidad a la que se alcanza 1RM (V _{1RM}) y la velocidad media del test en T1 (A), y en T1 y T2 (B), cuando los 39 sujetos que desarrollaron el test incremental en ambas ocasiones son incluidos en el análisis. Las líneas sólidas (T1) y discontinuas (T2) son ajustes lineales de primer grado	123
20	Relaciones entre carga relativa (%1RM) y velocidad media propulsiva (VMP) en tres sujetos representativos en el ejercicio de dominadas. Las líneas sólidas (T1) y discontinuas (T2) son ajustes de la curva lineal de primer grado. (A) 1RM aumentó de 112 kg (T1) a 123 kg (T2); (B) 1RM aumentó de 94 kg (T1) a 103 kg (T2); (C) 1RM se mantuvo sin cambios en 118 kg	124

21	Relación entre el porcentaje de repeticiones completadas y el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie obtenida de 788 datos procedentes de los 52 test de máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular con el propio peso corporal durante la medición inicial (T1)	125
22	Relación entre el porcentaje de repeticiones completadas y el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie obtenida 574 (círculos rellenos) y 634 (círculos vacíos) datos procedentes del subconjunto de 39 sujetos que desarrollaron el test de máximo número de repeticiones hasta alcanzar el fallo muscular con el propio peso corporal en ambas ocasiones (T1 y T2)	127
23	Relaciones entre el porcentaje de pérdida de velocidad dentro de la serie (%PV) y el porcentaje de repeticiones realizado con respecto al máximo número de repeticiones (%RR) en el ejercicio de dominadas para los 3 subgrupos de diferente de fuerza relativa (Fr) que conformaron la muestra: A G1 (n = 18, Fr ≤ 1.41); B G2 (n = 17, 1.41 < Fr ≤ 1.52); y C G3 (n = 17, Fr > 1.50)	129
24	Correlación entre los porcentajes de cambio en las velocidades medias alcanzadas en el test incremental con las cargas comunes empleadas en el test 1 y el porcentaje de cambio en el MNR (A) y el porcentaje de cambio en 1RM (B)	135
25	Ejecución del ejercicio de sentadilla completa. Máquina tipo Smith (Fitness Line, Peroga, Murcia, España)	159
26	Evaluación de la altura de salto vertical (CMJ)	162
27	Evaluación de la altura de salto vertical con cargas (CMJ _C)	163
28	Evaluación de la aceleración en 10-20 m	164
29	Test incremental en tapiz rodante	166
30	Número de repeticiones realizado en cada rango de velocidad en el ejercicio de sentadilla con las intensidades máximas de cada sesión y el número total de repeticiones realizado por cada grupo de entrenamiento con dichas intensidades. Las repeticiones realizadas durante el calentamiento han sido excluidas del análisis	177
31	Número de repeticiones realizado en cada rango de velocidad en el ejercicio de sentadilla con las intensidades máximas de cada sesión y el número total de repeticiones realizado por cada grupo de entrenamiento con dichas intensidades. Las repeticiones realizadas durante el calentamiento han sido incluidas en el análisis	177
32	Distancia media recorrida durante las 16 sesiones de entrenamiento de resistencia realizada por los 3 grupos experimentales	178

- 33** Cambios en la velocidad media (VMP) alcanzada con las cargas absolutas comunes del Pre en el test de cargas progresivas en sentadillas (**A**), la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el Pre (**B**), y la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron más lento de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el Pre (**C**). Los datos son expresados como media \pm desviación típica. VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie ($n = 11$); VL40: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida media de velocidad del 45% dentro de la serie ($n = 11$); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia ($n = 11$). Interacción significativa ‘grupo’ x ‘tiempo’: †† $P < 0.01$; ††† $P < 0.001$; Diferencias significativas para los porcentajes de cambios entre grupos: § $P < 0.05$; §§ $P < 0.01$; §§§ $P < 0.001$
- 34** Diferencias estandarizadas en el cambio del Pre al Post test entre los grupos VL15 y GC (**A**), VL15 y VL45 (**B**) y VL45 y GC (**C**) para la velocidad media alcanzada con las cargas absolutas comunes del Pre en el test de cargas progresivas en sentadillas (VMP_C), la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron a una velocidad igual o superior a $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el Pre (VMP ≥ 1), la velocidad media con las cargas absolutas que se desplazaron más lento de $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ durante el Pre (VMP < 1); el valor de una repetición máxima estimada (1RM_{est}); en el máximo número de repeticiones realizado con una carga equivalente al 65% de 1RM ($0.90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) alcanzada durante el Pre (Rep); en la velocidad media de la primera mitad de las repeticiones realizadas durante Rep (VMP_{1M}), y en la velocidad media de la segunda mitad de las repeticiones realizadas durante Rep (VMP_{2M}). Entre paréntesis, la probabilidad del que el efecto sea mayor/similar/menor a favor de VL15 en **A** y **B**, y a favor de VL45 en **C**. El área gris representa el mínimo cambio apreciable
- 35** Cambios en el valor de 1RM estimada (1RM_{est}; **A**), en el número máximo de repeticiones (Rep) con la carga que se desplazó a una velocidad media propulsiva de $0.90 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ en el Pre test (**B**), en la VMP alcanzada durante la primera mitad de Rep realizado durante el Pre test (VMP_{1M}; **C**), y la VMP alcanzada durante la segunda mitad de Rep realizado durante el Pre test (VMP_{2M}; **D**). Los datos son expresados como media \pm desviación típica. VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie ($n = 11$); VL45: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida media de velocidad del 45% dentro de la serie ($n = 11$); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia ($n = 11$). Interacción significativa ‘grupo’ x ‘tiempo’: † $P < 0.05$; †† $P < 0.01$; ††† $P < 0.001$; Diferencias significativas para los

	porcentajes de cambios entre grupos: § P < 0.05; §§ P < 0.01; §§§ P < 0.001	
36	Cambios en la altura del salto vertical. Los datos son expresados como media ± desviación típica. VL15: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 15% dentro de la serie (n = 11); VL45: Grupo que entrenó hasta alcanzar una pérdida de velocidad del 45% dentro de la serie (n = 11); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (n = 11). Interacción significativa 'grupo' x 'tiempo': †† P < 0.01; Diferencias significativas para los porcentajes de cambios entre grupos: § P < 0.05; §§ P < 0.01	188
37	Diferencias estandarizadas en el cambio del Pre al Post test entre los grupos VL15 y GC (A), VL15 y VL45 (B) y VL45 y GC (C) para la altura del salto vertical (CMJ), la velocidad media con las cargas comunes realizadas en el Pre en el ejercicio de salto con cargas (CMJ _C), el tiempo en recorrer 10 m (T ₁₀), el tiempo en recorrer 20 m (T ₂₀) y el tiempo transcurrido entre 10-20 m (T ₁₀₋₂₀). Entre paréntesis, la probabilidad del que el efecto sea mayor/similar/menor a favor de VL15 en A y B, y a favor de VL45 en C. El área gris representa el mínimo cambio apreciable	190
38	Evolución de la altura del salto vertical (CMJ) evaluado en el test inicial (Pre), en la semana 3 (S3) tras la realización de dos semanas de entrenamiento, en la semana 5 (S5) tras 4 semanas de entrenamiento (S5), en la semana 7 (S7) tras 6 semanas de entrenamiento y en el test final (Post) tras 8 semanas de entrenamiento	191
39	Cambios en la velocidad de consumo máximo de oxígeno (vVO _{2max}). Los datos son expresados como media ± desviación típica. VL15: Grupo que entrenó con una pérdida media de velocidad del 15% en cada serie (n = 11); VL40: Grupo que entrenó con una pérdida media de velocidad del 45% en cada serie (n = 11); GC: Grupo que realizó únicamente el entrenamiento de resistencia (n = 11). Interacción significativa 'grupo' x 'tiempo': † P < 0.05; Diferencias significativas para los porcentajes de cambios entre grupos: § P < 0.05	195
40	Diferencias estandarizadas en el cambio del Pre al Post test entre los grupos VL15 y GC (A), VL15 y VL45 (B) y VL45 y GC (C) para el consumo máximo de oxígeno (VO _{2max}); la velocidad de VO _{2max} (vVO _{2max}); en el tiempo límite en el test incremental en tapiz (Tlim _T) y en el tiempo límite en pista Tlim _P . Entre paréntesis, la probabilidad del que el efecto sea mayor/similar/menor a favor de VL15 en A y B, y a favor de VL45 en C. El área gris representa el mínimo cambio apreciable	196

41	Correlación entre los porcentajes de cambios observados en la $v\text{VO}_{2\text{max}}$ y la velocidad media propulsiva con las cargas absolutas comunes del pre (VMP; A), velocidad media propulsiva con las cargas $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (VMP ≥ 1 ; B), altura del CMJ (C) y en tiempo en recorrer 20m (T ₂₀ ; D)	196
-----------	--	------------

ANEXOS



ANEXO I

CONSENTIMIENTOS INFORMADO

CONSENTIMIENTO INFORMADO ESTUDIO I y II

D.....

mayor de edad, con D.N.I. actuando en nombre propio,

DECLARO:

Que he sido informado por Miguel Sánchez Moreno sobre las posibles consecuencias de la participación en el estudio, así como de los riesgos potenciales y molestias que podrían derivarse del mismos, a la vez que he podido realizar todas las preguntas que he considerado necesarias, respondiéndome a todas ellas de manera comprensible para mí.

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

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

Si mi caso puede ser de utilidad científica y para tal fin se publican artículos científicos, autorizo su publicación siempre y cuando se me garantice el más absoluto respeto a mi intimidad y anonimato.

Firma del sujeto

Firma del responsable del estudio

En a de de

CONSENTIMIENTO INFORMADO ESTUDIO III

Yo, D.,
 mayor de edad, con D.N.I. nº y domicilio en
 de (Teléf.)

declaro que:

Me ofrezco a participar como voluntario en este Proyecto de Investigación, habiéndome sido explicado el propósito, naturaleza, beneficios y posibles riesgos de tomar parte en el mismo.

Sé que D. Miguel Sánchez Moreno, estudiante de doctorado en la Universidad Pablo de Olavide (UPO) de Sevilla es el Investigador Principal de este Proyecto, y que el mismo, está dirigido y supervisado por el Dr. D. Juan José González Badillo, Catedrático de Universidad, en la Universidad Pablo de Olavide (UPO) de Sevilla.

y declaro que (marcar con una):

- He decidido colaborar voluntariamente en este Proyecto.
- Sé que, si así lo deseo, puedo dejar de colaborar en cualquier momento sin ningún problema.
- Estoy de acuerdo en que mis datos se guarden por el Investigador Principal, de forma confidencial, para su posterior análisis.
- Sé que los resultados de esta investigación, en caso de publicarse, no estarán referidos a mi persona, respetándose la confidencialidad de los mismos y mi intimidad.
- Soy consciente de las molestias y riesgos potenciales que podrían derivarse de la realización de las pruebas.
- Informaré al experimentador de cualquier malestar que sienta.
- He tenido la oportunidad de hacer preguntas.
- He leído esta información, la considero suficientemente clara, y estoy de acuerdo en participar en el Proyecto.
- Se me ha dado una copia de esta Declaración de Consentimiento.

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

En a de de

ANEXO II
FICHA MÉDICA



HISTORIA MÉDICO-DEPORTIVA

Historia N ^a :	Fecha de la prueba:	
Nombre:	Apellidos:	
Domicilio:		
Ciudad:	C. P.:	Tlfno.:
Fecha de Nacimiento:	Edad:	Sexo:
Deporte:	Equipo:	Categoría:

ANTECEDENTES FAMILIARES *(Ponga una cruz en las casillas de los familiares que hayan padecido o muerto de las siguientes enfermedades):*

	Alergias	Asma	Bronquitis	Cardiopatía	Colesterol	Congestión cerebral	Diabetes	Hipertensión	Obesidad
Padre									
Madre									
Abuelos Paternos o maternos									
Hermanos									
Tíos									

Comentario:

ANTECEDENTES PERSONALES *(Contesta a las siguientes preguntas):*

¿Qué enfermedades graves has padecido y a qué edad? _____

¿Qué operaciones quirúrgicas has sufrido? ¿a qué edad? _____

¿Tienes alergias? Sí No ¿a qué? _____



¿Utiliza algún medicamento? Sí No, ¿Cuáles?:

ANTECEDENTES por aparatos (SEÑALA CON UNA CRUZ qué síntomas has tenido de los siguientes):

AP. CARDIO-VASCULAR: Palpitaciones ; Dolor de pecho ; Edemas ; Pesadez de piernas ; Hematomas frecuentes ;

AP. RESPIRATORIO: Asfixia ; Expectoración ; Tos, ; Catarros frecuentes ;

SISTEMA NERVIOSO

Visión doble ; Mareos ; Cefaleas ; Desvanecimiento ; Convulsiones ;

OJOS ¿USA GAFAS?: Sí No: Miopía ; Astigmatismo ; Hipermetropía ; Daltonismo ;

AP. LOCOMOTOR. Ponga una “X” si ha tenido alguna vez algún dolor o inflamación en las siguientes articulaciones:

	Derecho	Izquierdo		Derecho	Izquierdo
Hombro			Cadera		
Codo			Rodilla		
Muñeca			Tobillo		
Mano			Pie		
Dedos de mano			Dedos de pie		

o en la Columna vertebral: ; Zona Cervical: ; Zona Dorsal: ; Zona Lumbar ;

Señale cuál de los siguientes síntomas ha tenido: Calambres musculares ; Contracturas ; Desgarros / Roturas ; Tendinitis ;

¿Ha tenido fracturas óseas?: Sí ; No ;

¿En qué huesos?:

¿Usa plantillas?:

Sí, No ¿por qué?:



ANTECEDENTES DEPORTIVOS:

¿Cuántos días entrena a la semana? ¿Cuántas horas entrena al día?

¿Horas semanales de entrenamiento?

¿Qué lesiones deportivas has tenido, cuánto tiempo hace, cuánto te duraron y qué tratamiento tuvieron?

¿Cuál de los siguientes síntomas ha presentado en el entrenamiento?:

Falta de aire ; Convulsiones ; Dolor de pecho o de brazo ; Hormigueos en piernas ; Pérdida de conocimiento .

ANEXO III

**PUBLICACIONES CIENTÍFICAS Y
DIVULGACIÓN DE RESULTADOS**

ORIGINAL ARTICLE
EXERCISE PHYSIOLOGY AND BIOMECHANICS

Determinant factors of pull-up performance in trained athletes

Miguel SÁNCHEZ-MORENO¹, Fernando PAREJA-BLANCO¹,
David DÍAZ-CUELI², Juan J. GONZÁLEZ-BADILLO¹

¹Physical Performance and Sports Research Center, Pablo de Olavide University, Seville, Spain; ²Real Club Deportivo Espanyol, Barcelona, Spain

*Corresponding author: Miguel Sánchez-Moreno, Pablo de Olavide University, Physical Performance and Sports Research Centre, Calle Utrera - km 1, 41013 Seville, Spain. E-mail: msanmor@hotmail.com

ABSTRACT

BACKGROUND: The aim of this study is to investigate the relationship among pull-up and lat pull exercises and different anthropometric dimensions in trained athletes.

METHODS: Twenty-five males were evaluated for maximum number of pull-ups, one-repetition maximum lat pull (1RM Lat Pull), lat pull repetitions at 80% 1RM (Lat Pull at 80% 1RM), lat pull repetitions at a load equivalent to body mass (Lat Pull at BM-load), and different anthropometric variables. Furthermore, the subjects were divided in higher (HPG, N=12) and lower pull-up performance (LPG, N=13) to compare the differences in the variables analyzed between both levels.

RESULTS: Pull-ups were significantly correlated with Lat Pull at BM-load ($r=0.62$, $P<0.01$) but neither with 1RM Lat Pull ($r=0.09$) nor with Lat Pull at 80% 1RM ($r=-0.15$). Pull-ups showed a significant ($P<0.05$) negative relationship with body mass (BM, $r=-0.55$), lean body mass (LBM, $r=-0.51$), and fat mass (FM, $r=-0.52$), while BM and LBM were significantly correlated with 1RM Lat Pull ($r=0.55$, $P<0.05$). HPG showed significantly ($P<0.05$) lower BM (0/3/97%), FM (1/3/97%) and LBM (1/4/95%) than LPG. Furthermore, HPG attained significantly ($P<0.05 - 0.001$) greater performance in Lat Pull at BM-load (100/0/0%) and 1RM Lat Pull/BM (96/3/2%) than LPG.

CONCLUSIONS: These findings suggest that pull-up and lat pull exercises have common elements. Moreover, the anthropometric dimensions seem to influence differently on both exercises, depending on the strength indicator evaluated.

(Cite this article as: Sánchez-Moreno M, Pareja-Blanco F, Díaz-Cueli D, González-Badillo JJ. Determinant factors of pull-up performance in trained athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2016;56:825-33)

Key words: Resistance training - Muscle strength - Body composition.

Resistance training (RT) is recognized not only as an effective method for increasing strength, power and muscle hypertrophy, it can also be equally effective in improving individual health status. Configuration of the exercise stimulus in RT has been traditionally associated with a combination of the resistance exercise variables such as load, number of sets and repetitions, exercise type and order, rest duration, repetition velocity etc.¹ Hence, the selection of exercise might determine the magnitude and type of physiological responses and adaptations to RT.² The pull-up and the latissimus dorsi pull (lat pull) are two exercises commonly used to increase upper-body muscular pulling strength. The pull-

up is a calisthenic, multi-joint upper-body exercise,³ which is considered a valid measure of weight-relative muscular strength.⁴ In the pull-up, the individual grips a stationary bar overhead and pulls the body mass (BM) upward to the bar. The individual is typically limited to the use of BM as resistance, although external load can be added via a weighted vest or belt to achieve greater resistance.⁵ The lat pull is a resistance exercise consisting of a shoulder adduction and an elbow flexion.⁶ A specially designed machine allows the subject to sit with support across the thighs to stabilize the lower body while pulling a horizontal bar downward from an extended overhead arm position, allowing the addition

of external load to achieve the desired degree of resistance loading.^{5, 7}

The pull-up has traditionally been used to test upper-body strength to BM ratio in children, adolescents, and men and women attending the U.S. military service academies.^{3, 8} Additionally, the need to lift one's BM is obvious in certain occupational settings, such as law enforcement, military, and firefighting.^{9, 10} Williford *et al.*¹⁰ found that the best model to predict the time to complete physical performance assessment consisting in forcible entry, hoist, hose advance, victim rescue, and stair climb included pull-ups, a 1.5-mile run, and fat-free weight.

Intuitively pull-up and lat pull exercises appear to involve the same muscles performing similar motions. Hence, both exercises might be considered interchangeable in a training program. However, few studies have examined the relationship between them.^{5, 11, 12} These studies were focused on comparing maximum pull-up repetitions to one-repetition maximum (1RM) lat pull and lat pull maximal repetitions at 60% and 80% 1RM. These studies did not observe significant relationships between these variables and suggested that the seemingly analogous exercises of pull-up and lat pull should not be substituted for one another in a training regimen. Nevertheless, Halet *et al.*¹² found a moderate significant relationship ($r=0.69$) between 1RM lat pull per kg of BM and pull-ups. On the other hand, Chandler *et al.*¹¹ observed that maximum repetitions in lat pull exercise using 60% 1RM were related to 1RM lat pull ($r=0.46$) but not to pull-ups ($r=0.05$). Furthermore, unweighted pull-ups were not significantly related to 1RM lat pull ($r=-0.01$). In such study,¹¹ only when pull-up repetitions was combined with BM, 1RM lat pull could be predicted ($r=0.72$). To the best of our knowledge, no study has included a direct measure of the strength relative to BM in the lat pull exercise. Thereby, it seems appropriate to include it for further explorations of the relationships between these two exercises.

In addition, the influence of selected anthropometric and body composition variables in similar calisthenics and resistance exercises has been studied.^{5, 12, 13} Pull-up and lat pull seem to be influenced differently by anthropometric and body composition variables. Halet *et al.*¹² and Johnson *et al.*⁵ observed significant negative relationships between pull-up and several fitness measures including BM, lean body mass (LBM), and fat mass

(FM). Furthermore, a previous study¹⁴ reported that an excess in BM, simulating body fat, greatly decreased the ability to perform pull-ups, suggesting that body fat, more than total BM, affects the pull-up performance. Moreover, Johnson *et al.*⁵ also found that 1RM lat pull exhibited significant positive relationships with BM, LBM and FM. However, these degrees of relationship were studied in subjects with low and moderate pull-up performance. For example, Johnson *et al.*⁵ analyzed the relationships among 1RM in lat pull, 1RM in pull-up and repetitions to muscular failure using 80% 1RM in both lat pull and pull-up. In such study,⁵ none of the average college women could perform a single pull-up repetition against BM. Considering the limitations of the aforementioned studies, it would be advantageous to the strength and conditioning specialist to determine the degree of association between these two exercises in highly trained athletes. Therefore, the purpose of this study was to determine the relationships between pull-up repetitions and different strength assessments in lat pull exercise and different anthropometric variables in a group of trained athletes. A second purpose was to determine the differences between the subjects with higher and lower pull-up performance in the different strength and anthropometric variables assessed.

Materials and methods

Twenty-five men volunteered to take part in this study (mean \pm SD: age 26.8 \pm 6.3 years, height 176.2 \pm 5.3 cm, body mass 70.9 \pm 7.1 kg, percent fat 11.5 \pm 1.0%, percent muscle mass 48.7 \pm 1.4%). Subjects were either firefighters or policeman candidates who performed the same resistance training during the 8 months prior to this study, where pull-ups and lat pulls were commonly used. All participants provided written informed consent and were screened for medical contraindications prior to testing. The study was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki II.

Experimental procedure

This study used a cross-sectional experimental design to compare the anthropometric and body composition qualities and pull-up and lat pull performance of trained athletes. In the preceding 2 weeks, two preliminary familiarization sessions were undertaken with the purpose

of emphasizing proper execution technique in the different tests assessed. An anthropometric assessment was performed during the familiarization sessions. The sessions took place at a neuromuscular research laboratory under the direct supervision of the investigators and under constant environmental conditions (20 °C, 60% humidity). As the time of day can influence on performance,¹⁵ all tests were conducted within the same time range, from 17:00 to 21:00. All tests were performed in 3 testing sessions separated by 48-72 hours, which were conducted in the following order: 1) pull-up testing; 2) 1RM lat pull testing and repetitions to muscular failure in lat pull against a load equivalent to 80% 1RM test (Lat Pull at 80% 1RM); 3) repetitions to failure in lat pull against a load equivalent to BM test (Lat Pull at BM-load). Before the tests were performed, the subjects underwent a 15-minute standardized warm-up period, which consisted of jogging, shoulder movements and 2 submaximal sets of the testing exercise directed by the primary researcher along with the coach. During the execution of these tests, the subjects were verbally encouraged to give their maximal effort. The tests executed for the assessment of performance are explained in detail below.

Measures

The 1RM Lat Pull was performed using a seated lat pull machine (Steelflex PLLA, Taipei, Taiwan) with support across the top of the quadriceps. The seat was adjusted to allow the subject to start the movement with the arms fully extended. A self-selected width with pronated grip was used throughout the testing, however, due to the changes observed in the electrical activity of specific muscles caused by the different handgrip position during the lat pull exercise,¹⁶ the subjects were asked to use a similar grip width (approximately 150% of the bi-acromial distance). Each repetition started with the arms fully extended and was completed when the bar was below the chin.¹⁷ A warm-up using 2 submaximal sets of 5-10 repetitions at 60-70% of the estimated 1RM was given before testing. After a 5-minute recovery, a mass load was selected based on the judgment of the lifter and the investigator, and 1 repetition was performed. If the attempt was successful, the mass load was increased by 2.5 to 5 kg depending on the ease of completing a single repetition, and 5 min rest was given

before another single repetition was attempted.^{5, 18} This procedure was followed until a complete repetition was not possible. 1RM was reached in 4-6 attempts. The intra-class correlation coefficient (ICC) of this testing method has previously been noted to range from 0.95 to 0.99.^{19, 20} Relative strength to BM in this exercise was calculated (1RM Lat Pull/BM). After a 5-minute rest, a Lat Pull at 80% 1RM test was performed. This test was performed using the same device with a load that represented the 80% 1RM, which was previously measured in this exercise. The subjects completed the maximum number of repetitions to task failure with a maximum pause of 2 seconds between repetitions.²¹

After a 2- to 3-day recovery period, lat pull maximal repetitions were performed on the same device using a load equivalent to BM (Lat Pull at BM-load). The warm-up and the procedures were identical to the one described for the 1RM lat pull. The subjects completed the maximum number of repetitions to task failure with a maximum 2-second pause between repetitions.²¹ All loads lifted by the subjects were within 1 kg based on the BM.

The pull-ups were performed on a standard stationary, horizontal bar. To be counted as a complete pull-up, it was required that subject lifted his body from a full-arm extension hanging position (approximately same width pronated grip than in the lat pull test) until the chin was above the bar. The subjects were instructed to complete the maximum number of free-hanging pull-ups with a maximum 2-second pause between repetitions.²¹ Half repetitions were counted if the subject was able to reach a position of 90 degrees of flexion at the elbow.¹² All participants completed an identical 10-minute warm-up including shoulder movements and 2 submaximal sets of pull-ups. The reliability of a typical pull-up test has been reported to be between 0.92 and 0.95 ICC.^{14, 21}

Height was measured during a maximal inspiration with a precision of 0.5 cm using a stadiometer (Quirumed, Valencia, Spain). BM was determined using a calibrated digital scale (Tanita, BC-543, Tokyo, Japan) with the subjects wearing only underwear. Skinfolds thicknesses were measured with a Holtain LTD lipocaliper (Crymych, United Kingdom) (range 0-40 cm; resolution 0.2 mm at a pressure of 10 g/mm² across the full opening range). The skinfolds measured were the tricipital, subscapular, abdominal, suprailiac, anterior thigh, and mid leg. The exact positioning of each

skinfold measurement was in accordance with the procedure described previously.²² Bone diameters (bicipitcondyle of the humerus and the bicondyle of the femur) were measured using a pachymeter (range 1-250 mm; resolution 1 mm). The circumferences of the contracted brachial biceps and the calf muscle were measured using a non-stretch, flexible metallic tape (resolution 1 mm). All measurements were made in duplicate by the same trained operator. If the differences between the two values were less than 5%, the average value of both measurements was used for analysis. When the differences exceeded 5% we performed a third measure and the average value of the three measurements was used. Percent fat was estimated using the Faulkner equation:²³ Percent Fat = (tricipital + subscapular + suprailiac + abdominal skinfolds \times 0.153) + 5.783. Fat mass (FM) was calculated as BM \times Percent Fat / 100, and lean body mass (LBM) was determined as BM - FM.²² Muscular mass (MM) was estimated using the Matiegka equation:²⁴ MM (kg) = BM - (FM + Bone Mass + Residual Mass). Percent MM was calculated as MM/BM \times 100.

Statistical analysis

Descriptive statistics are expressed as mean \pm SD. The distribution of each variable was verified by Shapiro-Wilk normality test. Linear regressions with Pearson's coefficients (r) and 90% confidence intervals (90% CI) were used to calculate the respective relationships between the performance parameters analyzed. To isolate the possible effect of BM on physical performance, these relationships also were adjusted with partial correlations. Multiple stepwise linear regression analyses were used to determine the degree to which any variable accounted for a significant variation in pull-up and 1RM Lat Pull performances. In multiple regression analysis, standardized beta weights were used to evaluate the relative contribution of each independent variable in explaining the overall variance. In order to compare the differences between the variables analyzed between high and low pull-up performance levels, the subjects were divided in high and low performance group in pull-up (HPG, N.=12; and LPG, N.=13), with respect to the mean of the entire group. A one-factor ANOVA was used to analyze these differences. In addition, the standardized difference or effect size (ES) between groups in each variable was calculated using the pooled pre-

training SD.²⁵ Uncertainty in each effect was expressed as 90% CI and as probabilities of the true effect being substantially positive and negative. These probabilities were used to make a qualitative probabilistic mechanistic inference about the true effect: if the probabilities of the effect being substantially positive and negative were both $>5\%$, the effect was reported as "unclear"; if the effect was otherwise clear it was reported as the magnitude of the observed value. The scale was as follows: 25-75%, "possibly"; 75-95%, "likely"; 95-99%, "very likely"; $>99\%$, "most likely".²⁶ The probability level of statistical significance was set at $P \leq 0.05$. Inferential statistics based on the interpretation of the magnitude of effects were calculated using a purpose-built spreadsheet for the analysis of controlled trials.²⁷ The rest of statistical analyses were performed using SPSS Statistics v.18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

Results

Table I shows the relationship among pull-up and lat pull performances and anthropometric qualities. Significant relationships ($P < 0.01$) were observed between pull-up and Lat Pull at BM-load ($r = 0.62$ [0.41 to 0.83]), and pull-up and 1RM Lat Pull/BM ($r = 0.57$ [0.33 to 0.79]). No significant relationships were observed between pull-up and Lat Pull at 80% 1RM ($r = -0.14$ [-0.47 to 0.19]) and 1RM Lat Pull (0.09 [-0.24 to 0.42]). However, when BM and LBM were controlled statistically the relationship between pull-up and 1RM Lat Pull were increased ($r = 0.56$ [0.33 to 0.79], $P < 0.01$; and $r = 0.51$ [0.26 to 0.76], $P < 0.05$). BM ($r = -0.55$ [-0.78 to -0.32]), FM ($r = -0.52$ [-0.76 to -0.28]) and LBM ($r = -0.50$ [-0.75 to -0.25]) showed significant relationships ($P < 0.01 - 0.05$) with pull-up, whereas Percent Fat and Percent MM did not show any relationship (Table I). 1RM Lat Pull showed significant relationships ($P < 0.01$) with Lat Pull at 80% 1RM ($r = -0.55$ [-0.78 to -0.32]), 1RM Lat Pull/BM ($r = 0.71$ [0.54 to 0.88]), BM ($r = 0.55$ [0.32 to 0.78]), and LBM ($r = 0.55$ [0.32 to 0.78]). No significant relationships were observed between 1RM Lat Pull and Lat Pull at BM-load, FM, Percent Fat, and Percent MM (Table I).

The stepwise regression analysis yielded a two-variable equation for estimating pull-up performance. The selected variables were BM and 1RM Lat Pull. The equations to predict pull-up performances were as follows:

$$\text{Pull-up} = 0.34 \times \text{BM} + 0.72 \times \text{1RM Lat Pull} + 29.37$$

$$(r=0.72, r^2=0.52, P<0.01).$$

The coefficient of determination expressed as a percentage indicated that 52% of the variance in pull-up was accounted for the variance of BM and 1RM Lat Pull. The standard error of estimate (SEE) for the equation was 2.4 repetitions and the coefficient of variation (CV) was 15%.

The stepwise regression also revealed that pull-ups and LBM were the best predictor of 1RM Lat Pull. 1RM Lat Pull prediction is expressed by the following equation:

$$\text{1RM Lat Pull (kg)} = 2.93 \times \text{LBM} + 3.83 \times \text{pull-ups} - 87.8$$

$$(r=0.69, r^2=0.48, P<0.05).$$

The SEE for the equation was 19.9 kg and the CV was 12%. Forty-eight percent of the variance in 1RM Lat Pull was accounted for the variance in pull-ups and LBM. When the subjects were dichotomized according to their pull-up performance, HPG had significant ($P<0.05$) lower BM, FM, and LBM than LPG. No significant differences were observed between groups for Percent Fat and Percent MM (Table II). HPG showed significant ($P<0.05 - 0.001$) greater performance in Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM than LPG. However, no significant differences were observed between groups for 1RM Lat Pull and Lat Pull at 80% 1RM (Table II). Furthermore, HPG showed “very likely – likely” lower BM, FM, LBM and Percent Fat than LPG, whereas the differences in Percent MM were “unclear” (Figure 1). On the other hand, HPG showed greater performance in Lat Pull at BM-load (100/0/0%) and 1RM Lat Pull/BM (96/3/2%) than LPG. The differences for 1RM Lat Pull and Lat Pull at 80% 1RM were *unclear* (Figure 1).

Discussion

To our knowledge this is the first study to investigate the relationship between the relative strength to BM in lat pull exercise and pull-up performance. One of the main findings of this study was that pull-up performance showed significant relationships with different strength measures in lat pull exercise with respect to BM (Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM), whereas the strength assessment without considering

BM did not show any relationship with pull-up performance (1RM Lat Pull and Lat Pull at 80% 1RM). In addition, the relationships observed between pull-up and anthropometric variables suggest that there is an influence of absolute values of BM, FM and LBM on pull-up performance, whereas the relative values (Percent Fat and Percent MM) do not seem to account for the performance in pull-up in highly trained athletes. Therefore, pull-up and lat pull might be considered as analogous and interchangeable exercises provided that the load in lat pull exercise is normalized to athlete's BM.

An important and unique finding of this study is that there exists a significant correlation ($P<0.01$) between pull-up performance and Lat Pull at BM-load ($r=0.62$ [0.41 to 0.83]). To our knowledge, the relationship between the number of repetitions to task failure against a load equivalent to BM in lat pull exercise (Lat Pull at BM-load) and pull-up performance had not been investigated yet. In addition, we also observed a significant relationship ($P<0.01$) between pull-up performance and 1RM Lat Pull/BM ($r=0.57$ [0.33 to 0.79]). This latter finding is in accordance with that reported by Halet *et al.*¹² who observed a similar relationship between both variables ($r=0.69$). The similar relationships observed between pull-up and lat pull performance relative to BM (Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM) might be explained by the fact that greater relative strength to BM (1RM Lat Pull/BM) means that a load equivalent to BM (Lat Pull at BM-load) represents a lower relative effort. Consequently, a greater number of repetitions might be performed with this load. This suggestion is supported by the relationship observed between Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM ($r=0.53$ [0.29 to 0.77], $P<0.05$, Table I).

On the other hand, in the current study no significant relationship was observed between pull-up and 1RM Lat Pull and Lat Pull at 80% 1RM, in accordance with previous studies.^{5, 11, 12} Based on the results collected, these authors^{5, 11, 12} concluded that the seemingly analogous exercises of pull-ups and lat pulls should not be substituted for one another in a training regimen because both exercises were not related. However, we suggest that this lack of association might be partially explained by the fact that 1RM Lat Pull and Lat Pull at 80% 1RM alone cannot be considered as an indicator of relative strength to BM as the pull-up. In our study,

TABLE I.—Relationship among physical and selected anthropometric qualities and pull-ups and lat pull performances.

	Pull-ups	1RM Lat Pull	Lat Pull at BM-load	Lat Pull at 80% 1RM
1RM Lat Pull	0.09 (-0.24 to 0.42)			
Lat Pull at BM-load	0.62 (0.41 to 0.83)**	0.00 (-0.33 to 0.34)		
Lat Pull at 80% 1RM	-0.14 (-0.47 to 0.19)	-0.55 (-0.78 to -0.32)**	-0.03 (-0.37 to 0.31)	
1RM Lat Pull/BM	0.57 (0.33 to 0.79)**	0.71 (0.54 to 0.88)**	0.53 (0.29 to 0.77)**	-0.59 (-0.81 to -0.37)**
BM	-0.55 (-0.78 to -0.32)**	0.55 (0.32 to 0.78)*	-0.61 (-0.82 to -0.40)**	-0.07 (-0.40 to 0.26)
FM	-0.52 (-0.76 to -0.28)**	0.36 (0.07 to 0.65)	-0.53 (-0.77 to -0.29)**	0.14 (-0.19 to 0.47)
Percent fat	-0.37 (-0.66 to -0.08)	0.14 (-0.19 to 0.47)	-0.36 (-0.65 to -0.07)	0.25 (-0.06 to 0.56)
LBM	-0.50 (-0.75 to -0.25)*	0.55 (0.32 to 0.78)**	-0.57 (-0.80 to -0.34)**	-0.12 (-0.45 to 0.21)
Percent MM	0.31 (0.01 to 0.61)	-0.19 (-0.51 to 0.13)	0.33 (0.03 to 0.63)	-0.10 (-0.43 to 0.23)

Data are reported as Pearson's correlation coefficients and 90% confidence intervals (in parentheses).

Pull-up: maximum number of repetitions until failure in pull-ups. 1RM Lat Pull: one repetition maximum in lat pull; Lat Pull at BM-load: maximum number of repetitions in lat pulls until failure at a load equivalent to body mass; Lat Pull at 80% 1RM: maximum number of repetitions in lat pulls until failure at a load equivalent to 80% of 1RM; 1RM Lat Pull/BM: value of 1RM in Lat pull divided by body mass; BM: body mass; FM: fat mass; Percent fat: percentage of fat mass; LBM: lean body mass; Percent MM: percentage of muscle mass*Significant at $P<0.05$; **significant at $P<0.01$.

when lat pull exercise was combined with BM (Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM) showed significant relationship with pull-up (Table I). This suggestion is backed by the increase in the relationship between pull-up and 1RM Lat Pull when BM was controlled statistically (from 0.09 to 0.56). In addition, we observed that pull-up could be predicted ($r^2=0.52$) only when 1RM Lat Pull were combined with BM. Other studies^{11, 12} observed that 1RM Lat Pull could be predicted accurately only when pull-up repetitions were combined with BM or LBM. In this regard, we observed that although pull-ups alone were not significantly correlated with 1RM Lat Pull ($r=0.09$), combining them with LBM increased the accuracy of predicting 1RM Lat Pull substantially ($r=0.69$, $SEE=19.9$ kg, $CV=12\%$). Thus, the present study suggests that pull-up and lat pull are analogous exercises when common factors as BM and LBM are taken into account, as it has been shown by the relationships observed between pull-up performance and Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM, by the partial correlation between pull-up and 1RM Lat Pull when BM, LBM were controlled and by the best predictors of pull-ups and 1RM Lat Pull performances. These results may have some practical relevance for maximizing gains in pull-up performance since lat pull allows a better adjustment and individualization of the training load. Thus, lat pull might be used as complement of pull-up training aiming to maximize gains in maximal strength and muscular endurance in pull-up exercise.

Moreover, the influence of the body composition on pull-up and lat pull performances appears to exert opposite effects on the different measures of strength (maxi-

mum or relative to BM) in both exercises. We observed that 1RM Lat Pull was positively related to BM and LBM, whereas, pull-up performance, Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM showed negative relationships with BM, LBM, and FM (Table I). In accordance with our results, Halet *et al.*¹² also found that pull-up was inversely related to BM ($r=-0.47$), LBM ($r=-0.43$) and FM ($r=-0.44$) whereas 1RM Lat Pull showed a positive relationship to BM ($r=0.38$) and LBM ($r=0.41$). Similar results were observed by Johnson *et al.*⁵ who observed a positive relationship between 1RM Lat Pull and BM and LBM ($r=0.47$, and $r=0.55$, respectively). The latest also found positive relationships between 1RM pull-up and BM and LBM ($r=0.42$ and $r=0.67$; respectively).⁵ Therefore, these results suggest that absolute values of maximum strength in both exercises (1RM Lat Pull, and 1 RM pull-up) may be favored by higher BM and LBM whereas that relative to BM strength values (Lat Pull at BM-load, and pull-ups) might be negatively influenced by higher BM, LBM and FM. Likewise, we observed that when the subjects were divided by their pull-up performance, HPG showed lower values of BM, FM, and LBM than LPG (Table II). Similar results were observed by Halet *et al.*,¹² showing significant lower values of BM, LBM, and FM in high strength lat pull groups (≥ 1.0 kg/BM). The fact of greater amounts of BM, FM and LBM were in detrimental to pull-up performance agrees with the findings of other investigators^{5, 11, 12} and it suggests that heavier athletes might penalty for relative strength values, however, this heavier mass might suppose a benefit for absolute strength performance.

Considering the above results, extreme care should be

1RM Lat Pull/BM	BM	FM	Percent fat	LBM
-0.20 (-0.52 to 0.12)				
-0.20 (-0.52 to 0.12)	0.73 (0.57 to 0.89)**			
-0.17 (-0.50 to 0.16)	0.37 (0.08 to 0.66)	0.90 (0.84 to 0.96)**		
-0.18 (-0.50 to 0.14)	0.98 (0.97 to 0.99)**	0.58 (0.36 to 0.80)**	0.18 (-0.14 to 0.50)	
0.18 (-0.14 to 0.50)	-0.45 (-0.72 to -0.18)*	-82 (-0.93 to -0.71)**	-0.83 (-0.93 to -0.73)**	-0.30 (-0.61 to 0.01)

TABLE II.—Comparison between greater pull up performance and lower pull up performance subjects.

	LPG	HPG	P value	Cohen's <i>d</i> (90% CI)	Percent chances for HPG vs. LPG to be lower/similar/higher	
Pull-up (rep)	13.3±2.1	18.5±2.2	0.000	2.22 (1.60; 2.84)	100/0/0	Most likely
1RM Lat Pull (kg)	165.0±32.5	165.0±19.1	1.00	0.00 (-0.89; 0.89)	35/30/35	Unclear
Lat Pull at BM-load (rep)	30.9±6.8	43.9±8.3	0.000	1.46 (0.87; 2.05)	100/0/0	Most likely
Lat Pull at 80% 1RM (rep)	8.7±2.7	8.2±2.1	0.60	-0.23 (-0.96; 0.50)	16/31/53	Unclear
1RM Lat Pull·BM ⁻¹	2.1±0.4	2.3±0.1	0.05	1.51 (0.25; 2.77)	96/3/2	Very likely
BM (kg)	78.4±8.3	70.9±7.1	0.02	-0.99 (-1.69; -0.30)	0/3/97	Very likely
FM (kg)	10.0±2.2	8.2±1.5	0.03	-1.14 (-1.96; -0.32)	1/3/97	Very likely
Percent fat (%)	12.8±2.3	11.5±1.0	0.10	-1.11 (-2.23; 0.01)	3/6/91	Likely
LBM (kg)	68.4±7.4	62.6±5.7	0.04	-0.94 (-1.67; -0.20)	1/4/95	Very likely
Percent MM (%)	48.3±1.7	48.7±1.4	0.46	0.32 (-0.40; 1.03)	61/28/11	Unclear

Data are presented as mean ± SD. All data are presented as differences for HPG compared to the LPG, so that negative and positive differences are in the same direction.

HPG: high performance group (subjects with a pull-up performance higher than the average performance of the entire group; N=12); LPG: low performance group (subjects with a pull-up performance lower than the average performance of the entire group; N=13); Pull-up: maximum number of repetitions until failure in pull-ups; 1RM Lat Pull: one repetition maximum in lat pull; Lat Pull at BM-load: maximum number of repetitions in lat pulls until failure at a load equivalent to body mass; Lat Pull at 80% 1RM: maximum number of repetitions in lat pulls until failure at a load equivalent to 80% of 1RM; 1RM Lat Pull/BM: value of 1RM in lat pull divided by body mass; BM: body mass; FM: fat mass; Percent fat: percentage of fat mass; LBM: lean body mass; Percent MM: percentage of muscle mass.

taken with fatness and BM when the aim of the training is to improve pull-up performance. Flanagan *et al.*⁹ observed that the best predictor of pull-up success at the end of 12-week strength and conditioning program included the participant's initial percent fat. However, in our study, no differences were observed in percent fat between HPG and LPG (Table II). This fact could be explained by the characteristics of the population studied. Being trained athletes, both groups presented a low percent fat, with a trend towards lower value in HPG but without reaching statistically significant differences (Table II). These results may have relevance to assess the fitness level of those professions that require carrying heavy equipment and request certain physical demands like lifting his or

her BM. On the other hand, in professions like firefighter, a sudden increase in total mass caused by the use of specific equipment²⁸ would have a negative influence over the capacity to lift one's BM, especially in those with lower BM. Special care should be taken in the absolute values of maximum strength in pulling and pushing exercises to ensure success in specific tasks like forcible entry, hoist, hose advance and victim rescue.

Conclusions

In conclusion, these findings suggest that pull-up and lat pull exercises have common elements. On the other hand, the anthropometric dimensions and body

This document is protected by international copyright laws. No additional reproduction is authorized. It is permitted for personal use to download and save only one copy of this Article. It is not permitted to make additional copies (either sporadically or systematically, either printed or electronic) of the Article for any purpose. It is not permitted to distribute the electronic copy of the article through online internet and/or intranet file sharing systems, electronic mailing or any other means which may allow access to the Article. The use of all or any part of the Article for any Commercial Use is not permitted. The production of derivative works from the Article is not permitted. The production of reprints for personal or commercial use is not permitted. It is not permitted to remove, cover, overlay, obscure, block, or change any copyright notices or terms of use which the Publisher may post on the Article. It is not permitted to frame or use framing techniques to enclose any trademark, logo, or other proprietary information of the Publisher.

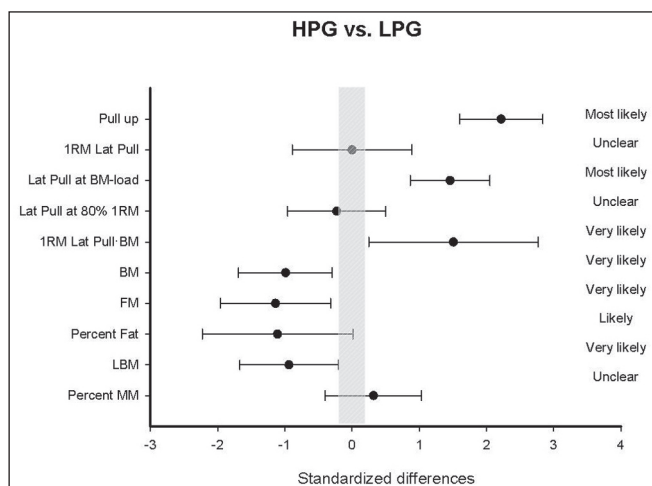


Figure 1.—Differences (90% confidence intervals) in maximum number of repetitions until failure in pull-ups, one repetition maximum in lat pull (1RM Lat Pull), maximum number of repetitions in lat pulls to failure at a load equivalent to body mass (Lat Pull at BM-load), maximum number of repetitions in lat pulls to failure at a load equivalent to 80% of 1RM (Lat Pull at 80% 1RM), value of 1RM in Lat pull divided by body mass (1RM Lat Pull/BM), body mass (BM), fat mass (FM), percentage of fat mass (Percent Fat), lean body mass (LBM), percentage of muscle mass (Percent MM) between the higher (HPG, N=12) and lower pull-up performance (LPG, N=13). Shaded areas represent trivial differences.

composition variables seem to exert a different influence on both exercises depending on the strength indicator evaluated. For example, heavier BM, even if it is mostly LBM, may invoke a certain penalty on pull-up and Lat Pull at BM-load performance, but could have a positive effect on 1RM Lat Pull. As a limitation of the present study, the anthropometric variables were estimated using a skinfold prediction equation.²¹ This fact should be kept in mind when interpreting our results. However, this method has been previously chosen⁷ because it is a more reasonable method to use in a field setting (as opposed to dual energy X-ray absorptiometry or underwater weighing). To conclude, although previous authors^{5, 12} state that the seemingly analogous exercises of pull-ups and lat pulls should not be substituted for one another in a training regimen, the relationships observed in the present study between pull-up performance and Lat Pull at BM-load and 1RM Lat Pull/BM, the increase observed in the relationship between pull-ups and 1RM Lat Pull when BM and LBM were controlled statistically and the main predictor of pull-up and 1RM Lat Pull performances revealed by the multiple regression analysis suggest that pull-up and Lat Pull

are analogous exercises when body composition factors as BM and LBM are taken in account. These findings are relevant for strength and conditioning coaches since pull-up requires minimal skill and equipment, whereas lat pull would allow a better adjustment and individualization of the load during the training program. This aspect might be a key factor for maximizing maximal strength and muscular endurance gains for many athletes and professionals who require perform activities like climbing ropes and poles, swimming, rowing/paddling, gymnastics, and wrestling.

References

1. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:674-88.
2. Spiering BA, Kraemer WJ, Anderson JM, Armstrong LE, Nindl BC, Volek JS, *et al.* Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med* 2008;38:527-40.
3. Ronai P, Scibek E. The Pull-up. *Strength Cond J* 2014;36:88-90.
4. Pate RR, Burgess ML, Woods JA, Ross JG, Baumgartner T. Validity of field tests of upper body muscular strength. *Res Q Exerc Sport* 1993;64:17-24.
5. Johnson D, Lynch J, Nash K, Cygan J, Mayhew JL. Relationship of lat-pull repetitions and pull-ups to maximal lat-pull and pull-up strength in men and women. *J Strength Cond Res* 2009;23:1022-8.
6. Lusk SJ, Hale BD, Russell DM. Grip width and forearm orientation effects on muscle activity during the lat pull-down. *J Strength Cond Res* 2010;24:1895-900.
7. Harman EA, Gutkunst DJ, Frykman PN, Nindl BC, Alemany JA, Mello RP, *et al.* Effects of two different eight-week training programs on military physical performance. *J Strength Cond Res* 2008;22:524-34.
8. Youdas JW, Amundson CL, Cicero KS, Hahn JJ, Harezlak DT, Holman JH. Surface electromyographic activation patterns and elbow joint motion during a pull-up, chin-up, or perfect-pullup™ rotational exercise. *J Strength Cond Res* 2010;24:3404-14.
9. Flanagan S, Vanderburgh P, Borchers S, Kohstall C. Training college-age women to perform the pull-up exercise. *Res Q Exerc Sport* 2003;74:52-9.
10. Williford HN, Duey WJ, Olson MS, Howard R, Wang N. Relationship between fire fighting suppression tasks and physical fitness. *Ergonomics* 1999;42:1179-86.
11. Chandler T, Ware J, Mayhew J. Relationship of lat-pull repetitions and pull-ups to 1-RM lat-pull strength in male athletes. *J Human Mov Studies* 2001;41:25-38.
12. Halet KA, Mayhew JL, Murphy C, Fanthorpe J. Relationship of 1 repetition maximum lat-pull to pull-up and lat-pull repetitions in elite collegiate women swimmers. *J Strength Cond Res* 2009;23:1496-502.
13. Esco MR, Olson MS, Williford H. Relationship of push-ups and sit-ups tests to selected anthropometric variables and performance results: A multiple regression study. *J Strength Cond Res* 2008;22:1862-8.
14. Vanderburgh PM, Edmonds T. The effect of experimental alterations in excess mass on pull-up performance in fit young men. *J Strength Cond Res* 1997;11:230-3.
15. Chtourou H, Hammouda O, Souissi H, Chamari K, Chaouachi A, Souissi N. Diurnal variations in physical performances related to football in young soccer players. *Asian J Sports Med* 2012;3:139.

16. Signorile JF, Zink AJ, Szwed SP. A Comparative electromyographical investigation of muscle utilization patterns using various hand positions during the lat pull-down. *J Strength Cond Res* 2002;16:539-46.
17. Weir JP, Wagner LL, Housh TJ. The effect of rest interval length on repeated maximal bench presses. *J Strength Cond Res* 1994;8:58-60.
18. Hollander DB, Kraemer RR, Kilpatrick MW, Ramadan ZG, Reeves GV, Francois M, *et al.* Maximal eccentric and concentric strength discrepancies between young men and women for dynamic resistance exercise. *J Strength Cond Res* 2007;21:37-40.
19. Seo D-i, Kim E, Fahs CA, Rossow L, Young K, Ferguson SL, *et al.* Reliability of the one-repetition maximum test based on muscle group and gender. *J Sports Sci Med* 2012;11:221.
20. LaChance PF, Hortobagyi T. Influence of cadence on muscular performance during push-up and pull-up exercise. *J Strength Cond Res* 1994;8:76-9.
21. Ball T. The predictability of muscular strength and endurance from calisthenics. *Res Q Exerc Sport* 1993;64:A39.
22. Norton K, Whittingham N, Carter L, Kerr D, Gore C, Marfell-Jones M. Measurement techniques in anthropometry. *Anthropometria* 1996;1:25-75.
23. Faulkner JA. Physiology of swimming and diving. *Exerc Physiol* 1968:415-46.
24. Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol* 1921;4:223-30.
25. Olkin I. Statistical methods for meta-analysis. San Diego, CA: Academic; 1985.
26. Hopkins W, Marshall S, Batterham A, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41:3.
27. Hopkins W. Spreadsheets for analysis of controlled trials, with adjustment for a subject characteristic. *Sportscience* 2006;10:46-50.
28. Perroni F, Cignitti L, Cortis C, Capranica L. Physical fitness profile of professional Italian firefighters: Differences among age groups. *Appl Ergon* 2014;45:456-61.

Conflicts of interest.—The authors certify that there is no conflict of interest with any financial organization regarding the material discussed in the manuscript. Article first published online: July 15, 2015. - Manuscript accepted: July 12, 2015. - Manuscript revised: June 19, 2015. - Manuscript received: February 9, 2015.

MINERVA MEDICA
COPYRIGHT®

Note. This article will be published in a forthcoming issue of the *International Journal of Sports Physiology and Performance*. The article appears here in its accepted, peer-reviewed form, as it was provided by the submitting author. It has not been copyedited, proofread, or formatted by the publisher.

Section: Original Investigation

Article Title: Movement Velocity as Indicator of Relative Intensity and Level of Effort Attained During the Set in Pull-Up Exercise

Authors: Miguel Sánchez-Moreno, David Rodríguez-Rosell, Fernando Pareja-Blanco, Ricardo Mora-Custodio, and Juan José González-Badillo

Affiliations: Physical and Athletic Performance Research Centre, Pablo de Olavide University, Seville, Spain.

Journal: *International Journal of Sports Physiology and Performance*

Acceptance Date: March 8, 2017

©2017 Human Kinetics, Inc.

DOI: <https://doi.org/10.1123/ijspp.2016-0791>

Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up exercise

Miguel Sánchez-Moreno

David Rodríguez-Rosell

Fernando Pareja-Blanco

Ricardo Mora-Custodio

Juan José González-Badillo

Type of article: ORIGINAL INVESTIGATION

Contact author: Miguel Sánchez-Moreno

Physical and Athletic Performance Research Centre, Pablo de Olavide University, Ctra. de Utrera, km 1, 41013 Seville, SPAIN.

Tel + 34 651 9171 516, Fax: +34 954 348 659, email: msanmor@hotmail.com

Preferred running-head: LOAD-VELOCITY RELATIONSHIP OF THE PULL-UP EXERCISE

Word count for abstract: 240

Word count for main text: 3483

Tables: 4

Figures: 4

Abstract

Purpose: to analyze the relationship between movement velocity and relative load (%1RM) in the pull-up exercise (PU), and to determine the pattern of repetition velocity loss during a single set to failure in pulling one's own body mass. **Methods:** Fifty-two men (age = 26.5 ± 3.9 years, body mass = 74.3 ± 7.2 kg) performed a first evaluation (T1) consisting of an one-repetition maximum test (1RM), and a test of maximum number of repetitions to failure pulling one's own body mass (MNR) in the PU exercise. Thirty-nine subjects performed both tests on a second occasion (T2) following 12 weeks' training. **Results:** We observed a strong relationship between mean propulsive velocity (MPV) and %1RM ($r = -.96$). Mean velocity attained with 1RM load (V_{1RM}) was $0.20 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and it influenced the MPV attained with each %1RM. Although 1RM increased by 3.4% from T1 to T2, the relationship between MPV and %1RM, and V_{1RM} remained stable. We also confirmed stability in the V_{1RM} regardless of individual relative strength. We found a strong relationship between percentage of velocity loss and percentage of performed repetitions ($R^2 = .88$), which remained stable despite a 15% increase in MNR. **Conclusions:** Monitoring repetition velocity allows estimation of the %1RM used as soon as the first repetition with a given load is performed, and the number of repetitions remaining in reserve when a given percentage of velocity loss is achieved during a PU exercise set.

Keywords: loading intensity, training volume, velocity loss, velocity based resistance training, strength training

Introduction

Exercise intensity is one of the most important variables to consider when designing resistance training (RT) aimed at improving strength levels.^{1,2} Traditionally, exercise intensity has been defined and prescribed as a percentage of one-repetition maximum (%1RM), often called relative intensity.¹⁻³ Another commonly used method is to prescribe exercise intensity based on the maximal load that can be lifted with a given number of repetitions (XRM) in each set.¹ However, these methods have some potential limitations, which means neither 1RM nor XRM tests are entirely appropriate for precisely monitoring exercise intensity.^{4,5} Movement velocity has been introduced as a valid method for monitoring exercise intensity in real time.⁵ A very close relationship has been observed between movement velocity and %1RM in different resistance exercises⁵⁻⁷ making it possible to: 1) evaluate an athlete's strength without the need to perform 1RM or XRM tests; 2) determine the %1RM that is being used as soon as the first repetition with a given load is performed with maximal voluntary velocity.⁵

Training volume is another important variable for configuring the training load in RT because it affects neuromuscular responses and subsequent adaptations.^{2,8} Typically, training volume is prescribed using a specific number of repetitions in each exercise set for all subjects. However, the maximal number of repetitions that can be completed against a given relative load (%1RM) shows a large inter-individual variability.⁹ Therefore, if during a training session all subjects perform the same number of repetitions per set against the same relative load, it is possible that they are exerting different *levels of effort*.⁹ Thus, rather than performing a fixed number of repetitions, it seems more appropriate to terminate each training set as soon as a certain level of neuromuscular fatigue is detected.^{9,10} In this regard, recent studies have shown that (i) the velocity loss in the set shows very strong relationships with mechanical and metabolic measures of fatigue,¹⁰⁻¹² and (ii) there is a very close relationship between the percentage of velocity loss incurred in a set and the percentage of performed repetitions.⁹ These

results support the validity of using velocity loss as a variable to objectively quantify neuromuscular fatigue during RT in different exercises including bench press and squat.^{9,10} However, whether the same results occur in other resistance exercises such as the pull-up (PU) remains unexplored.

The PU exercise is a multi-joint upper-body exercise,¹³ in which the individual grips a stationary bar overhead and pulls his/her body mass (BM) upward to the bar. The individual is typically limited to the use of BM as resistance, although external loads can be added via a weighted vest or belt to achieve greater resistance.^{14,15} This exercise is commonly used in sport disciplines that require upper-body pulling strength, such as canoeing,^{16,17} climbing,¹⁸ and kayaking.¹⁹ Furthermore, it has traditionally been used to assess upper-body strength and muscular endurance in different populations.^{13,20,21} Studies have analyzed the joint movement and work,²² surface electromyography activation patterns,^{20,23,24} similarities between PU and lat-pull exercises,²⁴⁻²⁸ and the influence of body composition on performance in the PU exercise.²⁶⁻²⁸ However, to our knowledge, the velocity-load relationship in the PU exercise has not yet received attention. In addition, because the PU exercise is often used to assess muscular endurance through the maximum number of repetitions that can be completed lifting one's own BM,²⁹ knowing the velocity decline occurring during a single set to failure can provide useful information to coaches and strength and conditioning professionals to individually prescribe training volumes during training sessions.

Therefore, the aims of the present study were: (i) to analyze the relationship between movement velocity and relative load (% 1RM) in the PU exercise to assess the use of velocity data to estimate loading intensity; and (ii) to determine the velocity decline during a single set to failure lifting one's own BM to determine the percentage of performed repetitions (%Rep) with respect to the maximum number that can be completed for different magnitudes of velocity loss (%VL) within a set to failure.

Materials and Methods

Subjects

Fifty-two men (mean \pm SD: age = 26.5 ± 3.9 years, body mass = 74.3 ± 7.2 kg, height = 176.7 ± 5.8 cm) volunteered to take part in this study. Subjects were firefighter candidates with a training background in PU exercise ranging from 2 to 4 years (2-3 sessions per week). None of the subjects was taking drugs, medications or dietary supplements known to influence physical performance. All subjects provided written informed consent and were screened for medical contraindications prior to testing. The present investigation was approved by the Research Ethics Committee of Pablo de Olavide University, and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki.

Experimental design

For each subject, testing was conducted over 3 sessions separated by 48 - 72 h. The first session was used for anthropometric assessments, medical examination, and familiarization with PU testing protocols. During the familiarization, subjects carried out some practice sets with light and medium external loads (from 0 to 20 kg), while researchers emphasized proper technique. During the second session, all 52 subjects performed a strength test with increasing loads up to 1RM for individual determination of the full load-velocity relationship. Finally, in the third session, the subjects conducted a test to determine the maximum number of repetitions to failure (MNR test) without added weight. A subset of the total sample (39 subjects) performed the same experimental protocol on a second occasion (T2) after 12 weeks of RT. During this time, each subject trained following his usual routine (2 – 3 sessions per week), which included the PU exercise (3 – 5 sets, 50 – 80% of MNR, 2 – 4 min inter-set rests).

Testing procedures

All PU tests were performed on a standard stationary, horizontal bar. To be counted as a complete PU repetition, it was required that the subject lifted his body from a full-arm extension hanging position until the chin was above the bar. A self-selected width with pronated grip (approximately 150% of the biacromial distance) was used throughout the first testing session and it was recorded in order to be repeated in the subsequent testing sessions. During each repetition of both tests (1RM and MNR test), the subjects were required to perform the eccentric phase in a controlled velocity ($\sim 0.65\text{--}0.75\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and maintain a static position for $\sim 1\text{ s}$ at the end of this phase before performing the concentric phase at maximal intended velocity upon hearing the command. All repetitions were recorded with a linear velocity transducer (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spain). The reliability of this system has been reported elsewhere.¹⁰ All reported repetition velocities in this study correspond to the mean propulsive velocity (MPV).³⁰ The same warm-up protocol, which consisted of 5 minutes of jogging at a self-selected easy pace, 5 minutes of joint mobilization exercises and two sets of 3 to 5 PU repetitions with no external load, was followed in all testing sessions. Testing sessions were performed at the same venue and time of day ($\pm 1\text{ hour}$) for each subject, under the same environmental conditions. Strong verbal encouragement was provided during all tests to motivate subjects to give maximal effort.

One-repetition maximum test (1RM) Individual load–velocity relationships and 1RM strength were determined using a progressive loading test. The test-retest reliability of 1RM test in the PU exercise has been previously established.¹⁴ Subjects started without additional weight and the load was gradually increased, initially in 5 kg increments and reducing down to 1 kg additions so that 1RM could be precisely determined. Because subjects needed to lift their BM, PU maximal strength (1RM) was calculated as the sum of the maximum weight lifted and the subject’s BM. For example, if a subject weighing 90 kg was able to lift 20 kg during the

loading test, his 1RM was 110 kg (90 kg + 20 kg = 110 kg). Three repetitions were executed when the MPV was higher than $0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, two when the MPV ranged from 0.75 to $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, and only one when the MPV was less than $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Inter-set rests were 3 min when the MPV was higher than $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ and 4 min when the MPV was less than $0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Only the best repetition (fastest and executed correctly) at each load was considered for subsequent analysis. To add additional weight, a specialized belt was used which could be adjusted around the waist and allowed weights to be attached via a chain. The cable from the linear velocity transducer was fixed to the back of the belt.

Tests of maximum number of repetitions to failure

During this test, subjects were required to complete the maximum number of repetitions until muscular failure, lifting their own BM from a full-arm extension hanging position (using the same width pronated grip and execution as in the progressive loading test) until the chin was above the bar. The test was considered as finished when the subject was not able to raise the chin above the bar or when the subjects paused more than 2-3 s in the full-arm extension hanging position. The test-retest reliability of this test has been previously reported elsewhere.¹⁵

Statistical analyses

Standard statistical methods were used for the calculation of means, standard deviations (SD), standard error of the estimate (SEE), confidence intervals (CI) and Pearson product-moment correlation coefficients (r). The Kolmogorov-Smirnov test was applied to determine the nature of the data distribution for the velocity attained with the 1RM load (V_{1RM}). Load-velocity relationships were studied by fitting first-order linear equations to the data. The relationship between %VL and %Rep was studied by fitting second-order polynomials to the data. Test-retest absolute reliability was assessed using the coefficient of variation (CV),

whereas relative reliability was calculated with the intraclass correlation coefficient (ICC) using the one-way random effects model. A related-sample *t*-test was used to analyze intragroup changes between T1 and T2. One-way ANOVA with Scheffé's post-hoc comparisons was used to detect differences between subgroups of subjects (group 1: relative strength ratio ≤ 0.41 [RSR, defined as 1RM load value divided by body mass]; group 2: $0.41 < \text{RSR} \leq 0.52$; and group 3: $\text{RSR} > 0.52$). Significance was accepted at the $P \leq .05$ level. All analyses were performed using SPSS software version 17.0 (SPSS, Chicago, IL).

Results

Relationship between relative load and velocity

After plotting MPV against %1RM from T1, a strong relationship ($r = -.96$) was observed between these variables (**Fig. 1A**). The average correlation value for each individual's curve fit was $r = -.97 \pm .03$ (95% CI = $-.96 - -.98$; CV = 3.7%). The MPV attained with each %1RM was obtained from these lineal fits, from 65% 1RM onwards, in 5% increments (**Table 1**). The lightest load was set at 65% of 1RM because the lowest weight used in this exercise was the subjects' own BM, and the relative load this represented was $68.3 \pm 7.0\%$ (95% CI = $66.4 - 70.3\%$ 1RM).

Predicting load (%1RM) from velocity data

The resulting prediction equation for estimation of relative load (%1RM) from the MPV data ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) was: $\text{Load} = -53.472 \text{ MPV} + 110.68$ ($r = -.96$; SEE = 3.15% of 1RM).

Stability in the load-velocity relationship after modifying the 1RM

From T1 to T2, the 1RM value improved from 106.0 ± 13.1 to 109.4 ± 12.5 kg ($P < .001$). However, the difference in mean test velocity (defined as the mean of the velocity values, calculated each 5% from 65 – 95% 1RM for each test) was $0.00 \pm 0.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ or, when expressed as absolute values, $0.03 \pm 0.03 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, thus remaining practically unchanged ($0.57 \pm$

0.06 and $0.57 \pm 0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ for T1 and T2, respectively; see **Table 1**). Additionally, the relationship between MPV and %1RM remained stable in both tests ($r = -.96$, **Fig. 1B**). Furthermore, the MPV attained with each %1RM showed a good relative [mean ICC: .82 (95% CI = .78 – .83)] and absolute (mean CV = 6.1%) reliability.

Influence of the velocity attained with 1RM

The V_{1RM} attained in T1 was $0.20 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (range: 0.08 to $0.32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and followed a normal distribution. A significant correlation ($r = .57$, $P < .001$; **Fig. 2A**) was found between V_{1RM} and mean test velocity during T1. The V_{1RM} ($0.20 \pm 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and the relationship between mean test velocity and V_{1RM} remained very similar ($r = .58$; and $r = .51$, $P < .001$; **Fig. 2B**) when only the 39 subjects who performed both tests (T1 and T2) were used in the analysis. Despite the influence of RSR on MNR completed ($r = 0.87$, $P < .001$), no significant differences in V_{1RM} and mean test velocity were found for the different relative strength groups (**Table 2**).

Relationship between velocity loss during the set and the percentage of repetitions performed

A strong relationship ($R^2 = .88$) was observed between the %VL and %Rep during T1 (**Fig. 3A**). The average correlation value for each individual curve fit was $R^2 = .97 \pm .03$ (95% CI = .96 – .98; CV = 3.5%).

Stability in the relationship between velocity loss during the set and the percentage of repetitions performed after modifying the MNR

From T1 to T2, the MNR value increased from 15.1 ± 4.2 to 17.0 ± 4.1 repetitions ($P < .001$). However, the relationship between %VL and %Rep observed in both tests remained stable ($R^2 = .89$ and $R^2 = .87$ for T1 and T2, respectively, **Fig. 3B**). **Table 3** shows the %Rep when a given %VL was reached in a set to failure during T1 and T2, and the differences between both tests.

Discussion

To our knowledge, this is the first study analyzing (i) the relationships between relative load and mean velocity, and (ii) the relationship between % VL and the percentage of repetitions performed with regard to the maximal number of repetitions that can be completed in the PU exercise. One of the main findings of this study was the close relationship ($r = -.96$) observed between relative load and MPV (**Fig. 1A**), and the stability of this relationship despite the notable change in maximal dynamic strength (**Fig. 1B**). Another important finding was the strong relationship ($R^2 = .88$) observed between % VL and %Rep (**Fig. 3A**), and the stability of this relationship despite the improvement in MNR (**Fig. 3B**). These findings allow us (i) to determine the real intensity of effort being incurred by an athlete when using any load from 65 to 95% of 1RM, and (ii) to estimate how many repetitions are left in reserve when a given % VL is achieved during a PU exercise set.

A very strong relationship between relative load and mean velocity has been observed in other exercises such as the bench-press ($R^2 = .98$), prone bench-pull ($R^2 = .94$), and full-squat ($R^2 = .97$).^{5,7} The current research has extended that understanding to the PU exercise ($r = -.96$). An important difference between the aforementioned exercises and the PU was that, for the previously studied exercises, the best fit between relative load and mean velocity was a curvilinear-type fit (second-order polynomial), whereas for the PU exercise it was a linear fit. This may be because the lowest weight used in this exercise is the subject's own BM, which, in our study, represented approximately 65% 1RM. Therefore, the portion of the load-velocity curve analyzed in the present study was from 65 to 95% 1RM, which seems to confirm to a linear fit. Conversely, in other resistance exercises such as the bench-press and bench-pull, where the BM is not lifted, the portion of the curve analyzed was from 30 to 100% 1RM, which seems to follow a curvilinear fit.^{5,7}

In agreement with a previous study,⁵ our results showed that the MPV attained with each %1RM is not modified by 1RM value changes (9.8%) after a training period (**Table 1**). In addition, the ICC and CV values obtained for movement velocity in test-retest comparisons indicated a good reliability of this parameter, suggesting its use for strength assessment follow-up in the PU exercise. A similar reliability score (ICC = .87) has been observed in the load-velocity relationship for the bench-press exercise.⁵ As consequence, the strong relationship observed in our study might be used to predict or adjust the relative intensity during a training session simply by monitoring the movement velocity in PU exercise. Thus, as an example, if a subject performs a repetition at $0.75 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ with a given load (kg), this means that such load represents approximately 70% of 1RM.

Different studies have paid attention to the V_{1RM} in a range of upper body pressing and pulling exercises.^{5,7,31} The mean V_{1RM} observed in the bench-press was $\sim 0.16 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,^{5,31} while in the bench-pull it was $\sim 0.52 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.⁷ Surprisingly, although the PU is an upper body pulling exercise, the mean V_{1RM} observed ($\sim 0.20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) was similar to that observed in an upper body pressing exercise such as the bench-press. However, in contrast with previous results reported in bench-press exercise,⁵ the present study suggests that neither the mean test velocity nor the V_{1RM} were influenced by the relative strength of the subjects (**Table 2**). However, an important finding to take into account is that the individual values of V_{1RM} had an influence on the mean test velocity (**Fig. 2**), such that as the V_{1RM} increased, there was a tendency towards higher MPV with each %1RM. **Fig. 4** provides examples illustrating this tendency. **Fig. 4A** shows one subject who improved his 1RM value by 9.8%. The V_{1RM} value in T1 and T2 were identical ($0.14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), and MPV with each %1RM and mean test velocity remained stable (0.56 and $0.57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, respectively). **Fig. 4B** shows a case in which the subject showed a similar change in 1RM from T1 to T2 as the first case (10.1%), but the V_{1RM} decreased (from 0.27 to $0.21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Consequently, the MPVs attained with each %1RM and mean test velocity (0.63 and 0.53

$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) were lower in T2 than in T1. Finally, the subject whose curves are shown in **Fig. 4C** did not improve his maximal strength. For this subject, $V_{1\text{RM}}$ in T1 ($0.14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) and T2 ($0.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) were very similar, and the MPVs attained with each relative load and mean test velocity were the same in both tests ($0.55 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). These results suggest that a maximum value for $V_{1\text{RM}}$ should be established in order for 1RM to be considered true and valid in the PU exercise. If $V_{1\text{RM}}$ exceeds this value, the mean velocities attained with each % 1RM and relative loads will deviate from their true values.

Finally, a strong relationship ($R^2 = .88$) was observed between %VL and %Rep (**Fig. 3A**). In addition, the %Rep during the set to failure when a given magnitude %VL was reached were very similar in both tests (**Table 3**). These results are in agreement with a recent study that also showed a very close relationship between %VL and %Rep ($R^2 = .96 - .97$) against 8 different submaximal loads in the bench-press exercise.⁹ This result makes it possible to determine the percentage of repetitions that has been completed as soon as a given percentage of velocity loss is detected.⁹ For example, our results indicate that when an individual reaches a 25% loss of MPV in a PU set without added weight, he will have completed ~50% of the possible repetitions (**Table 3**), regardless of the total number of repetitions to failure that could be completed. Thus, monitoring movement velocity during RT in the PU exercise allows us to: (i) determine the actual degree or *level of effort* being incurred by an athlete during each exercise set; and (ii) equalize the *level of effort* for each subject during RT.⁹

Practical Applications

These results have important practical applications for the prescription and monitoring of training loads in the PU exercise. The close relationship between MPV and %1RM allows us to determine what %1RM is being used as soon as the first repetition with a given load is performed with maximal voluntary velocity (from 65% to 95% 1RM). In addition, the strong

relationship between %VL and %Rep allows us to know and match the *level of effort* for each subject during PU training. Using this approach, rather than prescribing a fixed number of repetitions to perform, which shows a high inter-individual variability, training volume during PU should be monitored using the magnitude of velocity loss attained in each exercise set, because it is closely linked to the actual level of effort being incurred.^{9,10}

Conclusion

The main findings of the present study were that: 1) there is a strong relationship between relative load and mean velocity in PU exercise that allows us to use one to estimate the other with great precision; 2) there is a strong relationship between velocity loss and the percentage of repetitions performed with regard to the maximal number of repetitions, which allows us to estimate the *level of effort* attained during the set.

References

1. Fry AC. The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med.* 2004;34:663-679.
2. Kraemer WJ, Ratamess NA. Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:674-688.
3. Tan B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res.* 1999;13:289-304.
4. González-Badillo J, Marques M, Sánchez-Medina L. The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J Hum Kinet.* 2011;29:15-19.
5. González-Badillo, Sánchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med.* 2010;31:347-352.
6. Pallarés JG, Sánchez-Medina L, Pérez CE, De La Cruz-Sánchez E, Mora-Rodriguez R. Imposing a pause between the eccentric and concentric phases increases the reliability of isoinertial strength assessments. *J Sports Sci.* 2014;32:1165-1175.
7. Sánchez-Medina L, González-Badillo J, Pérez C, Pallarés J. Velocity-and power-load relationships of the bench pull vs. Bench press exercises. *Int J Sports Med.* 2014;35:209-216.
8. Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med.* 2005;35:841-851.
9. González-Badillo J, Yáñez-García, JM., Mora-Custodio, R. & Rodríguez-Rosell D. Velocity loss as a variable for monitoring resistance exercise. *Int J Sports Med.* 2016; Epub ahead of print.
10. Sanchez-Medina L, González-Badillo J. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1725-1734.
11. González-Badillo J, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Ribas J, López-López C, Mora-Custodio R, Yáñez-García J, Pareja-Blanco F. Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. *Int J Sports Med.* 2016;37:295-304.
12. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Ribas-Serna J, López-López C, Mora-Custodio R, Yáñez-García JM, González-Badillo JJ. Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2016. doi: 10.1111/cpf.12348.
13. Ronai P, Scibek E. The Pull-up. *Strength Cond J.* 2014;36:88-90.
14. Baker DG, Newton RU. An analysis of the ratio and relationship between upper body pressing and pulling strength. *J Strength Cond Res.* 2004;18:594-598.
15. Vanderburgh PM, Edmonds T. The effect of experimental alterations in excess mass on pull-up performance in fit young men. *J Strength Cond Res.* 1997;11:230-233.

16. García-Pallarés J, Sánchez-Medina L, Carrasco L, Díaz A, Izquierdo M. Endurance and neuromuscular changes in world-class level kayakers during a periodized training cycle. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106:629-638.
17. Garcia-Pallares J, Sanchez-Medina L, Perez CE, Izquierdo-Gabarren M, Izquierdo M. Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2010;42:1209-1214.
18. Grant S, Hynes V, Whittaker A, Aitchison T. Anthropometric, strength, endurance and flexibility characteristics of elite and recreational climbers. *J Sports Sci*. 1996;14:301-309.
19. McKean MR, Burkett BJ. The influence of upper-body strength on flat-water sprint kayak performance in elite athletes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2014;9:707-714.
20. Youdas JW, Amundson CL, Cicero KS, Hahn JJ, Harezlak DT, Hollman JH. Surface electromyographic activation patterns and elbow joint motion during a pull-up, chin-up, or perfect-pullup™ rotational exercise. *J Strength Cond Res*. 2010;24:3404-3414.
21. Flanagan S, Vanderburgh P, Borchers S, Kohstall C. Training college-age women to perform the pull-up exercise. *Res Q Exerc Sport*. 2003;74:52-59.
22. Antinori F, Felici F, Figura F, Marchetti M, Ricci B. Joint moments and work in pull-ups. *J Sport Med Phys Fitness*. 1988;28:132-137.
23. Ricci B, Figura F, Felici F, Marchetti M. Comparison of male and female functional capacity in pull-ups. *J Sport Med Phys Fitness*. 1988;28:168-175.
24. Doma K, Deakin GB, Ness KF. Kinematic and electromyographic comparisons between chin-ups and lat-pull down exercises. *Sports Biomech*. 2013;12:302-313.
25. Chandler T, Ware J, Mayhew J. Relationship of lat-pull repetitions and pull-ups to 1-RM lat-pull strength in male athletes. *J Hum Movement Stud*. 2001;41:25-38.
26. Halet KA, Mayhew JL, Murphy C, Fanthorpe J. Relationship of 1 repetition maximum lat-pull to pull-up and lat-pull repetitions in elite collegiate women swimmers. *J Strength Cond Res*. 2009;23:1496-1502.
27. Johnson D, Lynch J, Nash K, Cygan J, Mayhew JL. Relationship of lat-pull repetitions and pull-ups to maximal lat-pull and pull-up strength in men and women. *J Strength Cond Res*. 2009;23:1022-1028.
28. Sánchez-Moreno M, Pareja-Blanco F, Díaz-Cueli D, González-Badillo J. Determinant factors of pull up performance in trained athletes. *J Sport Med Phys Fitness*. 2016;56:825-833.
29. Trappe SW, Pearson DR. Effects of weight assisted dry-land strength training on swimming performance. *J Strength Cond Res*. 1994;8:209-213.
30. Sanchez-Medina L, Perez C, Gonzalez-Badillo J. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med*. 2010;31:123-129.

31. Izquierdo, González-Badillo J, Häkkinen K, Ibanez J, Kraemer W, Altadill A, Eslava J, Gorostiaga EM. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med.* 2006;27:718-724.

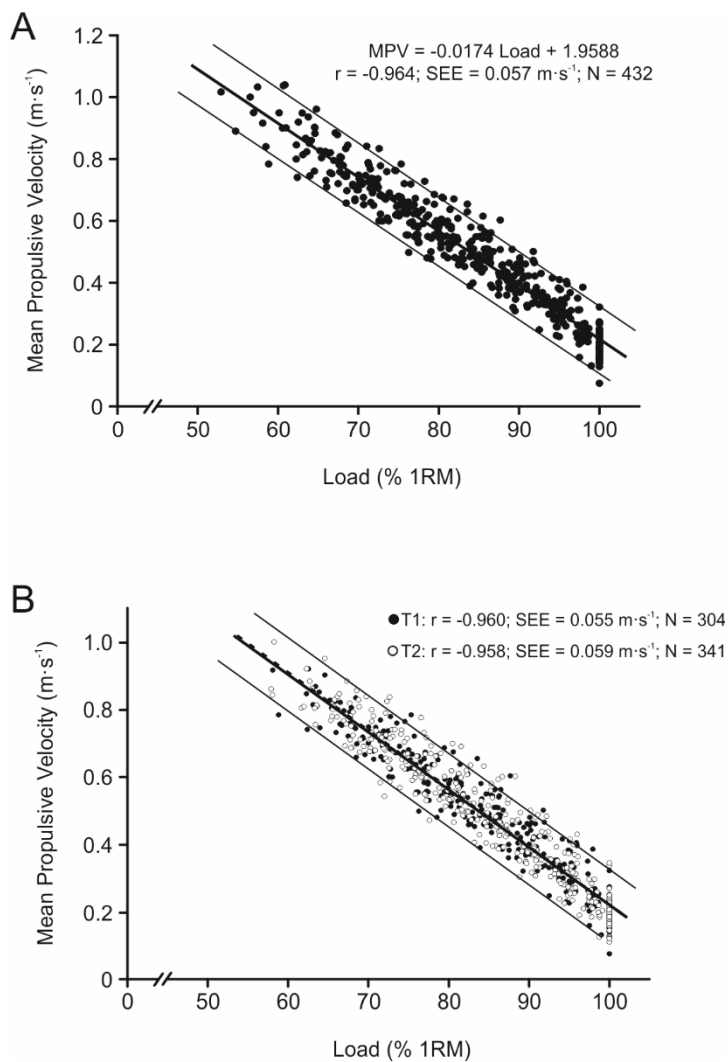


Figure 1 Relationship between relative load (%1RM) and MPV obtained from 432 items of raw data derived from the 52 incremental tests performed in T1 (A), and from 304 and 341 items of raw data from the subset of 39 subjects who performed the incremental tests in T1 and T2 (B). The solid line shows the fitted curve for the data, and the dotted lines indicate limits within which 95% of predictions will fall.

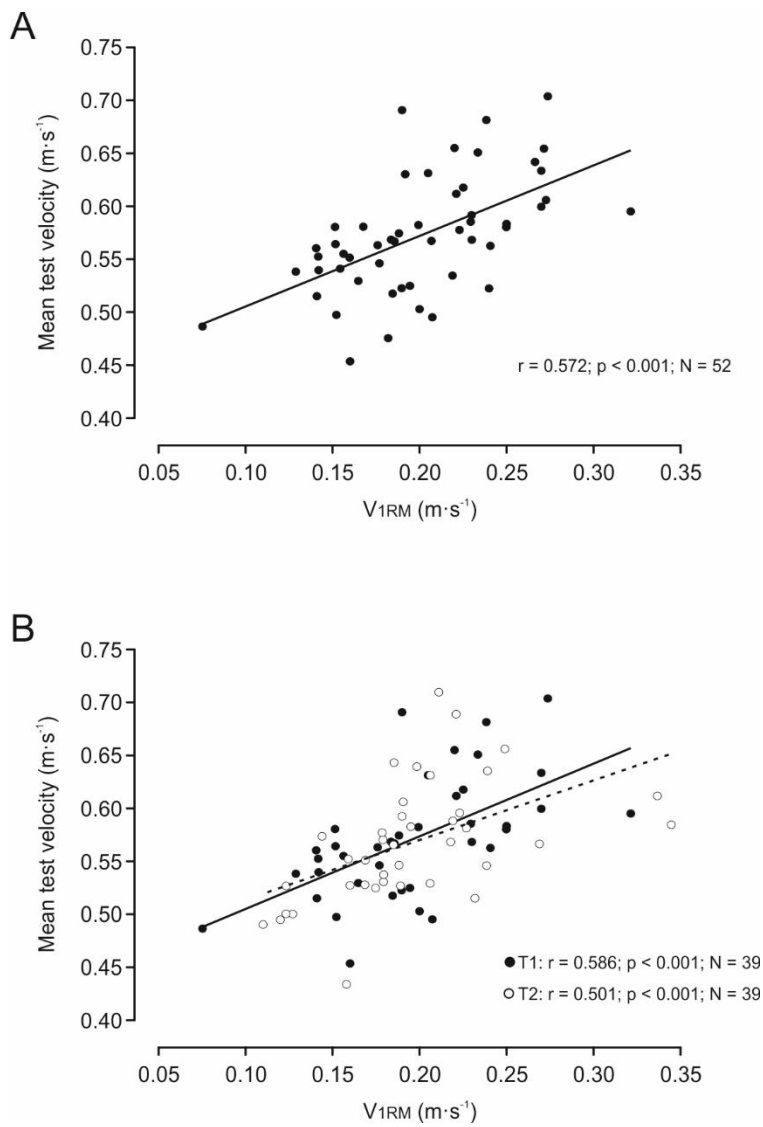


Figure 2 Correlation between mean velocities attained with the 1RM load (V_{1RM}) and mean test velocity from T1 (N = 52; **A**) and from T2 (N = 39; **B**).

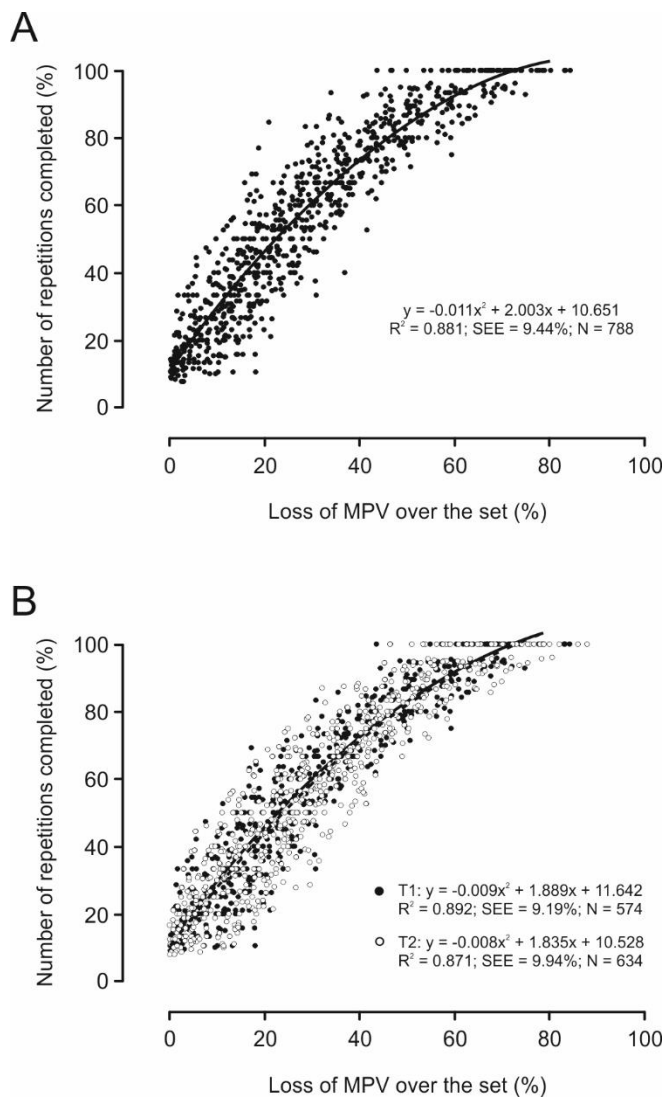


Figure 3 Relationship between velocity loss during the set (%VL) and the percentage of repetitions performed (%Rep) directly obtained from 788 items of raw data derived from the 52 MNR test performed in T1 (A), and from 574 and 634 items of raw data from the subset of 39 subjects who performed the MNR tests in T1 and T2 (B).

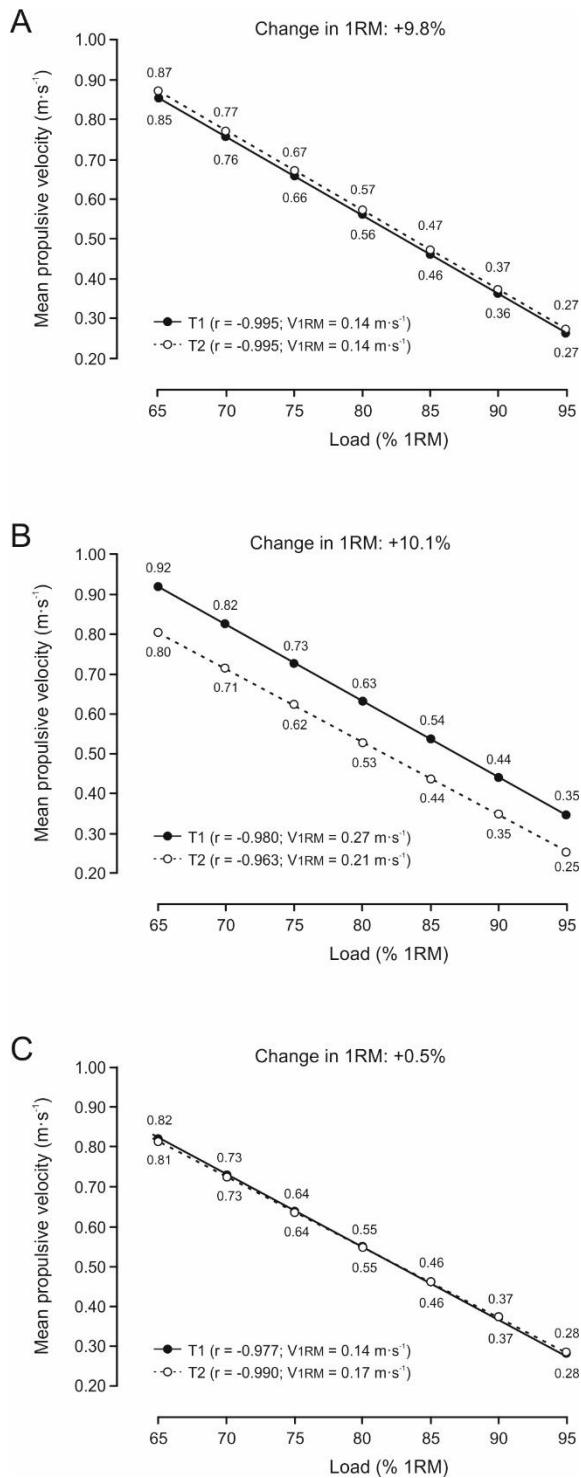


Figure 4 Load-velocity relationships for three representative subjects in the pull-up exercise. Solid (T1) and dashed (T2) lines are first order lineal curve fits. (A) 1RM increased from 112 kg (T1) to 123 kg (T2); (B) 1RM increased from 94 kg (T1) to 103 kg (T2); (C) 1RM remains the same at 118 kg.

Table 1. Changes in mean propulsive velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) attained with each relative load, from initial test (T1) to retest (T2), after 12-wk of training, in the pull-up exercise.

Load (% 1RM)	MPV (T1)	MPV (T2)	Difference (T1-T2)	CV (%)
65%	0.84 ± 0.08	0.83 ± 0.08	0.01	5.2
70%	0.75 ± 0.07	0.74 ± 0.07	0.00	5.1
75%	0.66 ± 0.06	0.66 ± 0.06	0.00	5.4
80%	0.57 ± 0.06	0.57 ± 0.06	0.00	5.5
85%	0.48 ± 0.05	0.48 ± 0.05	0.00	5.9
90%	0.39 ± 0.05	0.39 ± 0.05	0.00	6.9
95%	0.30 ± 0.05	0.30 ± 0.05	0.00	9.4

Values are mean ± SD (N = 39).

MPV: Mean propulsive velocity; T1: pre-test; T2: post-test; 1RM: one-repetition maximum; CV: coefficient of variation.

Table 2. Comparison of mean test velocity, mean velocity attained with the 1RM load ($V_{1\text{RM}}$), and maximal number of repetitions to failure between subgroups of different relative strength ratio.

Subgroup	RSR	Mean Test Velocity ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	$V_{1\text{RM}}$ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	MNR (repetitions)
G1 (n = 17)	0.32 ± 0.06 [†]	0.59 ± 0.08	0.20 ± 0.05	11.4 ± 2.6 [†]
G2 (n = 18)	0.47 ± 0.05 [†]	0.57 ± 0.03	0.20 ± 0.05	16.6 ± 2.4 [†]
G3 (n = 17)	0.65 ± 0.10 [†]	0.56 ± 0.05	0.20 ± 0.04	19.8 ± 3.5 [†]

Values are mean ± SD.

RSR: Relative Strength Ratio, defined as 1RM value divided by body mass. [†] All groups significantly different from each other ($P < 0.001$). MNR: maximal number of repetitions to failure in the pull up exercise.

Table 3. Percentage of repetitions performed with respect to the maximal number of repetitions and absolute reliability for each magnitude of MPV loss reached in a set to failure.

Loss of MPV (%)	% Repetition Performed (T1)	% Repetition Performed (T2)	Difference (T1-T2)	CV (%)
20%	45.6 ± 8.9	43.2 ± 10.2	2.4	14.0
25%	53.7 ± 8.8	51.7 ± 10.0	2.0	10.9
30%	61.2 ± 8.6	59.5 ± 9.8	1.7	9.1
35%	68.1 ± 8.2	66.7 ± 9.4	1.4	7.9
40%	74.4 ± 7.7	73.3 ± 8.8	1.1	6.9
45%	80.2 ± 7.1	79.3 ± 8.0	0.9	6.0
50%	85.3 ± 6.5	84.6 ± 7.1	0.8	5.2
55%	89.9 ± 6.1	89.2 ± 6.1	0.7	4.6
60%	93.9 ± 6.2	93.3 ± 5.7	0.6	4.2
65%	97.3 ± 7.0	96.7 ± 6.3	0.6	4.3

Values are mean ± SD (N = 39).

MPV: Mean propulsive velocity; CV: Coefficient of variation.

Loss of MPV: defined as: $100 \cdot (\text{MPV of the last repetition repetitions} - \text{MPV of the fastest repetitions [usually the first]}) / \text{MPV of the fastest}$.

%Repetitions Performed: defined as: $100 (\text{submaximal number of repetitions} - \text{maximal number of repetitions}) / \text{maximal number of repetitions}$.