



UNIVERSIDAD DE
MURCIA



VALIDEZ Y REPRODUCIBILIDAD DE LA VELOCIDAD DE DESPLAZAMIENTO DE LAS CARGAS COMO INDICADOR DEL CARÁCTER DEL ESFUERZO

Trabajo Fin de Máster
Julio de 2015

Autor:
Alejandro Martínez Cava
23.064.192-E

Tutor:
Prof. Dr. Jesús García Pallarés



UNIVERSIDAD DE
MURCIA



El alumno de máster D. Alejandro Martínez Cava, con número de D.N.I. 23.064.192-E. Estudiante del Máster Oficial “Investigación en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte”, desarrollado por la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Murcia, presenta su trabajo FIN DE MÁSTER, titulado:

**“VALIDEZ Y REPRODUCIBILIDAD DE LA VELOCIDAD DE
DESPLAZAMIENTO DE LAS CARGAS COMO INDICADOR DEL
CARÁCTER DEL ESFUERZO”**

El presente trabajo FIN DE MASTER fue tutorizado por el Prof. Dr. D. Jesús García Pallarés. El cual acredita, a través de este documento, la idoneidad del presente trabajo de investigación y le otorga el Vº Bº a su contenido para llevar a cabo la defensa pública de su proyecto de investigación.

Para que así conste, se firma la presente en San Javier, a 17 de julio de 2015

Fdo.: Jesús García Pallarés.

Martínez-Cava, A. (2015). *Validez y reproducibilidad de la velocidad de desplazamiento de las cargas como indicador del carácter del esfuerzo*. Trabajo de Fin de Máster. Murcia: Universidad de Murcia.

RESUMEN

Estudios recientes han constatado que evitar alcanzar la repetición de fallo muscular durante el entrenamiento de fuerza, y más concretamente controlar el número de repeticiones que se dejan de completar en cada serie de esfuerzo, es la estrategia más acertada para optimizar las adaptaciones neuromusculares y fisiológicas de los deportistas. No obstante, hasta la fecha el atleta únicamente dispone de la percepción subjetiva del esfuerzo que está realizando para detener la serie de repeticiones, es decir, el deportista ha de interiorizar las sensaciones de fatiga que percibe durante el propio esfuerzo para detenerlo voluntariamente en el momento justo. Ese estudio tuvo como objetivo validar un nuevo sistema basado en el control de la pérdida de velocidad durante la serie que permita eliminar la subjetividad de esta medida. Quince sujetos varones con experiencia en el entrenamiento de fuerza realizaron en dos ocasiones repeticiones hasta el fallo muscular en los ejercicios (press banca, sentadilla completa, dorsal remo y press hombro) ante las intensidades (65%, 75%, 85% y 95% 1RM) más habituales de entrenamiento de fuerza. Se registró en cada test el número de repeticiones hasta el fallo y las velocidades asociadas a los caracteres del esfuerzo de -2, -4, -6 y -8 repeticiones. Los resultados muestran altos niveles de reproducibilidad inter (CV = 4,6 % - 14,9%) e intra-sujeto (CV = 2,1 % - 9,4%) de la velocidad de parada en los 4 grados de esfuerzo de los cuatro ejercicios analizados, especialmente ante cargas medias y bajas (65%-75% 1RM). El número de repeticiones que pudieron completar los participantes hasta el fallo muscular fue muy variable para cada intensidad y ejercicio (CV = 10,3 - 43,2 %). Estos resultados indican que monitorizar el carácter del esfuerzo mediante la pérdida de velocidad durante la serie de repeticiones es un sistema válido y reproducible que mejora sustancialmente las desventajas de la percepción subjetiva del esfuerzo.

Palabras claves: fuerza muscular, carácter del esfuerzo, pérdida de velocidad, ejercicios isoinerciales.

Martínez-Cava, A. (2015). *Validity and reliability of the loads movement velocity as the level of effort indicator*. Master's Thesis. Murcia: University of Murcia.

ABSTRACT

Findings from recent studies indicate that avoid reaching the repetition of failure during resistance training, specifically control the number of repetitions that are left to complete in each set, it is the most successful strategy to optimize the athletes' neuromuscular and physiological adaptations. However, to date the athlete only has the self rate of perceived exertion to stop a set of repetitions, ie, the athlete has to internalize their own feelings of fatigue perceived during his own effort to stop voluntarily at the time just. This study aimed to validate a new system based on controlling the movement velocity loss during the resistance training to eliminate the subjectivity of this measure. Fifteen resistance trained male performed two sets of repetition to failure in the bench press, full squat, shoulder press and prone bench pull dorsal exercises at the 65%, 75%, 85% and 95% 1RM loads. The number of repetitions to failure and movement velocities associated with the -2, -4, -6 and -8 levels of efforts for each test was recorded. The results show high within-subject (CV = 2.1% - 9.4%) and between-subject (CV = 4.6% - 14.9%) reliability levels for the movement velocity stop values associated for each of the 4 level of effort assessed, mainly for medium and low loads (65% -75% 1RM). The number of repetitions that participants could complete to failure was highly variable for each load (CV = 10.3% to 43.2%). These findings indicate that monitoring the level of effort through the movement velocity loss during resistance training is a valid and reliable method that substantially improves the disadvantages of perceived exertion.

Keywords: muscular strength, level of effort, loss of velocity, isoinertial exercises.

AGRADECIMIENTOS

*A mis padres, que me lo han dado todo, por enseñarme a valorar y darme todo lo que ellos no
pudieron tener.*

*Muy especialmente a mi tutor Jesús sin el cual hoy no estaría aquí, por todo el tiempo dedicado, por
su ejemplar profesionalidad e inestimable ayuda que ha hecho posible este trabajo.*

A José María, por confiar en mí y por haber sido una pieza clave en mi vida académica y profesional.

A Salva y Ricardo por haberme mostrado la importancia del trabajo en equipo.

A María José, por enseñarme que “luchando” todos los “sueños” se cumplen.

Finalmente a toda mi familia y amigos, a todos gracias.

ÍNDICE DEL TRABAJO

Índice	Pág.
ÍNDICE DEL TRABAJO	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	III
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	9
2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO	19
3. OBJETIVOS	27
4. HIPÓTESIS	31
5. METODOLOGÍA.....	35
5.1. Tipo de investigación.....	37
5.2. Muestra	37
5.3. Variables objeto de estudio	38
5.4. Control de variables extrañas.....	38
5.5. Instrumental de evaluación.....	39
5.5.1. Máquina multipower.....	39
5.5.2. Análisis de la composición corporal.....	40
5.5.3. Transductor lineal de velocidad	41
5.6. Fase experimental.....	42
5.6.1. Protocolo curvas Carga-Velocidad.....	43
5.6.2. Protocolo test de repeticiones hasta el fallo.....	45
5.7. Tratamiento estadístico	49
6. RESULTADOS	51
6.1. Número de repeticiones hasta el fallo muscular.....	53
6.2. Velocidad de parada ante los diferentes caracteres del esfuerzo	54

7. DISCUSIÓN	59
8. CONCLUSIONES.....	67
9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO	71
10. LINEAS DE INVESTIGACION FUTURAS	75
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
12. ANEXOS.....	85
12.1. Anexo I: Informe de la comisión de ética.....	87
12.2. Anexo II: Documento de información al participante	89
12.3. Anexo III: Hoja de consentimiento informado.....	91

ÍNDICE DE TABLAS

Índice	Pág.
Tabla 01. Descripción de las características de la muestra.....	37
Tabla 02. Descriptivo del número de repeticiones hasta el fallo según intensidades y ejercicios.....	53
Tabla 03. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Press Banca.....	55
Tabla 04. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Sentadilla Completa.....	56
Tabla 05. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Dorsal Remo.....	57
Tabla 06. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Press Hombro.....	58

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Índice	Pág.
Ilustración 01. Relación entre la carga relativa (% 1RM) y la velocidad media propulsiva (VMP). La línea continua muestra la curva de ajuste cuadrático, y las líneas discontinuas indican los límites dentro de los cuales estaría el 95% de las predicciones. Tomado de Sánchez-Medina (2010).....	13
Ilustración 02. Concentración de amonio en sangre capilar. Tomado de Sánchez-Medina (2010).....	14
Ilustración 03. Evolución de la recuperación de los marcadores bioquímicos del estado de fatiga en función del carácter del esfuerzo realizado. Tomado de Pallarés et al. (2013).....	15
Ilustración 04. Evolución del rendimiento neuromuscular en remeros de élite en los grupos de Entrenamiento hasta el fallo (EF), entrenamiento con carácter del esfuerzo submáximo (NRF) y grupo control que no entrenaba la fuerza (C). Tomado de Izquierdo-Gabarren et al. (2010).....	16
Ilustración 05. Ejemplo de la relación Carga (% 1RM) y Velocidad Media Propulsiva en los ejercicios de Press Banca (rojo) y Dorsal Remo (azul). Tomado de Sánchez-Medina et al. (2013).....	24
Ilustración 06. Multipower o máquina Smith.....	40
Ilustración 07. Dispositivo T-FORCE System para la evaluación y el entrenamiento de la fuerza.....	41
Ilustración 08. Diseño del estudio.....	42
Ilustración 09. Ejemplo de una curva Carga-Velocidad correspondiente al ejercicio de Sentadilla.....	44
Ilustración 10. Ejemplo de test de repeticiones hasta el fallo muscular y carácter del esfuerzo (-2, -4, -6 y -8 repeticiones) en el ejercicio de Press Banca ante las 4 intensidades sometidas a estudio: 65% 1RM (A), 75% 1RM (B), 85% 1RM (C) y 95% 1RM (D).....	46
Ilustración 11. Técnica de ejecución del ejercicio PB posición de inicio (A) y final (B).....	47
Ilustración 12. Técnica de ejecución del ejercicio ST posición de inicio (A) y final (B).....	48

Ilustración 13. Técnica de ejecución del ejercicio PH posición de inicio (A) y final (B).....	49
Ilustración 14. Técnica de ejecución del ejercicio DR posición de inicio (A) y final (B).....	49

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

SIGLAS	DESCRIPCIÓN
1RM	1 Repetición Máxima.
CE	Carácter del Esfuerzo.
CK	Creatine Kinase.
CV	Coeficiente de Variación.
DR	Dorsal Remo.
FDM	Fuerza Dinámica Máxima.
F_r	Fuerza relativa máxima.
ICC	Coeficiente de Correlación Intraclase.
IMC	Índice de Masa Corporal.
IMC	Índice de Masa Corporal.
MLG	Masa Libre de Grasa.
nRM	Número de Repeticiones Máximas.
PB	Press Banca.
PH	Press Hombro.
PMP	Potencia Media Propulsiva.
RDF	Fuerza explosiva (Rate of Force Development).
REP	Repeticiones.
ST	Sentadilla completa.
VM	Velocidad Media.
VMP	Velocidad Media Propulsiva.

1. INTRODUCCIÓN

La carga de entrenamiento está considerada como el conjunto de exigencias mecánicas, biológicas y psicológicas, inducidas por las actividades de entrenamiento y competición, que provocan un estado de desequilibrio en el organismo del atleta (González-Badillo & Ribas Serna, 2002). Los tres principales componentes que definen y condicionan esta carga de entrenamiento son el Volumen, la Intensidad y la Densidad. La manipulación de cualquiera de estas variables, incluso manteniendo estables las demás, puede producir unos efectos y adaptaciones muy diferentes sobre el desarrollo de las distintas capacidades físicas condicionales del atleta (Pallarés y Morán-Navarro, 2012)..

Por su parte, el Volumen es la medida cuantitativa de la Carga, y aunque puede expresarse de multitud de formas diferentes, para el entrenamiento de la fuerza muscular se suele utilizar la cantidad total de masa desplazada (kg o toneladas), el número de repeticiones realizadas por serie o sesión, o incluso el número series completadas por sesión o ciclo de entrenamiento. La Intensidad se entiende sin embargo como el aspecto cualitativo de la carga, es decir, el rendimiento requerido al atleta respecto a su capacidad máxima conocida o estimada, y está considerada por un gran número de autores como la principal variable que orienta y condiciona las adaptaciones al entrenamiento (Kraemer, Fleck & Deschenes, 1988; Gibala et al., 2006; Helgerud, et al., 2007). Finalmente, la Densidad representa la relación entre el tiempo de trabajo y el de recuperación ($\text{Densidad} = \text{Trabajo} / \text{Descanso}$), ya sea entre repeticiones, series, sesiones o unidades más amplias de entrenamiento. A mayor densidad, mayor carga/exigencia del estímulo propuesto y viceversa.

La intensidad del entrenamiento de fuerza puede prescribirse y monitorizarse mediante diferentes variables de referencia. Aunque históricamente y hasta la década de los 60 se ha venido prescribiendo la intensidad del ejercicio de fuerza mediante la masa en valor absoluto (p.e., 3 x 10 rep con 80 kg en Press Banca y Dorsal Remo), es a partir de este periodo cuando los responsables de la preparación física comienzan a entender la relevancia de individualizar la intensidad del esfuerzo para optimizar las adaptaciones y reducir el riesgo de sobreentrenamiento de sus atletas. Desde ese momento, entrenadores y científicos del deporte han venido empleando el método de número de repeticiones máximas (nRM) con una

determinada carga hasta el fallo muscular o el % de una repetición máxima (1RM) (i.e., el % respecto de la carga que únicamente se puede desplazar una vez sin ningún tipo de ayuda externa) como los sistemas más apropiados para prescribir la intensidad del desfuerzo.

Aunque estos sistemas mejoran notablemente la calidad en la prescripción del ejercicio y permiten orientar en gran medida las adaptaciones que induce el entrenamiento de fuerza, continúan presentando importantes desventajas como: i) la necesidad de completar un test 1RM o nRM regularmente en cada ejercicio para individualizar la intensidad, ii) realizar series de esfuerzo hasta el fallo muscular para poder constatar las adaptaciones y prescribir individualmente las cargas, o iii) la imposibilidad de ajustar inmediatamente la intensidad del esfuerzo en función de los procesos de recuperación o fatiga que estén aconteciendo en el deportista en cada momento.

Aunque ya se comenzó a experimentar en los años 90 (González-Badillo y Ribas-Serna, 2002; González-Badillo y Gorostiaga, 2002), recientemente se ha consolidado un nuevo paradigma del control de la intensidad durante el entrenamiento de fuerza basado en la monitorización de la velocidad de desplazamiento de las cargas. Este nuevo sistema se fundamenta en la íntima relación que existe entre la velocidad a la que un individuo es capaz de desplazar una determinada carga y la intensidad relativa que le supone esa resistencia (Ilustración 1). Estudios recientes han descrito ecuaciones de predicción del %1RM en función de la velocidad media a la que se desplaza la barra en la 1^o ó 2^o repetición de una serie de entrenamiento en los principales ejercicios isoinerciales (PB, DR, ST) (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Pallares et al., 2014). En base a estos resultados, los técnicos que monitorizan la velocidad de desplazamiento de la barra pueden conocer la intensidad (%1RM) que le supone una determinada carga a su atleta en cada momento, permitiéndole individualizar y ajustar la intensidad en cada sesión dependiendo de los cambios en el rendimiento del atleta por procesos de fatiga o de supercompensación.

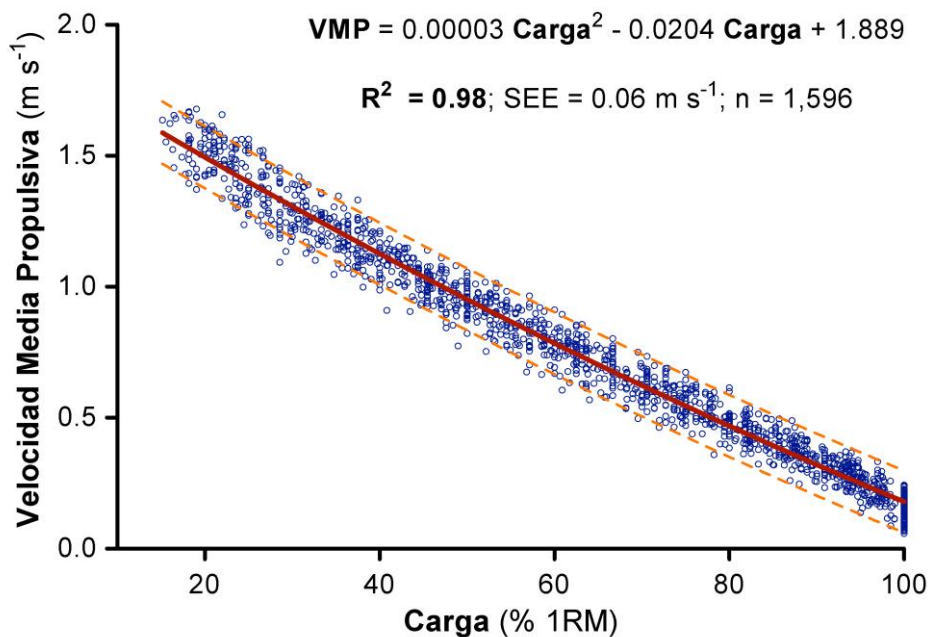


Ilustración 1: Relación entre la carga relativa (% 1RM) y la velocidad media propulsiva (VMP). La línea continua muestra la curva de ajuste cuadrático, y las líneas discontinuas indican los límites dentro de los cuales estaría el 95% de las predicciones. Tomado de Sánchez-Medina (2010).

El entrenamiento de fuerza evitando alcanzar el fallo muscular en cada serie de repeticiones (i.e., evitar completar todas las repeticiones posibles) se ha mostrado recientemente como la estrategia más adecuada de entrenamiento para conseguir adaptaciones neuromusculares y morfológicas positivas (Izquierdo-Gabarren et al., 2010; Folland et al., 2002; Sanborn et al., 2000), e incluso para optimizar el rendimiento específico del deportista (Izquierdo-Gabarren et al., 2010; García-Pallarés et al., 2009; García-Pallarés et al., 2010), al tiempo que se reducen notablemente los tiempos de recuperación entre sesiones de entrenamiento (Pallarés et al., 2012).

Sánchez-Medina y González-Badillo (2011) describieron recientemente la respuesta metabólica y mecánica de 15 caracteres del esfuerzo (número de repeticiones realizadas sobre las realizables) diferentes de entrenamiento de fuerza: 3x 6[12], 3x 8[12], 3x 10[12], 3x 12[12], 3x 6[10], 3x 8[10], 3x 10[10], 3x 4[8], 3x6[8], 3x 8[8], 3x 3[6], 3x 4[6], 3x 6[6], 3x2[4], 3x4[4]), en los ejercicios de Sentadilla (ST) y Press Banca (PB). Los resultados de este estudio indican que la fatiga aguda mecánica y fisiológica del entrenamiento hasta el fallo es muy importante, y que

simplemente evitando realizar las 2-4 últimas repeticiones de cada serie se reduce notablemente esta fatiga (Ilustración 2).

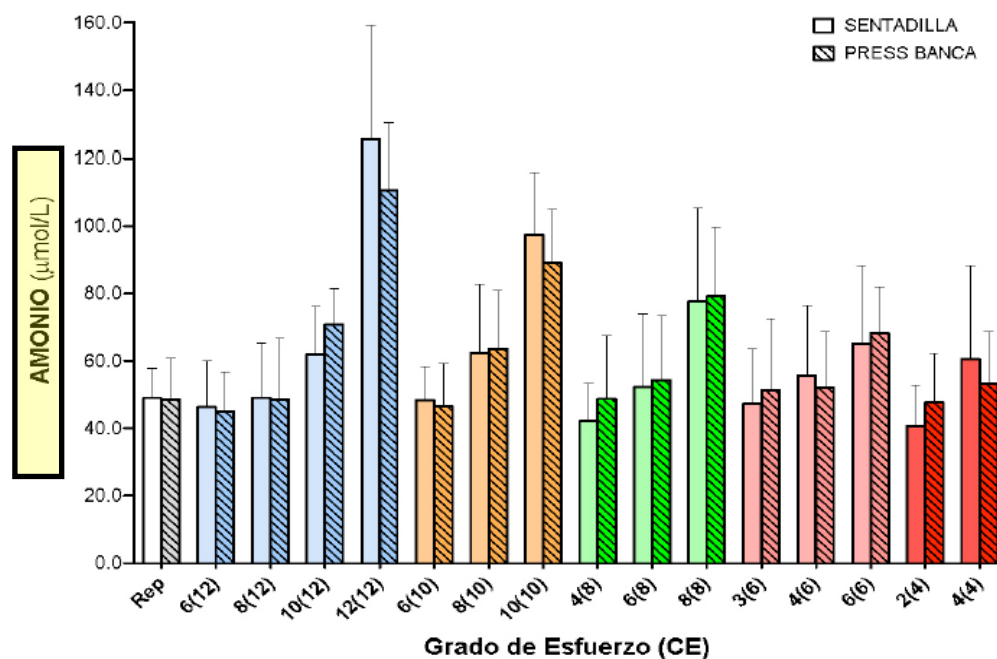


Ilustración 2: Concentración de amonio en sangre capilar. Tomado de Sánchez-Medina (2010).

Recientemente Pallarés et al., (2012) han registrado los tiempos de recuperación de la fatiga mecánica y bioquímica que conllevan i) el entrenamiento hasta el fallo (3 x 10(10)), ii) realizar la mitad de repeticiones por serie (3 x 5(10)), iii) e incluso realizar la mitad de repeticiones por serie pero el mismo N^o de repeticiones totales por sesión (6 x 5(10)). Los resultados indican que realizar la mitad de repeticiones por serie, aun cuando se iguala el volumen total por sesión, acelera los procesos de recuperación entre 36 y 48 horas respecto del entrenamiento hasta el fallo. Los resultados de ambos estudios parecen indicar que la aceleración de los procesos de recuperación cuando no se alcanza la repetición de fallo muscular es el mecanismo que subyace en las mejoras del rendimiento específico descritas en deportistas de alto nivel que requieren del entrenamiento combinado o concurrente de fuerza y resistencia (Izquierdo-Gabarren et al., 2010; García-Pallarés et al., 2009; García-Pallarés et al., 2010).

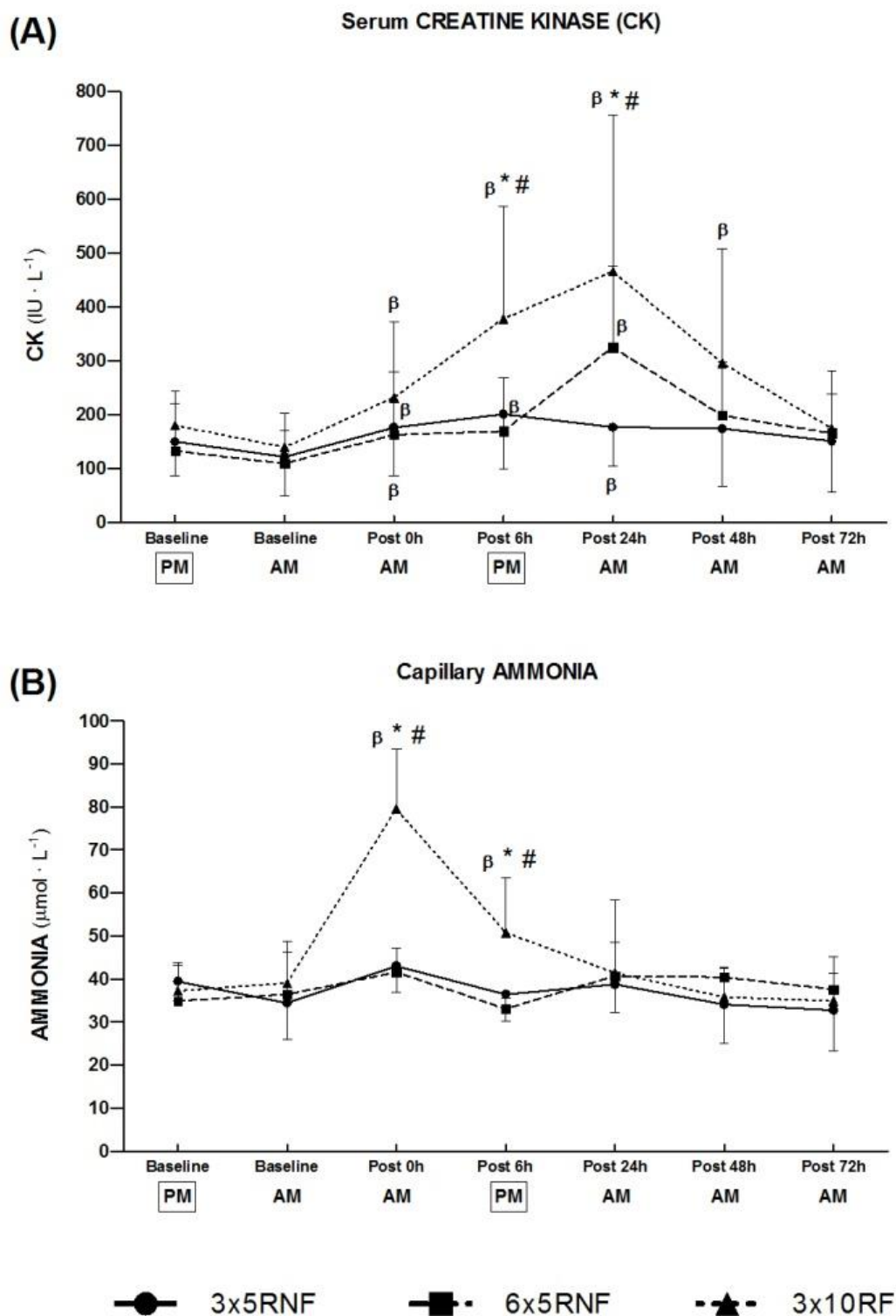


Ilustración 3: Evolución de la recuperación de los marcadores bioquímicos del estado de fatiga en función del carácter del esfuerzo realizado. Tomado de Pallarés et al. (2012).

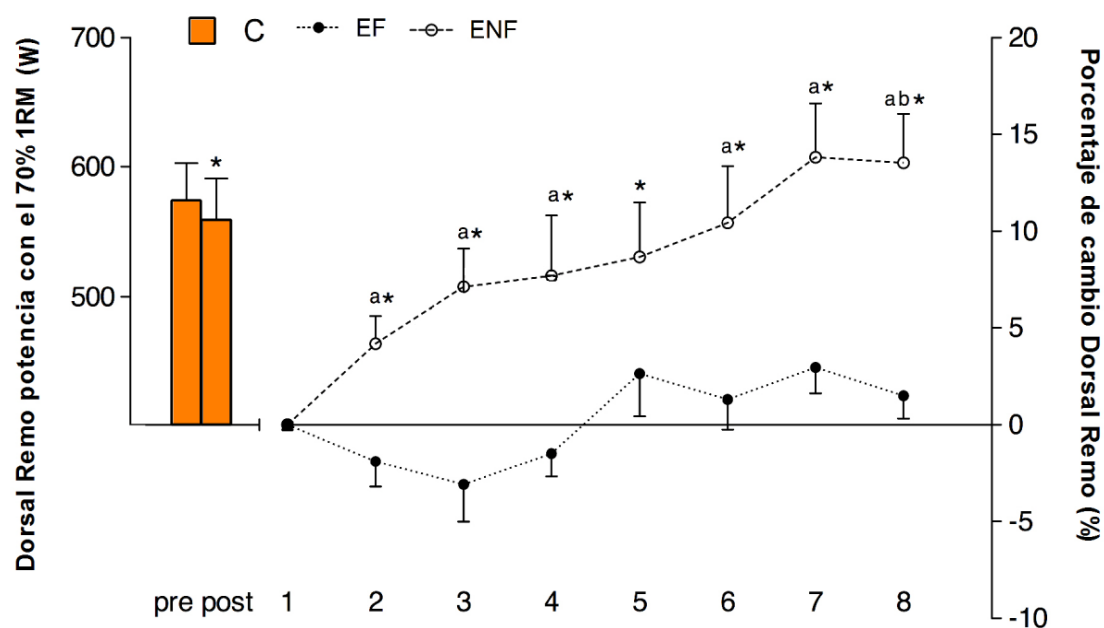


Ilustración 4: Evolución del rendimiento neuromuscular en remeros de élite en los grupos de Entrenamiento hasta el fallo (EF), entrenamiento con carácter del esfuerzo submáximo (ENF) y grupo control que no entrenaba la fuerza (C). Tomado de Izquierdo-Gabarren et al. (2010).

Aunque la velocidad de desplazamiento de las cargas se ha demostrado como la medida más válida, reproducible y sensible de la intensidad que supone una determinada carga para el atleta (Pallarés, et al., 2014; González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010), hasta la fecha ningún estudio ha analizado la validez de esta medida para predecir los diferentes caracteres del esfuerzo que investigaciones recientes aconsejan por encima del entrenamiento hasta el fallo muscular. En el mejor de los casos, actualmente el deportista emplea la percepción subjetiva del esfuerzo para detener la serie cuando percibe que le quedan por realizar las repeticiones por serie que le han prescrito en el carácter del esfuerzo. Aunque ya se puede considerar un avance notable respecto al entrenamiento hasta el fallo que se ha venido empleando durante décadas, conocer la velocidad concreta a la que debe detenerse la serie de repeticiones para los caracteres del esfuerzo más habituales del entrenamiento de fuerza permitiría a los técnicos detener la serie de repeticiones en el momento exacto que garantice la consecución de los objetivos fisiológicos y neuromusculares marcados, así como una pronta recuperación de la fatiga.

Para garantizar la utilidad de esta medida en la prescripción y control del entrenamiento de fuerza resulta igualmente necesario estudiar la reproducibilidad inter e intra-sujeto de esta medida. Concretamente, resulta necesario conocer si, al

igual que una determinada velocidad en valor absoluto va a definir el %1RM que supone esa carga para cualquier individuo (Pallarés, et al., 2014; González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010), detener una serie de repeticiones de fuerza a una determinada velocidad en valor absoluto va a representar el mismo carácter del esfuerzo para cualquier individuo, es decir, si por ejemplo al alcanzar una velocidad 0,4 m/s durante una serie de repeticiones podemos estar seguros que únicamente podría completar entre 3 y 4 repeticiones más y por ello debemos detener el esfuerzo, independientemente del ejercicio o la intensidad (%1rM) al que se estuviese enfrentando.

Por otro lado, numerosos estudios con protocolos poco rigurosos han determinado el máximo número de repeticiones (hasta el fallo o carácter del esfuerzo máximo) que se pueden hacer con cada %1RM en varios ejercicios isoinerciales, estableciendo a su vez diferentes ecuaciones de predicción del 1RM en función del máximo N^o de repeticiones realizadas con una determinada carga (kg) (Flanagan et al., 2014; Caruso et al., 2012; Brechue et al., 2009). Los resultados de algunas publicaciones recientes sugieren que la validez, y en especial la reproducibilidad, de esta medida son muy limitadas (Pallarés et al., 2014).

2. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Al igual que ocurre con la valoración de la resistencia cardiorrespiratoria en el contexto de la actividad física para la salud o el rendimiento deportivo, la valoración periódica de la fuerza muscular nos va a permitir conocer el grado de efectividad que está teniendo el programa de entrenamiento, e individualizar la carga de entrenamiento de las sesiones de entrenamiento venideras, especialmente la intensidad, hasta que se realice una nueva batería de test.

Aunque el volumen de entrenamiento de fuerza (repeticiones y series realizadas) va a distinguir principalmente la cantidad de adaptaciones que produce el estímulo de entrenamiento, es la intensidad del esfuerzo (i.e., %1RM, carácter del esfuerzo y la velocidad de ejecución) la variable que en mayor medida va a orientar las adaptaciones neuromusculares y/o morfológicas del individuo en uno u otro sentido.

Históricamente, para poder evaluar la fuerza muscular de un participante y prescribir posteriormente la intensidad de entrenamiento de forma individualizada era necesario medir un valor de rendimiento máximo o fuerza dinámica máxima (i.e., Test 1RM), o al menos una estimación de éste (i.e., Test nRM). El test de una repetición máxima o 1RM consiste en que el participante desplace la máxima carga (kg) posible en las fases excéntrica y concéntrica de un ejercicio concreto, en su máximo rango de movimiento y sin ningún tipo de ayuda externa. Por ello, una vez que el participante ha realizado un número reducido de repeticiones ante cargas submáximas a modo de calentamiento, éste tiene que forzosamente realizar uno o varios intentos ante cargas iguales o muy próximas al 100% de su fuerza dinámica máxima (1RM). Aunque podemos tomar esta valoración como el "*Gold Standard*" o patrón de oro para conocer la fuerza dinámica máxima de un individuo, la reproducibilidad de este test no se puede considerar precisamente perfecta (CV intrasujeto = 2.2 - 10.1 %, dependiendo del nivel de rendimiento de los atletas y el ejercicio analizado, Faigenbaum et al., 2012; Levinger et al., 2009). Otras desventajas inherentes a esta valoración son: a) riesgo real de producir una lesión en el participante por la ejecución de este protocolo, especialmente ante ejercicios poliarticulares de gran cadena cinética como la cargada, la arrancada o la sentadilla completa; b) la necesidad de detener el proceso de entrenamiento, o al menos

realizar importantes ajustes, 24 h ó 48 h antes de la realización del test para garantizar una adecuada recuperación y tener confianza en los resultados.

Por su parte, el test de máximo número de repeticiones o test nRM permite estimar el valor del 1RM (kg) de cualquier ejercicio sin que el individuo llegue a desplazar realmente su carga máxima. Para ello basta con registrar el número de repeticiones que el participante puede completar ante una carga (kg) submáxima conocida. Concretamente, el test consiste en solicitar al participante que realice, en su rango completo de movimiento y sin ayuda externa, el máximo número de repeticiones posibles hasta alcanzar el fallo muscular ante una resistencia (kg) que pueda desplazar entre 4-15 veces, dependiendo de la ecuación de predicción previamente validada que se desea aplicar. Diversos estudios han evidenciado que estas ecuaciones mejoran sus valores de validez cuanto menor es el número de repeticiones realizadas, es decir, cuanto mayor es la intensidad de la carga desplazada (Wood, 2002).

No obstante, aunque siempre empleemos la misma ecuación, los índices de validez y reproducibilidad de estos algoritmos de estimación del 1RM están muy condicionados por el protocolo de medida utilizado, especialmente por aquellas variables contaminantes que puede incrementar el error de la medida. Algunas de estas variables que se deben controlar y estandarizar son:

- Calentamiento: modo de ejercicio, volumen e intensidad.
- Ejercicio de fuerza en el que se realiza la medición (Press Banca, Dorsal Remo, Sentadilla, Cargada, Curl de bíceps, etc.).
- Participación del ciclo estiramiento-acortamiento o "rebote" al no separar convenientemente la fase excéntrica y concéntrica del movimiento.
- Capacidad de sufrimiento y experiencia del participante ante un test de repeticiones hasta el fallo muscular.

Además de estos valores de reproducibilidad y validez limitados, otra desventaja fundamental del test nRM es la extrema fatiga mecánica y metabólica que genera la realización de repeticiones hasta el fallo muscular (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011), y el consiguiente desajuste en la programación del

entrenamiento de las sesiones inmediatamente posteriores a la realización del test (6-48h) (Pallarés et al., 2015).

Sin embargo, las nuevas tecnologías y los recientes avances en investigación nos permiten valorar no solo la fuerza máxima, sino también la submáxima, del usuario de forma válida, reproducible, práctica, económica y segura, mediante la monitorización de la velocidad de desplazamiento de la carga (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Pallarés et al., 2014). Dada la estrecha relación que existe entre la carga (% 1RM) y la velocidad a la que se desplaza la barra ($ICC > 0.955$), siempre que el individuo desplace la barra a la máxima velocidad voluntaria, la velocidad media (VM) de la fase concéntrica alcanzada ante cualquier resistencia (kg) permite estimar con un error mínimo ($< 2\%$) la intensidad (% 1RM) que supone esa resistencia para el individuo en cada momento (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Pallarés et al., 2014).

Esta capacidad predictiva es especialmente efectiva si se monitoriza la velocidad media de la fase propulsiva (VMP), es decir, la velocidad media alcanzada únicamente en aquella porción de la fase concéntrica en el que el participante no está frenando la barra hacia el final del movimiento para evitar que la carga se escape de las manos (Ilustración 3). Estudiar la VMP en puesto de la VM nos permitirá además evitar infraestimar el verdadero potencial neuromuscular de un atleta, especialmente cuando éste desplace cargas medias o bajas a las que se le imprime gran velocidad y por lo tanto tiene una parte importante de frenado hacia el final de la fase concéntrica.

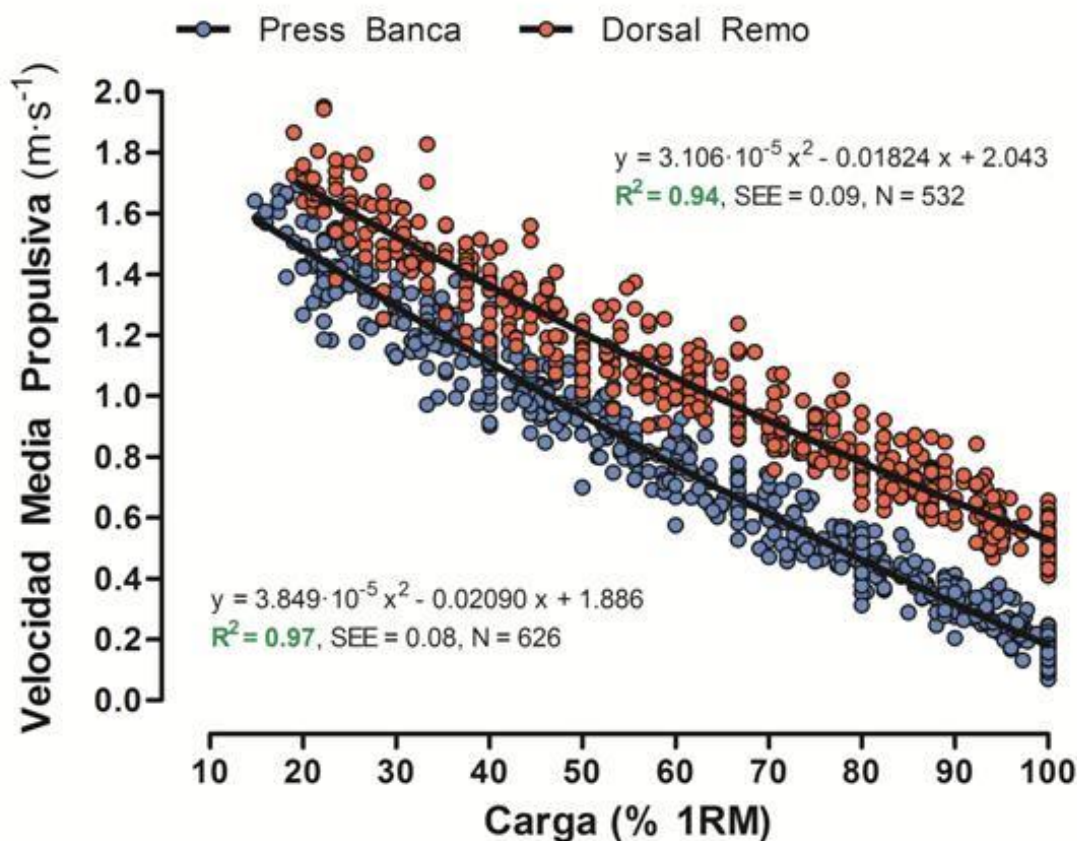


Ilustración 5: Ejemplo de la relación Carga (% 1RM) y Velocidad Media Propulsiva en los ejercicios de Press Banca (rojo) y Dorsal Remo (azul). Tomado de Sánchez-Medina et al. (2013).

Para facilitar la labor de los profesionales, recientes investigaciones nos proporcionan ecuaciones de predicción del % 1RM en función de la velocidad alcanzada por la barra ante una determinada carga (kg) para los principales ejercicios isoinerciales (PB, DR, ST, PH, Cargada). Estos algoritmos de predicción nos permiten estimar el % 1RM que supone una determinada carga y el valor de fuerza dinámica máxima (1RM kg) simplemente monitorizando la velocidad de la primera repetición de una serie de entrenamiento (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014; Pallarés et al., 2014). La valoración de la fuerza mediante el registro de la velocidad de desplazamiento de la carga evita la mayoría de los inconvenientes o desventajas que presentan los test 1RM y nRM:

- No exige al individuo desplazar cargas próximas a la máxima e incluso la máxima (Test 1RM), con el consiguiente descenso del riesgo de lesión.
- No requiere detener el proceso de entrenamiento antes de los test para garantizar una absoluta recuperación (1-2 sesiones de entrenamiento precedentes con carga reducida o inexistente).

- Minimiza la fatiga mecánica y metabólica asociada al protocolo del test 1RM, o al esfuerzo extenuante que requiere la serie de repeticiones hasta el fallo muscular del test nRM, con la consiguiente ventaja para la programación del entrenamiento inmediatamente posterior a la realización del test (6-48h).
- Estos protocolos de valoración presentan valores notablemente mejores de reproducibilidad en la medida (CV ~ 2.9 %).

Además de estimar de forma válida y fiable la fuerza máxima absoluta en cada ejercicio y eliminar la mayoría de las desventajas de los test 1RM y nRM, los protocolos de evaluación de la fuerza muscular mediante las curvas de Carga-Velocidad permiten adicionalmente (Badillo Libro):

- Conocer en cada sesión de entrenamiento el estado actual de rendimiento del participante. Así por ejemplo, aumentos en la VMP ante una carga fija (e.g., mejora de la VMP de 0.85 a 0.90 m/s con la carga 60 kg) será un síntoma inequívoco de que se han producido adaptaciones positivas, y por lo tanto es necesario aumentar la carga en la barra (p.e., + 5.0 kg) para alcanzar la intensidad deseada en dicha sesión. Por el contrario, un descenso de la VMP (e.g., VMP de 0.85 a 0.80 m/s con la carga 60 kg) sería un claro síntoma de desentrenamiento y/o fatiga aguda o crónica, por lo que será necesario reajustar la carga de la barra (kg) a la baja (p.e., - 5.0 kg) para completar el entrenamiento, reducir el volumen total de la sesión, o incluso suspender esa sesión de entrenamiento.
- Evaluar la Fuerza Útil, es decir, el valor de fuerza que aplica el participante ante una resistencia similar a la que se enfrenta en una acción propia de su competición o de la vida diaria (e.g., una zancada, una brazada, una pedalada, subir un escalón o levantarse de una silla). La fuerza útil suele ocurrir ante intensidades bajas o medias (entre 20%-40% de la fuerza dinámica máxima).
- Medir la evolución de la Fuerza Explosiva o RFD (rate of force development), es decir, la pendiente de la curva fuerza – tiempo ante una misma resistencia (% 1RM), en especial ante cargas próximas a la fuerza útil.
- Evaluar la progresión del Déficit de Fuerza, es decir, la diferencia de aplicación de fuerza (N) que existe entre la fuerza aplicada ante una carga submáxima (e.g., 75 % 1RM) y su propia FDM (100% 1RM) en el mismo ejercicio.

- Estudiar la Curva Carga-Potencia en cada ejercicio, pudiendo localizar entre otras variables la carga (% 1RM) que maximiza la potencia mecánica (W) y las adaptaciones que se producen en esta variable con el proceso de entrenamiento.

3. OBJETIVOS

Una vez realizada la revisión bibliográfica, conocido el marco teórico y definido el problema de estudio, nos planteamos los siguientes objetivos:

- Determinar la reproducibilidad biológica inter e intra sujeto del número de repeticiones hasta el fallo que se pueden realizar con las intensidades más habituales del entrenamiento de fuerza de los ejercicios isoinerciales fundamentales.
- Determinar la validez y la reproducibilidad biológica inter e intra sujeto de la pérdida de velocidad de desplazamiento de la carga durante una serie de repeticiones como indicador del carácter del esfuerzo en las intensidades más habituales del entrenamiento de fuerza de los ejercicios isoinerciales fundamentales.

4. HIPÓTESIS

En base a estos objetivos, las hipótesis que nos planteamos antes de la realización de este estudio son:

1. Existe una alta reproducibilidad intra-sujeto respecto al número de repeticiones hasta el fallo muscular que se puede completar con cada intensidad y ejercicio de entrenamiento de fuerza, aunque la variabilidad de la medida es sustancialmente mayor inter-sujeto.

2. La pérdida de velocidad de desplazamiento de la carga durante una serie de repeticiones presenta elevados índices de validez y reproducibilidad inter e intra-sujeto para determinar el grado o carácter de esfuerzo en las intensidades más habituales del entrenamiento de fuerza de los ejercicios isoinerciales fundamentales.

5. METODOLOGÍA

5.1. Tipo de investigación

La metodología de este Trabajo Fin de Máster queda determinada por el tipo de investigación que pretendamos hacer y, más concretamente, por los objetivos buscados, la naturaleza de las variables y los sujetos que conformaron la muestra. Dadas las características de los datos y las variables dependientes nuestro estudio se puede considerar cuantitativo, no experimental y descriptivo. El muestreo ha sido de tipo accidental, habiéndose formado los grupos de estudios de forma randomizada y contrabalanceada. 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 con los diferentes procesos de entrenamiento y competición.

5.2. Muestra

La muestra está compuesta por un total de 15 varones jóvenes con experiencia en el entrenamiento de fuerza, todos ellos voluntarios a participar en este estudio (Tabla 1). Para poder acceder a participar en este estudio debían cumplir los siguientes requisitos: 1) poseer un valor de 1RM en el ejercicio de PB relativo a su masa corporal superior a 1.0; 2) estar familiarizado con las técnicas de ejecución de los ejercicios de fuerza sometidos a estudio (press banca, sentadilla completa, remo tumbado y press hombro) y estar realizando un mínimo de dos sesiones de entrenamiento de fuerza semanales durante el último año; 3) no padecer ninguna enfermedad o limitación física que pueda afectar al estudio; 4) no realizar otro tipo de entrenamiento de fuerza ni de ejercicio físico intenso las 48 horas previas a la toma de datos.

Tabla 1. Descripción de las características de la muestra.

Media ± DE	Edad (años)	Peso (kg)	Talla (m)	IMC (kg/m ²)	Masa Grasa (%)	MLG (kg)	Años de Experiencia
	23,3 ± 3,9	76,2 ± 9	1,76 ± 0,06	24,6 ± 1,6	15,8 ± 2,7	64,1 ± 7,5	8,5 ± 5,9

Media ± DE	1RM PB (kg)	1RM PB/MC	1RM ST (kg)	1RM ST/MC	1RM DR (kg)	1RM DR/MC	1RM PH (kg)	1RM PH/MC
	96,3 ± 17,9	1,26 ± 0,15	89,8 ± 8,3	1,19 ± 0,13	85,5 ± 11,2	1,12 ± 0,1	70,3 ± 10,3	0,92 ± 0,10

El estudio se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki, fue aprobado por la comisión de Bioética de la Universidad de Murcia (Anexo 1) y después de haber sido informados de la finalidad y los procedimientos experimentales (Anexo 2), los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito (Anexo 3).

5.3. Variables objeto de estudio

Las principales variables dependientes analizadas en las intensidades más habituales del entrenamiento de fuerza (65% - 95% 1RM) y en los ejercicios isoinerciales fundamentales (PB, ST, DR y PH) fueron:

- Número de repeticiones hasta el fallo muscular
- Velocidad media propulsiva (VMP) asociada a los principales caracteres del esfuerzo (-2 rep, -4 rep, -6 rep y -8 rep sin completar).

También se registraron las siguientes variables:

- Fuerza dinámica máxima (1RM), en Kg.
- Fuerza relativa máxima ($F_R = 1RM / \text{masa corporal}$).
- Velocidad media propulsiva (VMP) alcanzada con cada porcentaje de intensidad de 1 RM, en m/s.

5.4. Control de variables extrañas

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

- El transductor lineal de velocidad, único instrumento de medida en este estudio, registra directamente la velocidad de desplazamiento de las cargas, 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.

- La ejecución técnica y el cumplimiento de los protocolos: la muestra seleccionada contaba con un control técnico suficiente de todos los ejercicios a realizar en el estudio, además, se realizaron cinco sesiones de familiarización para

evitar el sesgo de aprendizaje progresivo, donde se recordaban las instrucciones técnicas de ejecución. Todas las sesiones se han llevado a cabo bajo la supervisión del equipo de investigación.

- La situación ambiental de cada sesión de trabajo: todas las variables dependientes del entorno que rodea al participante se han minimizado al realizar todas estas pruebas siempre a la misma hora del día en cada participante para controlar los efectos del ritmo circadiano (Mora-Rodríguez et al., 2012 y 2015; Atkinson, Todd, Reilly, & Waterhouse, 2005), así como bajo similares condiciones ambientales (21–24°C y 45–55% humedad relativa). Además debía existir ausencia de actividad física en las 48 horas previas y con un periodo de descanso de al menos 8 horas la noche anterior.

5.5. Instrumental de evaluación

5.5.1. Máquina multipower

Para la realización del estudio se utilizó una máquina multipower a discos (Peroga fitness Line, Peroga S.L., Murcia) de 2,20 m de alto y 1,75 m de ancho, con rodamientos de alta calidad para minimizar la fricción de la barra sobre las guías (Ilustración 6). Este instrumento limita el movimiento de la carga en el plano sagital, por lo que se obtienen una medida más reproducible (Pallarés et al., 2014) y más segura para la integridad del deportista.

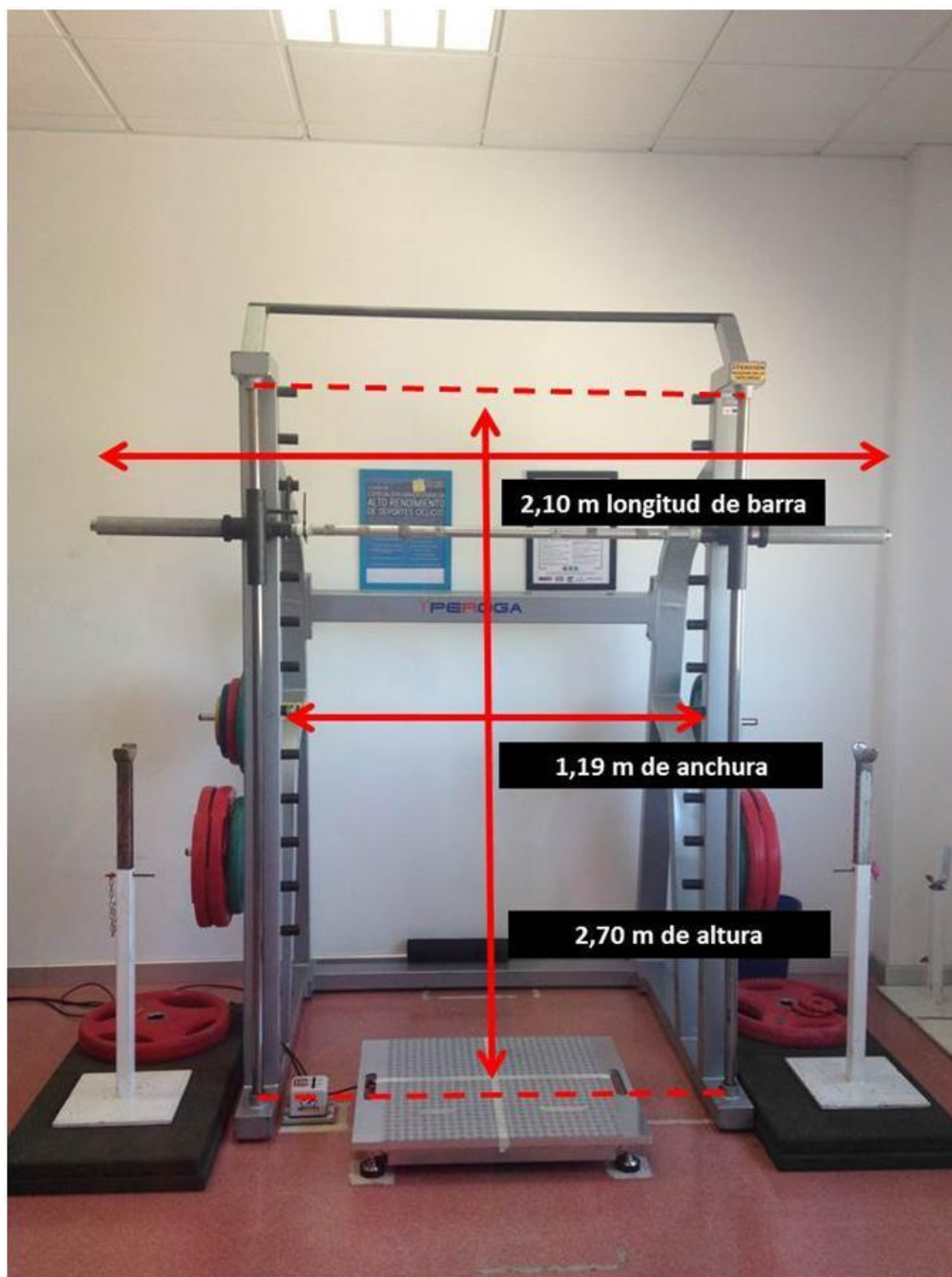


Ilustración 6: Multipower o máquina Smith.

5.5.2. Análisis de la composición corporal

Para medir la altura y el peso se utilizó una báscula con tallímetro (Seca 202, Seca Ltd., Hamburg, Alemania) con precisión de 1 mm y 0,01 Kg. Para determinar la

composición corporal se utilizó la medición de 4 pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, suprailíaco, abdominal) con un plicómetro Holtain® (Holtain Ltd., Crosswell, Reino Unido), con una precisión de 0,2 mm y una presión constante de 10 g/mm². Se utilizó la ecuación de Faulkner (1968) para la determinación del porcentaje graso en deportistas. Se siguió en todo momento el protocolo establecido por la International Society for the Advancement of Kinanthropometry (ISAK).

5.5.3. Transductor lineal de velocidad

Se utilizó un transductor lineal de velocidad (T-Force Dynamic Measurement System, Ergotech, Murcia, España) (Ilustración 7) para las mediciones de velocidad de desplazamiento de las cargas. Este sistema posee un tacogenerador de alta precisión que mide la velocidad de desplazamiento vertical a la que se extiende o retrae el cable. La frecuencia de muestreo es de un dato por milisegundo, 1000Hz. Tiene un error absoluto de $\pm 0,42$ mm para un desplazamiento de 60 cm y un error relativo de la medida de velocidad de $\pm 0,14\%$. ICC=1,00; CV=0,57% (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011).

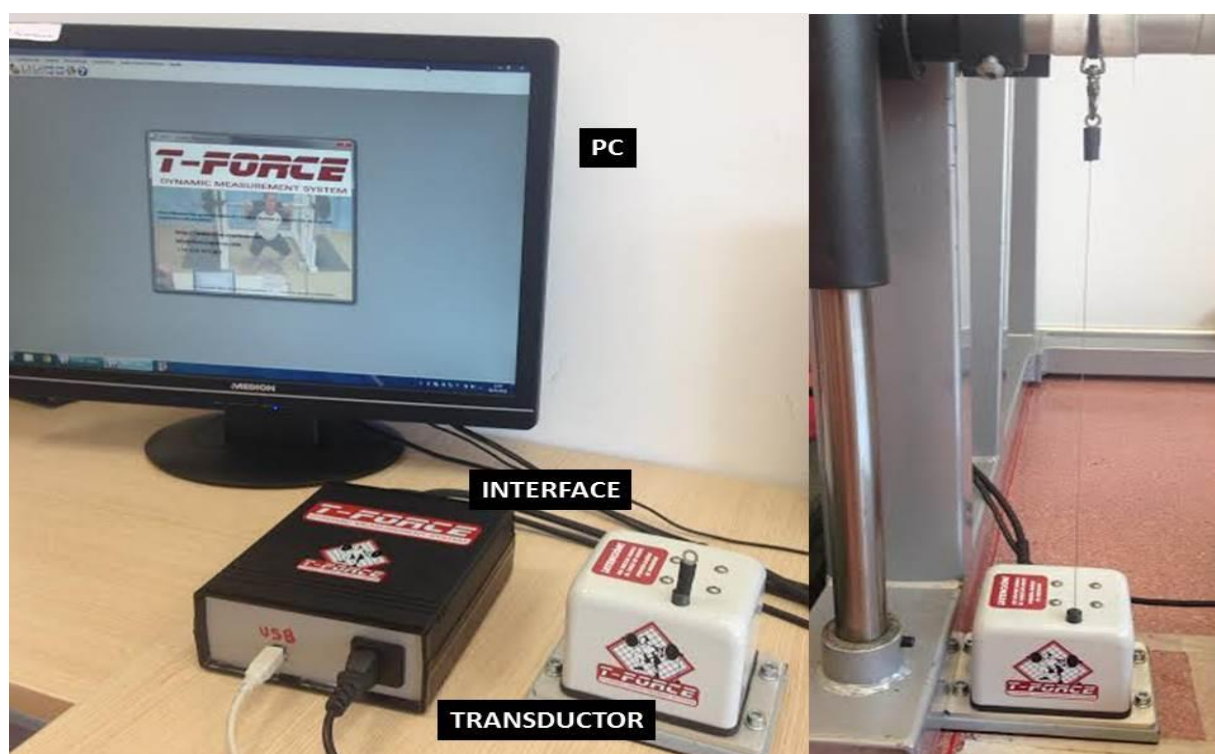


Ilustración 7: Dispositivo T-FORCE System para la evaluación y el entrenamiento de la fuerza.

5.6. Fase experimental

Los sujetos se dividieron de forma contrabalanceada según su valor de 1RM/PB en 4 grupos que posteriormente se randomizaron según el orden de los ejercicios (PB, ST, DR y PH) e intensidades (65%, 75%, 85% y 95% 1RM) (Ilustración 8).

Sujeto 1, 2, 3, 4			
1º SESIÓN	2º SESIÓN	3º SESIÓN	4º SESIÓN
65% 1RM PB	65% 1RM PH	65% 1RM ST	65% 1RM DR
75% 1RM DR	75% 1RM PB	75% 1RM PH	75% 1RM ST
85% 1RM ST	85% 1RM DR	85% 1RM PB	85% 1RM PH
95% 1RM PH	95% 1RM ST	95% 1RM DR	95% 1RM PB

Sujeto 5, 6, 7, 8			
1º SESIÓN	2º SESIÓN	3º SESIÓN	4º SESIÓN
75% 1RM PB	75% 1RM PH	75% 1RM ST	75% 1RM DR
85% 1RM DR	85% 1RM PB	85% 1RM PH	85% 1RM ST
95% 1RM ST	95% 1RM DR	95% 1RM PB	95% 1RM PH
65% 1RM PH	65% 1RM ST	65% 1RM DR	65% 1RM PB

Sujeto 9, 10, 11, 12			
1º SESIÓN	2º SESIÓN	3º SESIÓN	4º SESIÓN
85% 1RM PB	85% 1RM PH	85% 1RM ST	85% 1RM DR
95% 1RM DR	95% 1RM PB	95% 1RM PH	95% 1RM ST
65% 1RM ST	65% 1RM DR	65% 1RM PB	65% 1RM PH
75% 1RM PH	75% 1RM ST	75% 1RM DR	75% 1RM PB

Sujeto 13, 14, 15			
1º SESIÓN	2º SESIÓN	3º SESIÓN	4º SESIÓN
95% 1RM PB	95% 1RM PH	95% 1RM ST	95% 1RM DR
65% 1RM DR	65% 1RM PB	65% 1RM PH	65% 1RM ST
75% 1RM ST	75% 1RM DR	75% 1RM PB	75% 1RM PH
85% 1RM PH	85% 1RM ST	85% 1RM DR	85% 1RM PB

Ilustración 8. Diseño del estudio.

Esta investigación estuvo compuesta por tres fases de estudio con duraciones, protocolos y objetivos bien diferenciados:

1º Familiarización: esta fase estuvo compuesta por 5 sesiones en las que los participantes se habituaron a los protocolos y técnicas que se iban a emplear durante el estudio. Se aprovecharon igualmente estas sesiones para tomar las medidas antropométricas, así como para establecer individualmente la altura de los soportes que determinaban el rango de movimiento en cada ejercicio y permitían anular el efecto del ciclo estiramiento-acortamiento diferenciando la fase excéntrica y concéntrica del movimiento (Pallarés et al., 2014).

2º Curvas de Carga-Velocidad: tras esta fase de familiarización, todos los participantes se sometieron a 4 sesiones separadas por 48 - 72 h en las que se determinó individualmente las curvas Carga-Velocidad mediante un test incremental con cargas hasta el 1RM en cada ejercicio (una sesión por ejercicio).

3º Fase Experimental: una vez establecidas las velocidades individuales asociadas a cada una de las intensidades (%1RM) y ejercicios sometidos a estudio, todos los sujetos fueron convocados a 4 sesiones separadas por 48-72 h en las que, siguiendo el diseño randomizado y contralanceado establecido (ilustración 8), llevaron a cabo las series de repeticiones hasta el fallo muscular ante las 4 intensidades (65%, 75%, 85% y 95% 1RM) y en los 4 ejercicios estudiados (PB, ST, DR y PH). Cada individuo realizó 4 series hasta el fallo muscular en cada sesión (p.e., 65% 1RM en PB, 75%1RM en ST, 85% 1RM en DR y 95% 1RM en PH), separadas por 30 min de recuperación en la que se facilitaba el acceso a los deportistas a comida y bebida *at libitum*. Una vez concluidas estas 4 sesiones de valoración, los participantes repitieron en el mismo orden cronológico una segunda vuelta del diseño experimental sobre todos los ejercicios e intensidades que permitiese analizar la reproducibilidad intra-sujeto de esta medida.

En total, cada participante se sometió a 17 sesiones de valoración en el laboratorio.

5.6.1. Protocolo curvas Carga-Velocidad

El calentamiento consistió en un periodo de 5 min de pedaleo en cicloergómetro a una intensidad baja-moderada, 5 min de estiramientos activos y

ejercicios de movilidad articular, seguido de una serie de 5 repeticiones ante una carga muy liviana (20 kg).

La carga inicial del test incremental se estableció en 20 kg (el peso de la barra de la Multipower), y se incrementó progresivamente de 10 kg en 10 kg hasta que la velocidad media propulsiva fue inferior a $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A continuación, la carga se ajustó con incrementos menores (desde 5 hasta 2,5 kg) hasta que se alcanzó el valor de 1 RM (carga más elevada que pudo desplazar cada participante en el rango completo de movimiento y sin ningún tipo de ayuda externa) con una precisión de 2,5 kg.

Los participantes ejecutaron 3 repeticiones ante las cargas bajas ($< 50\%$ 1RM), 2 ante las cargas medias ($50\text{-}75\%$ 1RM) y 1 ante las cargas altas ($> 75\%$ 1RM), tomándose para su posterior análisis el mejor valor de velocidad media propulsiva de cada serie. Se respetó en todo momento una recuperación entre series de 3 min.

En todas las ejecuciones, independientemente de la carga a desplazar y el ejercicio, se solicitó al participante que realizase la fase excéntrica del movimiento a una velocidad "controlada" ($0,45\text{-}0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) hasta alcanzar la posición individualizada de los soportes. En esta posición, el participante realiza una parada momentánea (1.0 - 1.5 s) para eliminar el efecto del ciclo estiramiento-acortamiento o "rebote", e inmediatamente después realiza la fase concéntrica del movimiento a la máxima velocidad voluntaria posible (Sánchez-Medina et al., 2010; Pallarés et al., 2014).

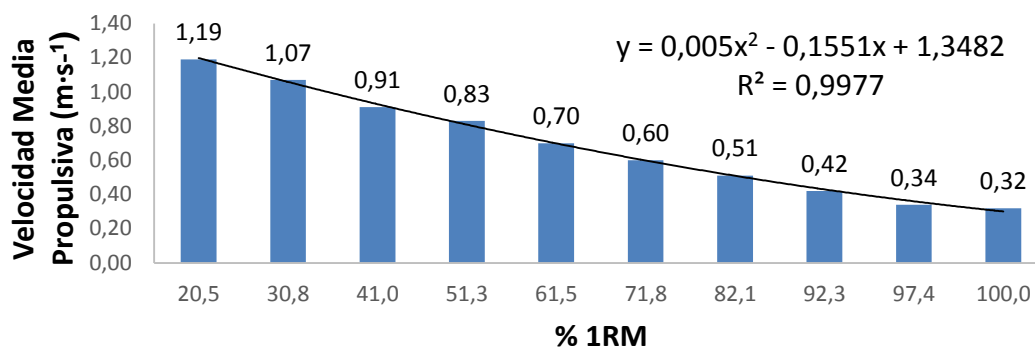


Ilustración 9: Ejemplo de una curva Carga-Velocidad correspondiente al ejercicio de Sentadilla.

5.6.2. Protocolo test de repeticiones hasta el fallo

El calentamiento consistió en un periodo de 5 min de pedaleo en cicloergómetro a una intensidad baja-moderada, 5 min de estiramientos activos y ejercicios de movilidad articular. A continuación, el participante realizó un calentamiento específico el propio ejercicio que iba a ser testado con cargas incrementales de 15 kg en 15 kg hasta alcanzar la carga individual (kg) con la que se obtenía la velocidad media propulsiva (VMP) asociada al %1RM asignado en cada momento según el diseño experimental. En caso de que la carga estimada (kg) no propiciase la VMP predicha para el %1RM que se debía testar ($\pm 0,03$ m/s), la carga se incrementó o se redujo según el caso en 2,5 - 5,0 kg hasta que se encontró la VMP objetivo. Una vez confirmada la carga (kg) asociada al %1RM que se debía testar, los participantes recuperaron durante 3 min y a continuación realizaron la serie de repeticiones hasta el fallo muscular. Se exigió durante toda la serie de repeticiones que la fase excéntrica se realizase a una velocidad “controlada” ($0.45-0.65$ m·s⁻¹), que la barra reposase sobre los soportes durante 1.0-1.5 s, para después realizar la fase concéntrica a la máxima velocidad voluntaria posible. Con este protocolo de ejecución, el participante realizó todas las repeticiones posibles hasta el fallo muscular, es decir, hasta que alcanzó una repetición en la que no pudo completar su rango completo de movimiento sin ayuda externa. Se registró la VMP alcanzada en cada repetición y el número total de repeticiones que cumplieran este criterio. Se animó verbalmente en todo momento al participante para que realizase las fases concéntricas a la máxima velocidad voluntaria y a que completara el máximo de número de repeticiones posibles.

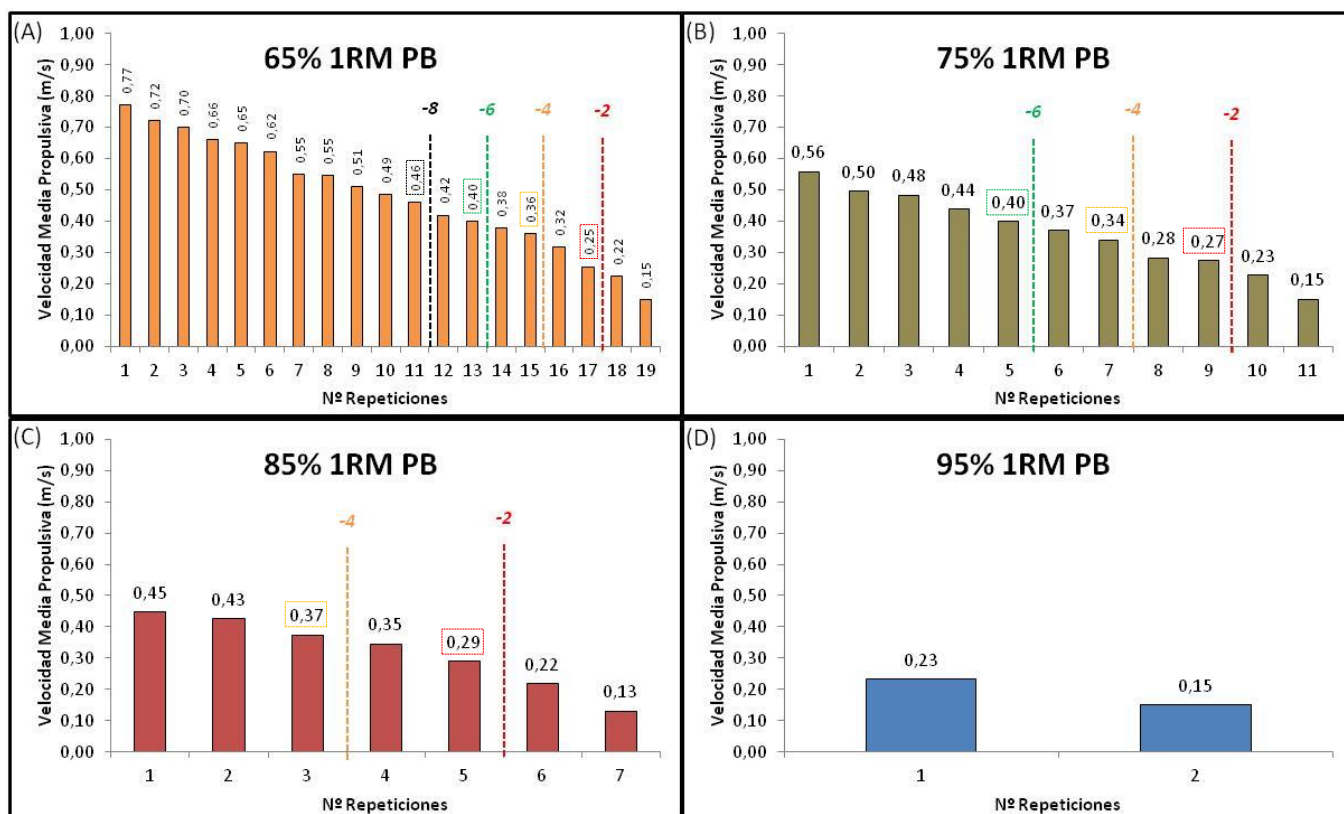


Ilustración 10: Ejemplo de test de repeticiones hasta el fallo muscular y carácter del esfuerzo (-2, -4, -6 y -8 repeticiones) en el ejercicio de Press Banca ante las 4 intensidades sometidas a estudio: 65% 1RM (A), 75% 1RM (B), 85% 1RM (C) y 95% 1RM (D).

Una vez completada la serie de repeticiones hasta el fallo se anotó para su posterior análisis:

a) El número de repeticiones que cada participante pudo completar hasta el fallo muscular, sin ningún tipo de ayuda externa y cumpliendo el rango PB completo de movimiento.

b) La velocidad media propulsiva (VMP) a la que se producían los diferentes caracteres del esfuerzo (-2, -4, -6 y -8 rep para el 65% 1RM; -2, -4, y -6 rep para el 75% 1RM; -2, y -4 rep para el 85% 1RM).

No se estableció ningún carácter del esfuerzo para la intensidad del 95% 1RM puesto que los resultados del estudio de repeticiones hasta el fallo evidenció que todos los participantes realizaban entre 1 y 3 repeticiones ante esta intensidad, independientemente del ejercicio, y por lo tanto no tiene aplicación práctica establecer una velocidad de parada en estos estímulos.

5.6.2.1. Ejercicio Press Banca

Para la correcta ejecución de este ejercicio los participantes se tumban supino en un banco plano, con los pies elevados por encima del suelo hasta una altura que permita mantener el raquis y sus curvaturas de acuerdo a su posición anatómica, con las manos agarrando la barra a una anchura ligeramente superior (5-7 cm) a la de los hombros y la proyección de la barra en la línea intermamaria. El ejercicio se inicia con la fase excéntrica descendiendo la barra a hasta que descansa en los soportes, donde permanecerá quieta (1.0-1,5 s), para realizar posteriormente la fase concéntrica invirtiendo el movimiento, subiendo la barra hacia arriba a la máxima velocidad posible hasta la completa extensión de los brazos. La Ilustración 10 muestra la posición inicial y final en la ejecución del Press Banca.

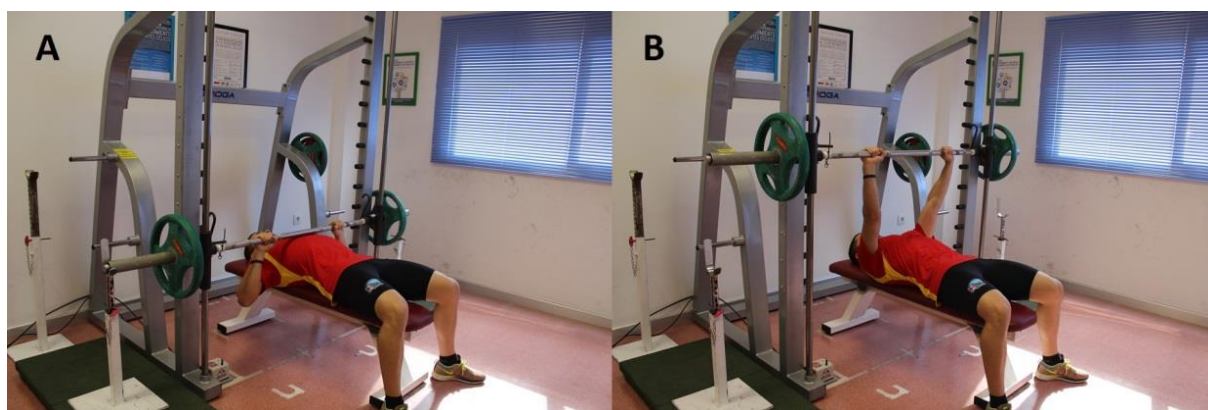


Ilustración 11. Técnica de ejecución del ejercicio PB posición de inicio (A) y final (B).

5.6.2.2. Ejercicio Sentadilla Completa

Para la correcta ejecución se colocan los participantes en el suelo el centro del pórtico de la multipower, la barra debe quedar por detrás de la cabeza apoyada sobre la parte superior de la espalda. Las piernas están extendidas, con una anchura igual o ligeramente superior a la de los hombros y las manos sujetan la barra. Los pies se disponen a la anchura de los hombros, con la proyección de la barra a la altura de los empeines. A partir de esta posición se realiza una flexión profunda de las piernas, hasta que: i) la musculatura isquiosural haga contacto con el tríceps sural, o en su defecto ii) la curvatura lumbar se rectifique ($< 0^{\circ}$). En esta posición se deja reposar la barra sobre los soportes de la máquina donde

permanecerá quieta (1.0-1,5 s), para realizar posteriormente la fase concéntrica invirtiendo el movimiento subiendo la barra hacia arriba a la máxima velocidad posible hasta la completa extensión de las piernas. Se controló estrictamente que el participante no saltase ni despegase la barra del cuello al final del movimiento. La Ilustración 11 muestra la posición inicial y final en la ejecución de la sentadilla completa.



Ilustración 12. Técnica de ejecución del ejercicio ST posición de inicio (A) y final (B).

5.6.2.3. Ejercicio Press Hombro

Para su realización, los participantes se colocan sentados en un banco inclinado 90° apoyando cabeza, espalda y glúteos, la barra se sujeta en pronación, con una separación entre agarres ligeramente superior a la anchura de los hombros. El ejercicio se inicia bajando la barra hasta que descansa en los soportes, donde permanecerá quieta (1.0-1,5 s), para realizar posteriormente la fase concéntrica invirtiendo el movimiento, subiendo la barra hacia arriba a la máxima velocidad posible hasta la completa extensión de los brazos. La Ilustración 12 muestra la posición inicial y final en la ejecución del Press Hombro.



Ilustración 13. Técnica de ejecución del ejercicio PH posición de inicio (A) y final (B).

5.6.2.4. Ejercicio Dorsal Remo

Para su realización, los participantes se colocan en decúbito prono con la frente, el pecho, el abdomen y las piernas apoyadas sobre el banco quedando los pies libres, sujetando la barra con una empuñadura prona. El ejercicio se inicia bajando la barra hasta que descansa en los soportes, donde permanecerá quieta (1.0-1,5 s), para realizar posteriormente la fase concéntrica invirtiendo el movimiento subiendo la barra hacia arriba a la máxima velocidad posible hasta flexión de los brazos. La Ilustración 13 muestra la posición inicial y final en la ejecución del Dorsal Remo.

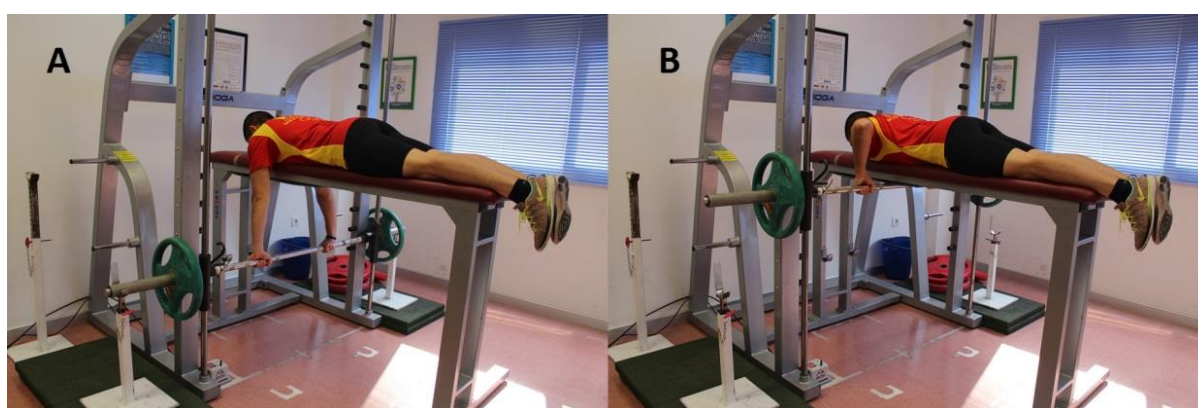


Ilustración 14. Técnica de ejecución del ejercicio DR posición de inicio (A) y final (B).

5.7. Tratamiento estadístico

Se emplearon métodos estadísticos estándar para el cálculo de las medias, desviaciones estándar (DE), coeficientes de variación (CV) e intervalos de confianza al 95%. Una vez confirmada la distribución normal de la muestra, se realizó un

estudio de las diferencias entre los resultados de repeticiones hasta el fallo completadas en los 4 ejercicios estudiados (PB, ST, DR y PH) para cada uno de las intensidades %1RM (65%, 75%, 86% y 95% 1RM) mediante una prueba ANOVA de dos vías de medidas repetidas. Una vez registrada una interacción F significativa, las diferencias entre medias se analizaron mediante el post-hoc de Bonferroni. Se estableció un nivel de significación del 5% ($P \leq 0,05$). Para este análisis estadístico se empleó el paquete informático IBM SPSS Statistics para Windows (versión 22.0, SPSS Inc., Chicago, Illinois, EEUU).

6. RESULTADOS

6.1. Número de repeticiones hasta el fallo muscular

Los resultados relacionados con el número de repeticiones hasta el fallo muscular asociado a cada % 1RM se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Descriptivo del número de repeticiones hasta el fallo según intensidades y ejercicios.

65 %1RM				
	PB	ST	DR	PH
Media ± DE	18,3 ± 2,3	18,0 ± 3,1	20,1 ± 2,1 ^{ab}	15,2 ± 1,8 ^{abc}
IC95%	1,2	1,6	1,1	0,9
CV Inter-sujeto	12,7%	17,2%	10,3%	11,8%
CV Intra-sujeto	4,9%	3,6%	2,9%	5,5%
75 %1RM				
	PB	ST	DR	PH
Media ± DE	11,9 ± 1,1	11,8 ± 1,2	13,1 ± 1,7 ^{ab}	10,6 ± 1,1 ^{abc}
IC95%	0,6	0,6	0,9	0,6
CV Inter-sujeto	9,6%	9,9%	13,4%	10,9%
CV Intra-sujeto	3,8%	8,9%	6,7%	4,7%
85 %1RM				
	PB	ST	DR	PH
Media ± DE	6,9 ± 0,93	6,5 ± 1,5	6,5 ± 1,2	6,9 ± 0,8
IC95%	0,5	0,7	0,6	0,4
CV Inter-sujeto	13,6%	22,6%	18,4%	11,8%
CV Intra-sujeto	8,6%	5,2%	9,4%	8,3%
95 %1RM				
	PB	ST	DR	PH
Media ± DE	2,6 ± 0,6	3,4 ± 1,2 ^a	2,5 ± 1,1	2,8 ± 0,4
IC95%	0,30	0,59	0,55	0,18
CV Inter-sujeto	23,1%	34,3%	43,2%	12,8%
CV Intra-sujeto	14,8%	8,0%	18,7%	15,9%

a, diferencias significativas respecto al ejercicio PB. b, diferencias significativas respecto al ejercicio ST. c, diferencias significativas respecto al ejercicio DR. ($p \leq 0.05$).

Los resultados indican que, incluso para un mismo %1RM existen diferencias notables en cuanto al número de repeticiones que se pueden completar hasta el fallo muscular según el ejercicio que se esté ejecutando, alcanzado estas diferencias la significación ($p < 0,05$) en intensidades medias y bajas (i.e., 65% y 75% 1RM), donde el ejercicio de DR parece permitir completar entre 2 y 5 repeticiones más que el resto de ejercicios.

En cuanto al estudio de la reproducibilidad de la medida, los resultados indican que el coeficiente de variación inter-sujeto oscila entre un 10,3% y 22,6% ante cargas bajas y medias (65% - 85% 1RM), aunque la variabilidad de esta medida aumenta ante cargas altas (hasta un 43%), independientemente del ejercicio que se analice.

Por su parte, el estudio de la reproducibilidad intra-sujeto nos muestra resultados de variabilidad notablemente inferiores, en un rango de CV comprendido entre 2,9 % -18,7 %, también independiente del ejercicio, aunque parece aumentar igualmente ante las cargas altas (i.e., 95% 1RM).

6.2. Velocidad de parada ante los diferentes caracteres del esfuerzo

Las Tablas 3-6 muestran la velocidad de parada asociada a los diferentes caracteres del esfuerzo (-2 rep, -4 rep, -6 rep y -8 rep) según la intensidad (%1RM) y el ejercicio (PB, ST, DR y PH). Los resultados indican las notables diferencias que existen en la velocidad de parada en valor absoluto asociada a cada carácter del esfuerzo en función del ejercicio, aunque estas diferencias desaparecen cuando se comparan las velocidades de parada para un mismo ejercicio. Concretamente, el análisis estadístico de las diferencias de medias para cada ejercicio y carácter del esfuerzo muestra únicamente diferencias significativas en algunos %1RM del ejercicio de Press Hombro ($p < 0,05$). En el resto de ejercicios e intensidades (%1RM), las velocidades de parada en valor absoluto asociadas a cada carácter del esfuerzo (-2 rep, -4 rep, -6 rep y -8 rep) no son diferentes.

Del análisis de reproducibilidad de las velocidades de parada asociadas a cada %1RM y ejercicio se desprende que el CV inter-sujeto (4,6 % - 14,9%) y especialmente el CV intra-sujeto (2,1 % - 9,4%) son notablemente bajos, en

comparación con los anteriormente detallados para el número de repeticiones hasta el fallo (sección 6.1).

Tabla 3. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Press Banca.

PRESS BANCA			
VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -2			
	65% 1RM	75% 1RM	85% 1RM
Media ± DE	0,28 ± 0,03	0,26 ± 0,02	0,26 ± 0,03
IC95%	0,02	0,01	0,01
CV Inter-sujeto	10,5%	8,8%	11,0%
CV Intra-sujeto	9,4%	9,1%	6,1%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -4			
	65% 1RM	75% 1RM	85% 1RM
Media ± DE	0,36 ± 0,03	0,34 ± 0,03	0,35 ± 0,04
IC95%	0,02	0,02	0,02
CV Inter-sujeto	9,0%	8,8%	10,8%
CV Intra-sujeto	8,4%	5,0%	3,6%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -6		
	65% 1RM	75% 1RM
Media ± DE	0,43 ± 0,04	0,40 ± 0,03
IC95%	0,02	0,01
CV Inter-sujeto	10,2%	6,8%
CV Intra-sujeto	4,8%	4,8%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -8	
	65% 1RM
Media ± DE	0,48 ± 0,05
IC95%	0,02
CV Inter-sujeto	10,3%
CV Intra-sujeto	4,2%

Tabla 4. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Sentadilla Completa.

SENTADILLA COMPLETA			
VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -2			
	65% 1RM	75% 1RM	85% 1RM
Media ± DE	0,41 ± 0,03	0,39 ± 0,04	0,39 ± 0,03
IC95%	0,02	0,02	0,01
CV Inter-sujeto	8,5%	9,9%	7,3%
CV Intra-sujeto	3,4%	6,2%	7,2%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -4			
	65% 1RM	75% 1RM	85% 1RM
Media ± DE	0,46 ± 0,05	0,44 ± 0,02	0,46 ± 0,02
IC95%	0,03	0,01	0,01
CV Inter-sujeto	11,6%	4,6%	4,9%
CV Intra-sujeto	5,7%	5,7%	7,9%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -6		
	65% 1RM	75% 1RM
Media ± DE	0,49 ± 0,04	0,49 ± 0,03
IC95%	0,02	0,02
CV Inter-sujeto	8,6%	6,7%
CV Intra-sujeto	5,5%	5,9%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -8	
	65% 1RM
Media ± DE	0,53 ± 0,05
IC95%	0,02
CV Inter-sujeto	9,0%
CV Intra-sujeto	3,3%

Tabla 5. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Dorsal Remo.

DORSAL REMO			
VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -2			
	<u>65% 1RM</u>	<u>75% 1RM</u>	<u>85% 1RM</u>
Media ± DE	0,54 ± 0,07	0,53 ± 0,04	0,53 ± 0,05
IC95%	0,04	0,02	0,02
CV Inter-sujeto	12,8%	7,4%	9,0%
CV Intra-sujeto	6,0%	4,9%	4,4%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -4			
	<u>65% 1RM</u>	<u>75% 1RM</u>	<u>85% 1RM</u>
Media ± DE	0,60 ± 0,06	0,59 ± 0,40	0,60 ± 0,05
IC95%	0,03	0,02	0,02
CV Inter-sujeto	9,2%	6,6%	8,2%
CV Intra-sujeto	5,2%	3,2%	5,2%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -6		
	<u>65% 1RM</u>	<u>75% 1RM</u>
Media ± DE	0,65 ± 0,06	0,65 ± 0,04
IC95%	0,03	0,02
CV Inter-sujeto	9,6%	6,3%
CV Intra-sujeto	4,4%	2,1%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -8	
	<u>65% 1RM</u>
Media ± DE	0,71 ± 0,07
IC95%	0,03
CV Inter-sujeto	9,2%
CV Intra-sujeto	3,9%

Tabla 6. Velocidad media propulsiva asociada a los principales caracteres del esfuerzo según la intensidad de la carga (%1RM) en el ejercicio de Press Hombro.

PRESS HOMBRO			
VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -2			
	65% 1RM	75% 1RM	85% 1RM
Media ± DE	0,33 ± 0,04	0,32 ± 0,06	0,29 ± 0,04*
IC95%	0,02	0,03	0,02
CV Inter-sujeto	13,2%	10,5%	14,9%
CV Intra-sujeto	9,4%	5,1%	5,2%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -4			
	65% 1RM	75% 1RM	85% 1RM
Media ± DE	0,43 ± 0,04	0,40 ± 0,04 ^β	0,39 ± 0,04*
IC95%	0,02	0,02	0,02
CV Inter-sujeto	9,5%	10,9%	9,5%
CV Intra-sujeto	5,9%	5,6%	5,2%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -6		
	65% 1RM	75% 1RM
Media ± DE	0,50 ± 0,04	0,48 ± 0,04
IC95%	0,02	0,02
CV Inter-sujeto	7,0%	8,4%
CV Intra-sujeto	6,4%	5,8%

VELOCIDAD MEDIA PROPULSIVA -8	
	65% 1RM
Media ± DE	0,56 ± 0,04
IC95%	0,02
CV Inter-sujeto	7,8%
CV Intra-sujeto	4,5%

* Diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con la velocidad de parada asociada al 65% 1RM. ^β Diferencias significativas ($p \leq 0.05$) con la velocidad de parada asociada al 75% 1RM.

7. DISCUSIÓN

Esta investigación se diseñó para validar la velocidad de desplazamiento de las cargas como un indicador preciso del carácter o grado de esfuerzo que realiza el atleta durante una serie de entrenamiento de fuerza. Así mismo, este estudio ha analizado la reproducibilidad intra e inter-sujeto de esta variable para poder reforzar en su caso la calidad de esta medida. Finalmente, este diseño experimental nos permitió estudiar las diferencias que la intensidad del esfuerzo y la biomecánica de cada ejercicio van a propiciar en el número de repeticiones que un individuo puede completar hasta el fallo muscular, pudiendo especular sobre la validez de las diferentes ecuaciones publicadas de predicción del 1RM mediante el resultado de un test nRM.

Los principales hallazgos de esta investigación fueron que: i) monitorizar la pérdida de velocidad de desplazamiento de la carga durante una serie de entrenamiento de fuerza es un indicador válido y reproducible del grado de esfuerzo que representa ese estímulo, surgiendo de esta forma una herramienta práctica, segura y accesible que permite detener con precisión la serie de repeticiones en el momento apropiado según los objetivos neuromusculares marcados y la fatiga propuesta para esa sesión; ii) aunque todavía hoy sigue siendo el método más usado en el mundo para monitorizar la intensidad y las adaptaciones del entrenamiento de fuerza, existen notables diferencias en el número de repeticiones que se pueden completar en función de las características biomecánicas del ejercicio, además de ser una medida con bajos niveles de reproducibilidad inter e intra-sujeto.

Aunque estudios recientes han demostrado que evitar alcanzar la repetición de fallo, es decir, emplear un carácter del esfuerzo submáximo, va a optimizar las adaptaciones fisiológicas y neuromusculares de los deportistas (García-Pallarés et al., 2009 y 2010; Izquierdo-Gabarren et al., 2010; Pallarés et al., 2012; Sánchez-Medina et al., 2011), hasta la fecha este sistema de entrenamiento únicamente se ha podido aplicar mediante la percepción subjetiva del esfuerzo. Este procedimiento exige que el deportista detenga la serie de repeticiones cuando perciba que le restan por completar 2, 4, 6 o incluso 8 repeticiones para alcanzar el fallo muscular. Aunque ya podemos considerar este método un cambio positivo muy relevante y efectivo (García-Pallarés et al., 2009, 2010; Izquierdo-Gabarren et al., 2010), la percepción

subjetiva del esfuerzo no puede tomarse como el método patrón de oro o *Gold Standard* para detener una serie de repeticiones en el momento óptimo. Numerosas variables como la concentración del atleta, el tipo de ejercicio, la cantidad de masa muscular implicada y especialmente la experiencia en el entrenamiento de fuerza o su capacidad volitiva, pueden afectar a la validez y reproducibilidad de esta medida. Los resultados de esta investigación nos indican que la pendiente de pérdida de velocidad dentro de la serie de repeticiones, aunque distinta para cada ejercicio, es muy estable entre los diferentes sujetos, y especialmente para un mismo individuo, evidenciando que este método es notablemente superior a la percepción subjetiva del esfuerzo para controlar el carácter del esfuerzo.

Los resultados del estudio de reproducibilidad sugieren que el número de repeticiones que se pueden completar hasta el fallo muscular en los ejercicios estudiados es muy variable entre los diferentes sujetos, aunque esta medida es algo más estable para un mismo individuo (Tabla 2). Además, los datos nos indican que la medida es sustancialmente más reproducible ante cargas bajas y medias (65%-75% 1RM), en comparación con las altas (95% 1RM) (Tabla 2). De igual forma, los resultados del estudio de reproducibilidad de la velocidad de parada asociada a cada carácter del esfuerzo muestran una ligera tendencia a disminuir la reproducibilidad de esta variable a medida que aumenta la intensidad (%1RM) (Tablas 3-6). Todos estos resultados son coincidentes con los de estudios recientes (Pallarés et al., 2014; Stock et al., 2011) que analizaron la reproducibilidad de la velocidad a la que se desplazaba la 1^o repetición de una serie de entrenamiento en toda la curva Carga-Velocidad (30% - 100% 1RM), y encontraron que a medida que aumentaba la intensidad disminuía la reproducibilidad de esta medida (2,9% - 9,5% CV). Estos descensos de la fiabilidad ante altas cargas pueden estar relacionadas con el hecho de que las velocidades alcanzadas ante estas intensidades son muy bajas ($\sim 0.20\text{--}0.50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), y por lo tanto una pequeña diferencia en la velocidad (p.e., $\sim 0.03\text{--}0.05 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) entre series de repeticiones representa un cambio relevante en términos relativos.

Cabe destacar a su vez que los valores de coeficiente de variación encontrados en esta investigación para la velocidad de parada en los diferentes caracteres del esfuerzo inter-sujeto (CV = 4,6 % - 14,9%) y especialmente intra-

sujeto (CV = 2,1 % - 9,4%) son notablemente bajos, confirmando que se trata de una medida consistente y robusta. Estos hallazgos en su conjunto nos sugieren que monitorizar la pérdida de velocidad durante la serie de repeticiones en el entrenamiento de fuerza es la estrategia más adecuada que existe actualmente para controlar el carácter del esfuerzo al que sometemos a los deportistas, especialmente ante cargas bajas (65 %1RM) y medias (75%-85% 1RM).

A pesar de estos importantes hallazgos, cabe destacar que los resultados de esta investigación también constatan que cada ejercicio tiene una biomecánica muy diferente, y que estas particularidades propician diferencias importantes en los valores absolutos de velocidad a los que se alcanzan los principales caracteres del esfuerzo (-2, -4, -6 y -8 repeticiones), y que por lo tanto se deben conocer y prescribir distintamente para cada uno de ellos (p.e., carácter del esfuerzo de -4 rep con el 65% 1RM en PB y en ST son $0,36 \pm 0,03$ m/s y $0,46 \pm 0,05$ m/s respectivamente) (Tabla 3 y 4).

Por contra, la velocidad de parada asociada a un carácter del esfuerzo concreto es independiente al % 1RM que se desplaza (p.e., carácter del esfuerzo de -2 rep en ST: 65% 1RM - 0,40 m/s; 75% 1RM - 0,39 m/s; 85% 1RM - 0,39; $p > 0,05$; Tabla 4). Estos datos, junto con los del intervalo de confianza al 95% hallados para cada ejercicio, intensidad y grado de esfuerzo, permiten simplificar notablemente el uso de este método para el control de las adaptaciones al entrenamiento de fuerza y su fatiga asociada, identificando una única velocidad, o mejor, un pequeño rango de velocidades para un mismo carácter del esfuerzo y para cada ejercicio, aunque idéntico según %1RM al que se enfrenta el deportista:

Tabla 7. Propuesta de rango de velocidades asociadas para carácter del esfuerzo y ejercicio.

Carácter del Esfuerzo	Press Banca	Sentadilla Completa	Dorsal Remo	Press Hombro
-2 rep	0,26 - 0,28	0,39 - 0,41	0,53 - 0,54	0,29 - 0,33
-4 rep	0,34 - 0,34	0,44 - 0,46	0,59 - 0,60	0,39 - 0,43
-6 rep	0,40 - 0,43	0,48 - 0,50	0,64 - 0,65	0,48 - 0,50
-8 rep	0,46 - 0,48	0,53 - 0,54	0,70 - 0,72	0,55 - 0,56

Las notables diferencias en el número de repeticiones hasta el fallo que se han reportado en esta investigación para cada %1RM y ejercicio constatan la escasa validez de las ecuaciones o algoritmos publicados para predecir la intensidad de ejercicio y el valor de 1RM simplemente midiendo el valor de nRM (Brzycki, 1993; Wood et al., 2002). Futuras investigaciones tendrán que definir ecuaciones de predicción de la intensidad del esfuerzo y el 1RM para cada ejercicio atendiendo a las particularidades de la biomecánica de cada ejercicio y a la intensidad a la que se realiza el test, permitiendo de esta forma aumentar notablemente la validez de esta predicción para aquellos técnicos y deportistas que no dispongan del control de la velocidad de desplazamiento de la carga durante sus procesos de entrenamiento y valoración.

Los resultados de este estudio vienen a completar el paradigma y las aplicaciones prácticas que tiene monitorizar la velocidad de desplazamiento de las cargas durante el entrenamiento de fuerza:

- La velocidad alcanzada con una carga en valor absoluto (kg) puede ser empleada como una muy buena estimación de la magnitud que representa dicha carga (%1RM). Para este propósito se han publicado diferentes ecuaciones de predicción en los principales ejercicios de fuerza isoinerciales (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010; Pallarés et al., 2014). Los técnicos y deportistas pueden conocer el %1RM que le representa una carga simplemente monitorizando la velocidad a la que se ha desplazado la 1^o o 2^o repetición de una serie de entrenamiento. Dado los elevados índices de validez y reproducibilidad de esta medida, aumentos o descensos de la velocidad esperada ante una carga (kg) podrán ser interpretados inequívocamente como cambios en el rendimiento neuromuscular del atleta que pueden usarse para individualizar las cargas de trabajo en tiempo real.

- Evitar que el deportista alcance la repetición de fallo muscular se ha mostrado como una estrategia efectiva para potenciar las adaptaciones neuromusculares en los deportistas, al tiempo que se minimizan los tiempos de recuperación entre sesiones de entrenamiento (García-Pallarés et al., 2009 y 2010; Izquierdo-Gabarren et al., 2010; Pallarés et al., 2012; Sánchez-Medina et al., 2011). Los resultados de esta investigación confirman que monitorizar el carácter del

esfuerzo mediante la pérdida de velocidad durante la serie de repeticiones mejora sustancialmente este sistema de entrenamiento que hasta la fecha sólo se ha podido llevar a cabo mediante la percepción subjetiva del esfuerzo.

8. CONCLUSIONES

En base a las hipótesis formuladas para este Trabajo Final de Máster se exponen a continuación las conclusiones generales:

Hipótesis 1ª: *“Existe una alta reproducibilidad intra-sujeto respecto al número de repeticiones hasta el fallo muscular que se puede completar con cada intensidad y ejercicio de entrenamiento de fuerza, aunque la variabilidad de la medida es sustancialmente mayor inter-sujeto”*

Los resultados de esta investigación nos obligan a refutar esta hipótesis puesto que ha quedado constatado que existen notables diferencias en el número de repeticiones que se pueden completar hasta el fallo muscular en función de las características biomecánicas del ejercicio (PB, ST, DR, PH) o la intensidad ante la que se ejecutan (65%-95% 1RM), además de ser una medida con moderados niveles de reproducibilidad intra-sujeto.

Hipótesis 2ª: *“La pérdida de velocidad de desplazamiento de la carga durante una serie de repeticiones presenta elevados índices de validez y reproducibilidad inter e intra-sujeto para determinar el grado o carácter de esfuerzo en las intensidades más habituales del entrenamiento de fuerza de los ejercicios isoinerciales fundamentales”*

Monitorizar la pérdida de velocidad de desplazamiento de la carga durante una serie de entrenamiento de fuerza es un indicador válido y reproducible del grado de esfuerzo que representa ese estímulo, surgiendo de esta forma una herramienta práctica, segura y accesible que permite detener con precisión la serie de repeticiones en el momento apropiado según los objetivos neuromusculares marcados y la fatiga propuesta para esa sesión. Este nuevo sistema del control del carácter del esfuerzo mejora notablemente las debilidades y desventajas que presentaba la percepción subjetiva del esfuerzo para prescribir el carácter del esfuerzo, confirmándose de esta forma la segunda hipótesis del estudio.

9. LIMITACIONES DEL ESTUDIO

Aunque pensamos que el presente estudio aporta datos relevantes sobre las posibilidades que ofrece la monitorización de la velocidad de desplazamiento de las cargas, no solo para conocer la intensidad que supone una determina resistencia nada más realizar la primera repetición de una serie de entrenamiento, sino para conocer de forma válida y reproducible el carácter del esfuerzo que ha completado un atleta durante la serie, también somos conscientes de que este estudio tiene ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

1. Género: En el estudio sólo han participado varones, por lo que resulta necesario confirmar o refutar estos hallazgos en mujeres.

2. Nivel de rendimiento: Los participantes en este estudio poseían un nivel de rendimiento muy concreto ($1 \text{ RM en PB} \geq \text{peso corporal}$) lo cual no hace extrapolable los resultados obtenidos a otra población con un nivel inferior de rendimiento al de nuestro estudio.

3. Gesto técnico: estos hallazgos pueden y deben contextualizarse exclusivamente en los gestos técnicos analizados, siendo necesario confirmar los resultados en otros ejercicios como la Cargada, el Peso Muerto o el Jerk, así como en otros rangos de movimiento como la Media Sentadilla o la Sentadilla Paralela.

10. LINEAS DE INVESTIGACION FUTURAS

Tras la conclusión del estudio, y una vez descrita la velocidad de parada asociada a los habituales caracteres del esfuerzo de los principales ejercicios de fuerza isoinerciales, los futuros avances de conocimiento en este campo pasan por la realización de otros estudios, ya de tipo experimental, donde se analicen las adaptaciones neuromusculares, morfológicas y fisiológicas que pueden inducir los diferentes caracteres del esfuerzo tras ciclos completos de entrenamiento de fuerza (8-12 semanas).

A la luz de los resultados actuales, resulta igualmente necesario, diseñar nuevas ecuaciones de predicción del valor 1RM mediante test nRM que mejore los resultados de validez y reproducibilidad de los algoritmos vigentes, atendiendo a las variables que se han mostrado claramente determinantes de la variabilidad de la medida en este estudio como es la intensidad y el tipo de ejercicio, así como otras que pueden ayudar a completar la predicción como son las características antropométricas o los valores de capacidad y potencia anaeróbica del atleta.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Atkinson, G., Todd, C., Reilly, T., & Waterhouse, J. (2005). Diurnal variation in cycling performance: influence of warm-up. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 321-329.
- Badillo, J. J. G., & Gorostiaga, E. (2002). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza: Aplicación al alto rendimiento deportivo*, Madrid, España. Inde.
- Badillo, J. J. G., & Serna, J. R. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza*, Madrid, España. Inde.
- Brechue, W. F., & Mayhew, J. L. (2009). Upper-body work capacity and 1RM prediction are unaltered by increasing muscular strength in college football players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9), 2477-2486.
- Brzycki, M. (1993). Predicting a one rep max from reps-to-fatigue. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 64:88-90.
- Caruso, J. F., Taylor, S. T., Lutz, B. M., Olson, N. M., Mason, M. L., Borgsmiller, J. A., & Riner, R. D. (2012). Anthropometry as a predictor of bench press performance done at different loads. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(9), 2460-2467.
- Faigenbaum, A.D., McFarland, J.E., Herman, R.E., Naclerio, F., Ratamess, N.A., Kang, J. & Myer, G.D. (2012). Reliability of the one-repetition-maximum power clean test in adolescent athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(2):432-7.
- Faulkner, J. A. (1968). New perspectives in training for maximum performance. *JAMA*, 205(11), 741-746.
- Flanagan, S. D., Mills, M. D., Sterczala, A. J., Mala, J., Comstock, B. A., Szivak, T. K., & Kraemer, W. J. (2014). The relationship between muscle action and repetition maximum on the squat and bench press in men and women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(9), 2437-2442.
- 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. *British Journal of Sports Medicine*, 36(5), 370-373.
- García-López, D., de Paz, J.A., Moneo, E., Jiménez-Jiménez, R., Bresciani, G. & Izquierdo, M. (2007). Effects of short vs. long rest period between sets on elbow-flexor muscular endurance during resistance training to failure. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4): 1320-1324.

- García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, L., Pérez, CE. & Izquierdo-Gabarren, M. (2010). Physiological effects of tapering and detraining in world-class kayakers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1209-1214.
- García-Pallarés, J., García-Fernández, M., Sánchez-Medina, L., & Izquierdo, M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 99-107.
- 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. *European Journal of Applied Physiology*, 106(4), 629-638.
- Gibala, M.J., Little, J.P., van Essen, M., Wilkin, G.P., Burgomaster, K.A., Safdar, A., Raha, S. & Tarnopolsky, M.A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *Journal of Physiology*, 15 (Pt 3), 901-911.
- González-Badillo, J. G., & Sánchez-Medina, L. S. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31, 347-352.
- González-Badillo, J.J. & Gorostiaga-Ayestarán, E. (1997). *Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. 2ª edición. Barcelona. Inde.*
- González-Badillo, J.J. & Ribas-Serna, J. (2002). *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. 1ª edición. Barcelona. Inde.*
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R. & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO₂max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665-671.
- Izquierdo, M. & González-Badillo, J.J. (2008). Prescripción del entrenamiento de fuerza. En Izquierdo M (ed). *Biomecánica y bases neuromusculares de la actividad física y el deporte*. Madrid: Ed. Médica Panamericana. pp. 663-675.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J.J., Häkkinen, K., Ratamess, N.A., Kraemer, W.J., French, D.N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X. & Gorostiaga, E.M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not

- to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *European Journal of Applied Physiology*, 100(5): 1647-1656.
- Izquierdo-Gabarren, M., González De Txabarri 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. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(6), 1191-1199.
- Kraemer, W.J., Deschenes, M.R., Fleck, S.J. (1988). Physiological adaptations to resistance exercise. Implications for athletic conditioning. *Sports Medicine*, 6, 246–256.
- Levinger, I., Goodman, C., Hare, D.L., Jerums, G., Toia, D. & Selig, S. (2009). The reliability of the 1RM strength test for untrained middle-aged individuals. *The Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(2):310-6.
- Mora-Rodríguez, R., Garcia-Pallares, J., López-Samanes, Á., Ortega, J. F. & Fernández-Elías, V. E. (2012). Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular performance in highly resistance-trained men. *PLoS one*, 7(4), e33807.
- Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Gullón, J. M., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E. & Ortega, J. F. (2015). Improvements on neuromuscular performance with caffeine ingestion depend on the time-of-day. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(3), 338-342.
- Pallarés, J. G., & Morán-Navarro, R. (2012). Methodological approach to the cardiorespiratory endurance training. *Journal of Sport & Health Research*, 4, 109-119.
- 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. *Journal of Sports Sciences*, 32(12), 1165-1175.
- Pallarés, J.G., Pérez, C., de la Cruz, E., López-Gullón, J.M. & Sánchez-Medina, L. (2012). Efectos del entrenamiento de fuerza hasta el fallo muscular: respuesta fisiológica aguda y retardada. En Escobar Molina, R. y Sánchez Vinuesa, A. (Eds.), VII Congreso Internacional de la Asociación Española de Ciencias del Deporte (52). Granada: Universidad de Granada.

- Sanborn, K., Boros, R., Hruby, J., Schilling, B., O'bryant, H. S., Johnson, R. L. & Stone, M. H. (2000). Short-term performance effects of weight training with multiple sets not to failure vs. a single set to failure in women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 14(3), 328-331.
- Sánchez-Medina, L. (2010). *La velocidad de ejecución como factor determinante del grado de esfuerzo en el entrenamiento de fuerza*. (Tesis inédita de doctorado). Universidad Pablo de Olavide. Sevilla.
- 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. *International Journal of Sports Medicine*, 35(3), 209-216.
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(9), 1725-1734.
- Sánchez-Medina, L., Perez, C.E. & Gonzalez-Badillo, J.J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2):123-9.
- Stock, M. S., Beck, T. W., DeFreitas, J. M., & Dillon, M. A. (2011). Test–retest reliability of barbell velocity during the free-weight bench-press exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 171-177.
- Wood, T.M., Maddalozzo, G.F. & Harter, R.A. (2002). Accuracy of seven equations for predicting 1-RM performance of apparently healthy, sedentary older adults. *Measurement in Physical Education & Exercise Science*, 6(2):67-94.

12. ANEXOS

12.1. Anexo I: Informe de la comisión de ética

UNIVERSIDAD DE
MURCIA

Vicerrectorado de
Investigación



Comisión de
Ética de
Investigación



INFORME DE LA COMISIÓN DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

Jaime Peris Riera, Catedrático de Universidad y Secretario de la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia

CERTIFICA:

Que D. Jesús García Pallarés ha presentado el proyecto de investigación titulado "*Estudio de la pérdida de velocidad y la velocidad de parada en los caracteres de esfuerzo habituales de entrenamiento de fuerza*", a la Comisión de Ética de Investigación de la Universidad de Murcia.

Que dicha Comisión analizó toda la documentación presentada, y de conformidad con lo acordado el día 2 de diciembre de 2014¹, por unanimidad, se emite INFORME FAVORABLE.

Y para que conste y tenga los efectos que correspondan, firmo esta certificación, con el visto bueno del Presidente de la Comisión, en Murcia a 2 de diciembre de 2014.

Vº Bº
EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN
DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN
DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

Fdo.: Antonio Juan García Fernández

ID: 1013/2014

¹ A los efectos de lo establecido en el art. 27.5 de la Ley 30/1992 de 26 de noviembre de Régimen Jurídico de las Administraciones Públicas y del P.A.C. (B.O.E. 27-11), se advierte que el acta de la sesión citada está pendiente de aprobación

12.2. Anexo II: Documento de información al participante

Título del estudio: *Estudio de la pérdida de velocidad y la velocidad de parada en los caracteres de esfuerzo habituales de entrenamiento de fuerza.*

Investigador Principal: Dr. Jesús García Pallarés

Profesor de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Murcia

Objetivos del Estudio:

- Determinar los valores medios, SD e IC del número de repeticiones hasta el fallo que se pueden realizar con los %1RM más utilizados en el entrenamiento de fuerza (60, 65, 70, 75, 80, 85, 90 y 95 %1RM) en los ejercicios isoinerciales fundamentales (BP, SQ, PBP, SP).
- Validar ecuaciones de predicción de la fuerza dinámica máxima mediante test de repeticiones hasta el fallo muscular para cada ejercicio de entrenamiento.
- Establecer la velocidad de parada asociada a cada uno de los Caracteres del Esfuerzo (CE) principales de entrenamiento en cada ejercicio:
 - 65% 1RM: 6(15), 8(15), 10(15), 12(15)
 - 70% 1RM: 6(12), 8(12), 10(12)
 - 75% 1RM: 6(10), 8(10)
 - 80% 1RM: 4(8), 6(8)
 - 85% 1RM: 4(6)
 - 90% 1RM: 2(4)
 - 95% 1RM: 1(2)
- Estudiar los valores de reproducibilidad intra e inter-sujeto para el número de repeticiones hasta el fallo muscular y las velocidades asociadas a cada CE para los principales ejercicios e intensidades de entrenamiento de fuerza.
- Determinar factores antropométricos o de rendimiento que pueden explicar las diferencias inter-sujeto en el N° de repeticiones hasta el fallo en cada ejercicio, y por ende, modificar la velocidad de parada para cada uno de esos entrenamientos.
- Estudiar la respuesta fisiológica (valores de Ácido Láctico y Amonio) ante cada Carácter del Esfuerzo para estimar los tiempos de recuperación asociados a cada estímulo de entrenamiento

Participantes. En este estudio participará usted (si reúne los criterios de selección y da su consentimiento) y otros 30 deportistas con características similares.

Requisitos. Para participar en el estudio usted no deberá padecer enfermedad infecto-contagiosa, ni anomalía cardíaca o músculo-esquelética alguna, y no deberá estar bajo prescripción médica de ningún medicamento durante la duración del estudio.

Diseño y Protocolo del Estudio: Si finalmente reúne todos los requisitos anteriormente mencionados, usted realizará una batería de test de fuerza máxima con repeticiones hasta el fallo para el estudio del número máximo de repeticiones asociado a cada carácter del esfuerzo. Además, una vez realizadas estas pruebas, usted llevará a cabo un test Wingate de brazos y piernas, una cineantropometría completa y una prueba de eficiencia metabólica para estudiar las variables que pueden condicionar el número de repeticiones hasta el fallo muscular. Durante todas estas valoraciones se monitorizará las concentraciones de ácido láctico y amonio por medio de extracciones de sangre capilar (5 mL) en la yema del dedo o en el lóbulo de la oreja.

Confidencialidad: todos los datos obtenidos en el ensayo con relación a su persona serán custodiados, garantizando discreción y confidencialidad sobre su identificación y que para esto en la documentación generada en el ensayo clínico solo se recogerán las iniciales de sus nombres y apellidos.

12.3. Anexo III: Hoja de consentimiento informado

NOMBRE Y APELLIDOS DEL PARTICIPANTE _____

Fecha Nacimiento _____

DNI _____

Dirección _____

Teléfono _____

En caso de que el participante sea menor de edad, complete esta información:

NOMBRE Y APELLIDOS DEL PADRE, MADRE O TUTOR _____

_____ DNI

Dirección _____

Teléfono _____

NOMBRE INVESTIGADOR PRINCIPAL _____

1. He leído la hoja de información del proyecto y he tenido la posibilidad de discutir los detalles con el investigador principal y preguntarle cualquier tipo de dudas. El responsable del proyecto me ha explicado el propósito de las pruebas que van a realizarme y he entendido completamente todo lo que se me ha explicado.
2. Estoy de acuerdo en tomar parte de este estudio de forma voluntaria, y entiendo que soy completamente libre para abandonarlo en cualquier momento que desee o negarme a la realización de alguno de los procedimientos de medición.
3. Entiendo que las pruebas realizadas son parte de un proyecto de investigación que no me aportará ningún lucro personal, sino que están destinados a promover el conocimiento en Ciencias Biomédicas, cuyo protocolo ha sido aprobado por un comité de ética médica.

4. Estoy de acuerdo en que mis datos se guarden por el investigador principal, de forma confidencial, para su posterior análisis, y que los resultados de esta investigación, en caso de publicarse, no estarán nunca referidos a mi persona, respetándose la confidencialidad de los mismos y mi intimidad.
5. He sido también informado/a de que mis datos personales serán protegidos e incluidos en un fichero que deberá estar sometido a y con las garantías de la ley 15/1999 de 13 de diciembre.

Consiento total y libremente a participar en el proyecto titulado: “*Estudio de la pérdida de velocidad y la velocidad de parada en los caracteres de esfuerzo habituales de entrenamiento de fuerza*”, el cual me ha sido detalladamente explicado.

Firma del voluntario o padre, madre o tutor en su caso_____

Lugar y Fecha_____

Confirmando que he explicado al voluntario (arriba nombrado) el propósito y riesgos de las pruebas que van a realizársele.

Firma del Investigador _____

Lugar y Fecha_____