



Universidad de Jaén

Escuela de Doctorado

**DIFERENCIAS EN LA 1RM, PERFIL
CARGA-VELOCIDAD, NÚMERO DE
REPETICIONES AL FALLO,
PERCEPCIÓN DEL ESFUERZO Y
DISCONFORT EN EL PRESS DE BANCA
CON Y SIN RETRACCIÓN ESCAPULAR**

Autor: Antonio Piepoli

Director de la tesis:
Departamento: Dr. Antonio Martínez Amat
Dr. Amador García Ramos

Fecha: 02/06/2024

ISBN:
Licencia CC

RUJJA

*A mi mujer Sandra, por ser compañera
de vida y apoyo incondicional.*

*A mi hijo Leo, por motivarme a ser
mejor padre y persona cada día.*

ÍNDICE

Agradecimientos	7
Resumen	9
Introducción general	11
¿Qué es la fuerza muscular?	11
Adaptaciones Musculares y Beneficios de la Fuerza Muscular	11
Efectos de Entrenamiento de fuerza sobre la fuerza muscular	12
La Velocidad del Movimiento como Indicador de Carga y Rendimiento	12
Precisión, validez y fiabilidad	13
La Importancia de la Selección de Ejercicios en el Entrenamiento de Fuerza.....	15
Función de las escápulas en la salud del hombro y rendimiento en ejercicios de empujes	15
Problemas de investigación	17
Objetivos generales de la tesis doctoral.....	18
Hipótesis y objetivos	19
Lista de estudios	20
Materiales y métodos.....	21
Resultados.....	38
(1) Fiabilidad y validez de dispositivos de evaluación de la velocidad.....	38
ESTUDIO 1: Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press	38
ESTUDIO 2: Precision of 7 commercially available devices for predicting the bench press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship	43
(2) Retracción escapular en el press de banca	45
ESTUDIO 3: Differences in various strength manifestations between the flat and retracted bench press variants: are they affected by participants' experience or strength levels?	45
Discusión	49
Discusión estudio 1: Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press	49
Discusión estudio 2: Precision of 7 commercially available devices for predicting the bench press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship...	52
Discusión estudio 3: Differences in various strength manifestations between the flat and retracted bench press variants: are they affected by participants' experience or strength levels?	53

Conclusiones.....	56
Limitaciones y futuras líneas de investigación.....	57
(1) Fiabilidad y validez de dispositivos de evaluación de la velocidad.....	57
(2) Retracción escapular en el press de banca	57
Referencias	59
Lista de abreviaturas	71
Anexos	72
Publicaciones científicas derivadas de la tesis doctoral (formato referencias)	72

Agradecimientos

*El antifrágil se beneficia del desorden y la volatilidad, mientras que el frágil se ve afectado por ellos.
Nassim Nicholas Taleb*

Inicié la aventura del doctorado en el 2018, con una meta clara, pero con un camino no tan claro y que se hizo más incierto conforme pasaban los años. Durante estos casi seis años han cambiado muchas cosas, he cambiado yo como persona y como profesional, pero en cada etapa ha habido personas que me han apoyado y ayudado a avanzar hacia la meta.

Por ello, quiero empezar este documento agradeciendo a cada una de estas personas.

Sandra, mi mujer, me has apoyado y lo sigues haciendo desde el día que nos conocimos, hace ya 14 años. Sin ti, ni siquiera estaría aquí hoy, simplemente no sería. Me has ayudado a crecer como persona y me has apoyado en cada una de mis locas ideas empresariales, haciéndome reflexionar y guiándome en el autoconocimiento. Gracias a ti, hoy soy la persona en la que me quería convertir; gracias a ti, también, soy Padre. Me haces enormemente feliz.

Alejandro, mi amigo, socio y compañero de aventura, sin tu ayuda y apoyo no podría haberme convertido en el profesional que soy. Nos conocimos, por casualidad, en el desarrollo de un estudio científico. Profundizamos nuestra amistad en un curso de empresa. Luego me acogiste en tu empresa y me convertiste en el docente que soy hoy día. Después decidiste ser mi socio en la que hoy se ha convertido en una clínica, bueno clínicas, de referencia. Y ahí todo tu incansable trabajo, me ha permitido poder salir a explorar nuevos horizontes profesionales y, como no, dejarme mi tiempo y espacio para poder terminar esta misma tesis. Te estaré eternamente agradecido.

Fran, amigo, apareciste en el momento y lugar perfecto, y te convertiste en una pieza fundamental de nuestra empresa. Pero no solo esto, conseguiste, gracias a tu empatía y paciencia, reforzar no solo mi lado profesional sino también mi lado humano. Gracias.

Abel, empezamos siendo compañeros de clase, luego fui tu tutor de prácticas, luego empezamos juntos a investigar, entrenamos juntos, y finalmente te convertiste en uno de los mejores investigadores del mundo. Eres un ejemplo de constancia y de trabajo, pero con disfrute, me alegro de todos tus éxitos. Gracias por ser como eres.

Antonio y Amador, mis directores, que han estado presente durante todo este camino y me han motivado a seguir y terminar con lo que había empezado, gracias por no olvidaros de mí y tenderme la mano.

Mi familia, que, desde lejos, sé que me apoyan, aunque a veces le cueste entender muy bien lo que hago y no me ven tanto como le gustaría, os quiero.

Mi hijo, Leo, gracias a ti en estos tres últimos años he crecido más que los treinta años anteriores de mi vida. Me has hecho entender, sin decírmelo, que es lo verdaderamente importante en esta vida, en nuestra vida. Espero ser el buen padre que te mereces y ser un ejemplo para ti. Te quiero.

Resumen

Los principales problemas del entrenamiento deportivo son la dosificación de la carga programada, el control de la carga aplicada y la evaluación del efecto del entrenamiento. Sabemos que el componente principal de la dosificación de la carga es la intensidad, normalmente expresada por la magnitud de la carga externa movilizada.

La velocidad alcanzada contra una carga absoluta dada se ha utilizado para evaluar el rendimiento durante varios ejercicios de entrenamiento de fuerza.

En particular, el press de banca (PB), ha sido la prueba más frecuentemente empleada para medir la fuerza de las extremidades superiores.

Se han observado diferencias entre las variantes de PB con diferentes tipos de agarres, tipos de contracción o con y sin arqueado. Sin embargo, se desconocen los efectos de la retracción escapular sobre las diferentes variables relacionadas con el volumen e intensidad en el entrenamiento de fuerza.

La presente tesis doctoral explora la relación entre la posición de las escápulas durante la ejecución de este ejercicio realizado con peso libre y las diversas manifestaciones de fuerza y variables perceptivas.

Por lo tanto, los objetivos de la presente tesis doctoral fueron: 1) Comparar la fiabilidad y validez de siete dispositivos disponibles comercialmente para medir la velocidad de movimiento durante el ejercicio de press de banca (Estudio I); 2) Comparar la precisión de los diferentes dispositivos para predecir la repetición máxima de press de banca (1RM) a partir de la relación de carga-velocidad individual (Estudio II); 3) Comparar la fuerza de 1RM, el perfil carga-velocidad, el número de repeticiones hasta el fallo, la RPE-E y RPE-D entre las variantes de PB con y sin retracción escapular (Estudio III).

Los principales resultados de esta tesis fueron: 1) los transductores de posición/velocidad lineal, los sistemas optoelectrónicos basados en cámaras y la aplicación de smartphone son dispositivos válidos y fiables para medir la velocidad de movimiento durante el ejercicio de press de banca (Estudio I); 2) los transductores de posición/velocidad lineal, los sistemas optoelectrónicos basados en cámaras y la aplicación de smartphone ofrecen mayor precisión para predecir la repetición máxima (1RM) de press de banca a partir de la relación individual de carga-velocidad modelada a través de los métodos de múltiples puntos y de 2 puntos respecto a las unidades de medición inercial (IMU) (Estudio II); 3a) El desplazamiento lineal de la barra fue menor en el press de banca con retracción

escapular; 3b) Sin embargo, no encontramos diferencias entre las variantes de press de banca en cuanto a la velocidad media con cargas submaximas, número de repeticiones hasta el fallo, RPE-E y RPE-D; 3c) Los sujetos siempre mostraron mayor rendimiento de fuerza con la variante de BP más utilizada en sus entrenamientos, pero las diferencias entre BP plana y retraída no se vieron afectadas por los valores de fuerza máxima de los participantes (Estudio III).

Introducción general

¿Qué es la fuerza muscular?

La fuerza como magnitud física viene definida en la segunda ley de Newton como el producto de la masa de un cuerpo por su aceleración. Desde un punto de vista puramente fisiológico, podemos entender la fuerza como una capacidad de salida (output) del sistema motor (Enoka, 1988). Aunque esta definición a nivel práctico es de poca utilidad. La definición de fuerza debe ser una que nos permita realizar una medición sencilla, no invasiva y sobre todo útil para luego poder ser usada tanto en laboratorios como en centros de entrenamiento o salud.

La fuerza muscular se ha definido de forma sencilla, como la capacidad de ejercer fuerza sobre un objeto o resistencia externa. (Zatsiorsky et al., 2000)

Tanto en el deporte como en la vida diaria tenemos que aplicar fuerza para desplazarnos, subir escaleras, esprintar, saltar, etc.

La fuerza muscular del individuo es una constante en todos los ejemplos anteriores, que puede considerarse un factor limitante del rendimiento e incluso de salud.

Adaptaciones Musculares y Beneficios de la Fuerza Muscular

La presencia de niveles elevados de fuerza muscular ha sido asociada a una serie de beneficios relacionados con la salud y el rendimiento. La investigación previa ha demostrado que la fuerza muscular está vinculada con la disminución de la mortalidad por cáncer en hombres (Ruiz et al., 2009a), una mejora en la salud ósea desde la infancia hasta la adultez joven (Torres-Costoso et al., 2020a), así como una disminución en la incidencia de diabetes tipo 2 (Wang et al., 2019a). Además, los atletas con mayor fuerza muscular tienden a superar a sus contrapartes más débiles en tareas físicas específicas del deporte (American College of Sports Medicine, 2009) y presentan una menor predisposición a lesiones no relacionadas con el contacto (Suchomel et al., 2018a). Estos resultados enfatizan la importancia de desarrollar y maximizar la fuerza muscular, con implicaciones significativas tanto para la salud como para el rendimiento deportivo.

Efectos de Entrenamiento de fuerza sobre la fuerza muscular

Es cierto que el entrenamiento con resistencia externa es el método más eficaz para incrementar la fuerza muscular (American College of Sports Medicine, 2009; Suchomel et al., 2018a)

Pero la eficacia de dicho entrenamiento se ve influenciada por una serie de variables agudas, como el tipo de ejercicio, la intensidad, el volumen, la frecuencia, la densidad, la acción muscular y la velocidad de movimiento (American College of Sports Medicine, 2009; Bird et al., 2005a; Jukic et al., 2021a). Estas variables tienen un impacto directo en las adaptaciones a largo plazo en la fuerza muscular (Paoli et al., 2017a). La elección adecuada y la manipulación inteligente de estas variables son esenciales para lograr los objetivos deseados en el entrenamiento de resistencia.

La Velocidad del Movimiento como Indicador de Carga y Rendimiento

Sabemos que el componente principal de la dosificación de la carga es la intensidad, normalmente expresada por la magnitud de la carga externa movilizadora (Kraemer et al., 1988).

Tradicionalmente, los indicadores que se han utilizado para dosificar la intensidad del entrenamiento han sido el valor de la repetición máxima (1RM), y el número de repeticiones máximas (nRM). La 1RM corresponde a aquella carga externa que solo permite realizar una repetición en una acción concéntrica en un determinado ejercicio. La nRM, por otro lado, representa el número máximo de repeticiones que se pueden ejecutar con una carga externa determinada. Determinar de forma directa tanto la 1RM como la nRM en cada ejercicio puede ser poco práctico, además que podría aumentar la fatiga y el riesgo de lesión del deportista (Braith et al., 1993; Niewiadomski et al., 2008). Asimismo, tenemos en cuenta que la RM no es constante todos los días, por lo que sería necesario hacer un test de RM prácticamente a diario y para todos los ejercicios que se vayan a ejecutar en dicha sesión.

De no menos importancia es la dosificación y control del volumen de entrenamiento, que ha mostrado ser la variable más importante en cuanto a ganancia de hipertrofia se refiere (Schoenfeld et al., 2017). Además, es necesario establecer un volumen óptimo de entrenamiento, dado que añadir más volumen de lo necesario podría aumentar el riesgo de lesión (Soligard et al., 2016).

Para hacer frente a estas limitaciones, recientemente se ha desarrollado otra metodología para dosificar y controlar la carga del entrenamiento. Esta metodología se fundamenta en

el uso de la velocidad de ejecución como una variable a medir y controlar para conocer de forma válida y fiable la intensidad del entrenamiento y el grado de esfuerzo que supone el mismo (González-Badillo et al., 2011). La velocidad de ejecución permite calcular de forma rápida a qué %RM se trabaja, dado que estas dos variables están fuertemente asociadas en cada ejercicio (González-Badillo et al., 2011).

Precisión, validez y fiabilidad

Estudios recientes han recomendado la relación carga-velocidad individual para obtener una predicción más precisa de la 1RM (García-Ramos et al., 2021b). La medición de valores de velocidad media contra 2 o más cargas submáximas permite estimar la 1RM a través de una regresión lineal como la carga asociada con la velocidad de la 1RM (García-Ramos, Haff, Pestaña-Melero, et al., 2018). En este sentido, sería importante explorar el número de cargas necesarias para obtener una predicción precisa de la 1RM (Banyard, Nosaka, & Haff, 2017; García-Ramos, Haff, Pestaña-Melero, et al., 2018). Hasta la fecha, ningún estudio ha comparado la precisión en la predicción de la 1RM entre los métodos de múltiples puntos (más de 2 cargas) y de 2 puntos (solo 2 cargas).

Además, hoy en día, existen muchas herramientas tecnológicas (dinamómetros, transductores lineales, acelerómetros, aplicaciones móviles, células opto-eléctricas, cámaras, etc.) que permiten medir de forma precisa la velocidad de ejecución en diferentes ejercicios de fuerza (sentadilla, press de banca, dominadas, peso muerto, etc.).

Desde un punto de vista científico, la captura de movimiento tridimensional (3D) ha sido reconocida como el gold standard para medir la velocidad del movimiento (Loturco et al., 2019; Sato et al., 2015).

Sin embargo, debido a que esta tecnología no es práctica ni asequible para profesionales de la fuerza y acondicionamiento, se utilizan típicamente otros dispositivos en la práctica a la hora de implementar el entrenamiento basado en la velocidad. El transductor lineal de posición ha sido el dispositivo más utilizado en la investigación científica (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; Garnacho-Castaño et al., 2015; Pérez-Castilla et al., 2017).

Este consta de un dinamómetro isoinercial con un cable que suele estar unido a la barra, y deriva la velocidad a partir de los datos registrados de desplazamiento-tiempo utilizando el enfoque dinámico inverso (Harris et al., 2010). Más recientemente, se ha puesto a disposición comercialmente un transductor de velocidad lineal llamado "T-Force"

(sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España), que proporciona mediciones directas de velocidad mediante la grabación de señales eléctricas proporcionales a la velocidad de extensión del cable (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011a). Es razonable especular que el transductor de velocidad lineal podría ser más preciso que los transductores lineales de posición porque se sabe que la manipulación sucesiva de datos brutos aumenta los errores de medición (McMaster et al., 2014; Pérez-Castilla et al., 2017). Sin embargo, queda por explorar si la fiabilidad de las salidas de velocidad difiere significativamente entre los transductores lineales de posición y los transductores de velocidad lineal, así como su validez concurrente con respecto a la captura de movimiento 3D gold standard.

Debe reconocerse que los transductores lineales de posición/velocidad no siempre son prácticos ni asequibles. La necesidad de sujetar el cable a la barra restringe la selección de ejercicios a aquellos realizados predominantemente en dirección vertical (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017). Otra desventaja común de los transductores lineales de posición/velocidad es su alto costo (más de 2,000 dólares estadounidenses), lo que puede limitar su uso a entornos basados en laboratorios o deportes profesionales (Conceição et al., 2016; Loturco et al., 2017, 2019). Sin embargo, debe señalarse que un nuevo transductor lineal de posición llamado "Speed4Lift" (Speed4Lift; Madrid, España) ha aparecido en el mercado con un precio considerablemente más bajo (340 dólares estadounidenses), aunque no hay datos disponibles sobre su fiabilidad y validez. Como alternativa a los transductores lineales de posición/velocidad, las tecnologías portátiles están ganando cada vez más popularidad en el campo del entrenamiento de fuerza y acondicionamiento físico (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; García-Ramos, Pérez-Castilla, et al., 2018; Orange et al., 2019).

Uno de los dispositivos portátiles que ha aparecido recientemente en el mercado se llama "Velowin" (Velowin; DeporTeC, Murcia, España). Velowin es un sistema optoelectrónico basado en cámara diseñado para medir la velocidad del movimiento mediante el seguimiento de un marcador reflectante de infrarrojos colocado en la barra. Se ha informado de una alta fiabilidad y validez concurrente de Velowin para medir la velocidad del movimiento durante el ejercicio de sentadilla con peso libre (García-Ramos, Pérez-Castilla, et al., 2018; Laza-Cagigas et al., 2019). La principal ventaja de Velowin en comparación con los transductores lineales de posición/velocidad es que no requiere estar unido a la barra a través de un cable y, por lo tanto, esto eliminaría el riesgo de ruptura del cable (Laza-Cagigas et al., 2019). Sin embargo, el costo de Velowin (625 dólares

estadounidenses) y su portabilidad limitada (por ejemplo, se necesita un software de PC) podrían limitar su uso para muchos profesionales de la fuerza y acondicionamiento. Muchos practicantes solo pueden permitirse dispositivos más prácticos como aplicaciones para smartphone o acelerómetros (IMUs) (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Orange et al., 2019).

Sin embargo, escasea la literatura respecto a la fiabilidad y validez de los acelerómetros y por eso habría que analizarlo en más detalle tanto en su función para evaluar los valores de velocidad ante cargas individuales (estudio 1) como para predecir la 1RM (estudio 2).

La Importancia de la Selección de Ejercicios en el Entrenamiento de Fuerza

La velocidad alcanzada contra una carga absoluta dada se ha utilizado para evaluar el rendimiento durante varios ejercicios de entrenamiento de fuerza (González-Badillo et al., 2014; Pérez-Castilla, Comfort, et al., 2020). En particular, el press de banca, ha sido la prueba más frecuentemente usada para medir la fuerza de las extremidades superiores (García-Ramos et al., 2021b; González-Badillo et al., 2014). Los levantadores pueden elegir entre varias variantes del ejercicio de press de banca: solo concéntricas o excéntricas-concéntricas (Pérez-Castilla, Comfort, et al., 2020), agarre estrecho o amplio (Clemons & Aaron, 1997), con arqueo lumbar o sin arqueo (García-Ramos et al., 2021b). Una condición intermedia entre el PB plano (espalda baja casi totalmente apoyada en el banco con las escápulas libres para moverse) y el PB arqueado (espalda baja pronunciadamente arqueada y hombros retraídos) podría ser el PB con retracción en el que la espalda baja permanece casi totalmente apoyada en el banco, pero las escápulas se mantienen retraídas durante todo el ejercicio.

Función de las escápulas en la salud del hombro y rendimiento en ejercicios de empujes

Es bien sabido que la escápula juega un papel decisivo en la estabilización del complejo del hombro, siendo esencial para producir movimientos eficientes (C. K. Huang et al., 2013; Paine & Voight, 2013a). Cuando la escápula no cumple su papel de estabilización, es más probable que ocurran alteraciones en el desempeño neuromuscular y mayor predisposición a lesiones de la articulación glenohumeral (C. Huang et al., 2013; Paine & Voight, 2013a).

Por lo tanto, parece justificada la recomendación habitual de fijar las escápulas mientras se realiza el ejercicio de PB (N. Ratamess, 2011). Sin embargo, que nosotros sepamos, ningún estudio ha explorado si las medidas perceptivas de esfuerzo e incomodidad difieren entre el PB plano y el PB retraído cuando se utilizan cargas y rangos de repeticiones diferentes. También es plausible que el acto de retraer las escápulas pueda aumentar la capacidad del pectoral mayor para aplicar fuerza. Esto se debe a que durante el PB con retracción el pectoral mayor esté más elongado que durante el PB plano y, en consecuencia, el rendimiento del PB retraído podría verse afectado positivamente por una mayor relación longitud-tensión (Figura 1).

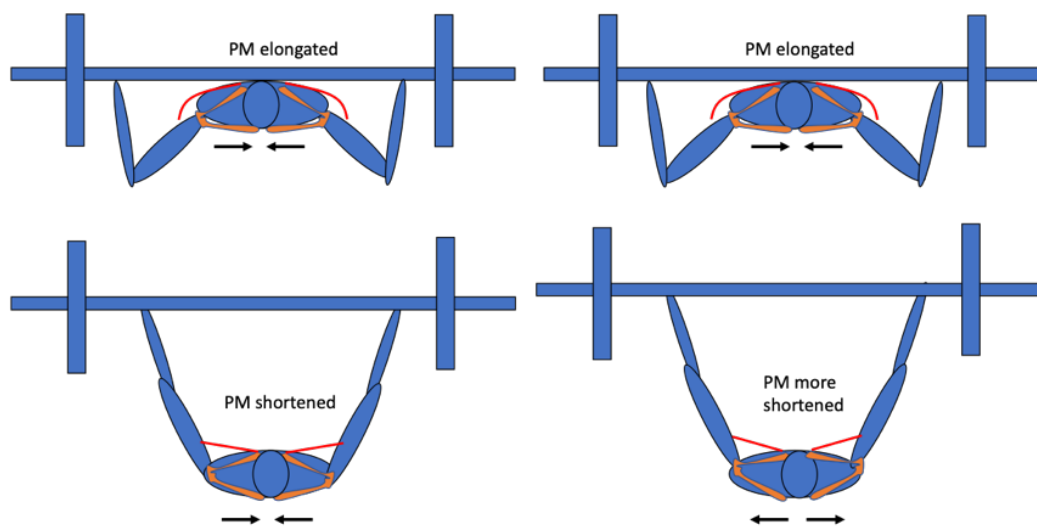


Figura 1. Representación esquemática de la variación de longitud del pectoral mayor en PB retraído (Izquierda) y PB plano (derecha). (Elaboración propia).

Problemas de investigación

- 1- A pesar de las aplicaciones alentadoras del entrenamiento de resistencia basado en la velocidad (Mann et al., 2015), hay poca investigación disponible que compare la confiabilidad y validez de diferentes dispositivos disponibles comercialmente utilizados en el entrenamiento e investigación para monitorear la velocidad del movimiento.
- 2- Existen resultados conflictivos sobre la validez de los dispositivos inalámbricos portátiles para medir la velocidad del movimiento (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Banyard, Nosaka, & Haff, 2017; Orange et al., 2019). Una pregunta práctica que queda virtualmente sin explorar es si los dispositivos inalámbricos portátiles podrían predecir una 1RM con una precisión comparable a los transductores lineales de posición y velocidad más comúnmente utilizados.
- 3- Hasta donde sabemos, ningún estudio ha comparado una repetición máxima (1RM), el perfil fuerza-velocidad, el número de repeticiones hasta el fallo, la percepción del esfuerzo (RPE-E) e incomodidad (RPE-D) entre las variantes de PB con y sin retracción escapular en hombres adultos entrenados (estudio 3). En este sentido, sería importante dilucidar si las velocidades alcanzadas contra la misma carga absoluta difieren entre la PB con y sin retracción. Los resultados de velocidad comparables entre ambas variantes de PB sugerirían que los practicantes podrían elegir indistintamente entre el PB con y sin retracción al evaluar la fuerza de las extremidades superiores a través de la velocidad del movimiento. Las posibles diferencias entre las variantes de PB, ya sea en el 1RM, velocidad alcanzada contra las mismas cargas absolutas, podrían influir en sus perfiles de carga-velocidad (es decir, la velocidad asociada a cada %RM), así como el número de repeticiones posibles hasta el fallo. Esta información podría ser útil para los atletas que utilizan el enfoque de entrenamiento basado en la velocidad durante sus rutinas de entrenamiento de resistencia.

Objetivos generales de la tesis doctoral

En este contexto, la presente tesis doctoral pretende explorar las diferencias mecánicas y perceptivas entre 2 modalidades distintas de press de banca (con y sin retracción escapular). (estudio 3)

Para ello, primero se comparará la fiabilidad y validez de siete dispositivos disponibles comercialmente para medir la velocidad de movimiento durante el ejercicio de press de banca. (Estudio 1)

Así como comparar la precisión de los diferentes dispositivos para predecir la repetición máxima de press de banca (1RM) a partir de la relación de carga-velocidad individual. (Estudio 2)

Hipótesis y objetivos

Hipótesis:

- Basándonos en lo anteriormente descrito y dado que el press de banca con retracción escapular reduce el rango de movimiento, hipotetizamos que el PB con retracción dará valores mayores de 1RM respecto al PB sin retracción. Esperamos encontrar diferencias también en el perfil carga-velocidad, repeticiones hasta el fallo, RPE-E y RPE-D entre las dos condiciones.

El objetivo general de este estudio es:

- Comparar la fuerza de 1RM, el perfil carga-velocidad, el número de repeticiones hasta el fallo, la RPE-E y RPE-D entre las variantes de PB con y sin retracción escapular.

Objetivos específicos:

- comparar la fiabilidad y validez de siete dispositivos disponibles comercialmente para medir la velocidad de movimiento durante el ejercicio de press de banca. **(Estudio 1)**
- comparar la precisión de los diferentes dispositivos para predecir la repetición máxima de press de banca (1RM) a partir de la relación de carga-velocidad individual. **(Estudio 2)**
- Observar si la retracción escapular afecta a la 1RM en el PB. **(Estudio 3)**
- Observar si la retracción escapular afecta al perfil carga-velocidad en el PB. **(Estudio 3)**
- Observar si la retracción escapular puede permitir incrementar el número de repeticiones hasta el fallo. **(Estudio 3)**
- Evaluar si la fatiga percibida (RPE-E) e incomodidad (RPE-D) en la sesión es modificada cuando se ejecuta el PB con retracción escapular. **(Estudio 3)**

Lista de estudios

La presente memoria de tesis se compone de los siguientes estudios:

Estudio 1

ALEJANDRO PÉREZ-CASTILLA, ANTONIO PIEPOLI, GABRIEL DELGADO-GARCÍA, GABRIEL GARRIDO-BLANCA, AMADOR GARCÍA-RAMOS.

RELIABILITY AND CONCURRENT VALIDITY OF SEVEN COMMERCIALY AVAILABLE DEVICES FOR THE ASSESSMENT OF MOVEMENT VELOCITY AT DIFFERENT INTENSITIES DURING THE BENCH PRESS

The Journal of strength and conditioning research: PUBLICADO

Estudio 2

ALEJANDRO PÉREZ-CASTILLA, ANTONIO PIEPOLI, GABRIEL DELGADO-GARCÍA, GABRIEL GARRIDO-BLANCA, CARLOS BALSALOBRE-FERNÁNDEZ, AMADOR GARCÍA-RAMOS.

PRECISION OF 7 COMMERCIALY AVAILABLE DEVICES FOR PREDICTING THE BENCH PRESS 1-REPETITION MAXIMUM FROM THE INDIVIDUAL LOAD-VELOCITY RELATIONSHIP

International Journal of Sports Physiology and Performance: PUBLICADO

Estudio 3

ANTONIO PIEPOLI, SERGIO MIRAS-MORENO, DANICA JANICIJEVIC, ANTONIO MARTÍNEZ-AMAT, AMADOR GARCÍA-RAMOS

DIFFERENCES IN VARIOUS STRENGTH MANIFESTATIONS BETWEEN THE FLAT AND RETRACTED BENCH PRESS VARIANTS: ARE THEY AFFECTED BY PARTICIPANTS' EXPERIENCE OR STRENGTH LEVELS?

The Journal of strength and conditioning research: PUBLICADO

Materiales y métodos

El apartado de materiales y métodos se presenta a continuación para cada uno de los estudios que componen la memoria de la presente Tesis Doctoral. Los aspectos más relevantes de este apartado se encuentran resumidos en la siguiente tabla:

Tabla1. Resumen de las principales características metodológicas de los estudios incluidos en la presente tesis doctoral

Estudio	Diseño	Participantes	Procedimiento
Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press	Descriptivo	14 hombres entrenados	3 repeticiones contra 5 cargas (45, 55, 65,
	<p>Análisis estadístico</p> <ul style="list-style-type: none"> • Los datos descriptivos se presentan como medias y desviaciones estándar, mientras que el coeficiente de variación (CV) de las cinco cargas se presenta a través de su valor de mediana. • La fiabilidad se evaluó para cada carga individual mediante el CV y el coeficiente de correlación intraclase (modelo ICC 3,1). • Los diagramas de Bland-Altman se construyeron para explorar la validez concurrente de los siete dispositivos disponibles comercialmente con respecto al sistema Trio-OptiTrack™. • Dado que observamos un sesgo proporcional en seis de siete comparaciones ($r^2 > 0.1$), los datos se transformaron logarítmicamente antes de calcular los coeficientes de correlación producto-momento de Pearson (r). 		
Estudio	Diseño	Participantes	Procedimiento
Precision of 7 commercially available devices for predicting	Descriptivo	11 hombres entrenados	test incremental en máquina Smith contra 5 cargas (45–55–65–

the bench press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship			75–85% RM), seguido de intentos de 1RM.
	Análisis estadístico		
	<ul style="list-style-type: none"> • pruebas t de muestras pareadas, • tamaño del efecto g de Hedge, • coeficiente de correlación de Pearson (r) • error estándar de estimación (SEE). • ANOVA con correcciones post-hoc de Bonferroni • Corrección de Greenhouse-Geisser 		
Estudio	Diseño	Participantes	Procedimiento
Differences in various strength manifestations between the flat and retracted bench press variants: are they affected by participants' experience or strength levels?	Randomizado cruzado	28 hombres entrenados (Edad entre 18 y 31 años)	
	Análisis estadístico		
	<ul style="list-style-type: none"> • Los datos descriptivos se presentan mediante medias y DE. • Se utilizó la prueba de Shapiro-Wilk para explorar la distribución normal de los datos. • Pruebas t de muestras pareadas • Tamaño del efecto d de Cohen • Prueba de rangos con signo de Wilcoxon. • Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes 		

Estudio 1: RELIABILITY AND CONCURRENT VALIDITY OF SEVEN COMMERCIALLY AVAILABLE DEVICES FOR THE ASSESSMENT OF MOVEMENT VELOCITY AT DIFFERENT INTENSITIES DURING THE BENCH PRESS

Enfoque Experimental del Problema

Este estudio fue diseñado para explorar la fiabilidad y validez concurrente de 7 dispositivos disponibles comercialmente para la medición de la velocidad del movimiento. Los participantes completaron 2 sesiones de prueba separadas por 48-72 horas. La 1RM en el ejercicio de press de banca se determinó en la primera sesión de prueba. La segunda sesión de prueba consistió en realizar 3 repeticiones contra 5 cargas diferentes (45, 55, 65, 75 y 85% de 1RM). La velocidad media de la barra se midió utilizando un sistema óptico de detección de movimiento (V120: Trio, OptiTrack; NaturalPoint, Inc., EE. UU.) que se consideró el estándar de oro en este estudio (Nagymáté & M. Kiss, 2018; Vasconcelos et al., 2016). Además, la velocidad media también se midió con 7 dispositivos disponibles comercialmente: 1 transductor lineal de velocidad (sistema T-Force, Ergotech), 2 transductores lineales de posición (Chronojump; Boscosystem, Barcelona, España; y Speed4Lift), 1 sistema optoelectrónico basado en cámara (Velowin, DeporTeC), 1 aplicación para teléfonos inteligentes (PowerLift) y 2 IMUs (PUSH band; PUSH, Inc., y Beast sensor; Beast Technologies Srl.). Las 2 repeticiones con la velocidad media más alta registradas por el Trio-OptiTrack en cada carga se utilizaron para calcular la confiabilidad intra-sesión (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Laza-Cagigas et al., 2019), mientras que solo la repetición con la velocidad media más alta registrada en cada carga por el Trio-OptiTrack se utilizó para los análisis de validez.

Participantes

14 hombres físicamente activos (edad: 22.9 ± 1.6 años; altura: 1.76 ± 0.06 m; masa corporal: 76.9 ± 7.8 kg; 1RM en press de banca: 86.1 ± 11.9 kg) se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. Los participantes fueron reclutados de un centro de fitness y todos estaban familiarizados con el ejercicio de press de banca antes del inicio del estudio. Ninguno de ellos sufría limitaciones físicas, problemas de salud o lesiones musculoesqueléticas que pudieran comprometer el rendimiento evaluado. Se instruyó a los participantes que evitaran cualquier ejercicio extenuante dos días antes de

cada sesión de prueba. Se les informó sobre los procedimientos del estudio y firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar el estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la junta de revisión institucional.

Procedimiento

La primera sesión de prueba se utilizó para medidas antropométricas y para determinar la 1RM durante el ejercicio de press de banca exclusivamente concéntrico siguiendo una prueba de carga incremental (García-Ramos et al., 2015). El calentamiento estandarizado consistió en trotar, estiramientos dinámicos seleccionados por el individuo y ejercicios de movilización articular, y 1 serie de 5 repeticiones realizadas con una carga externa de 17 kg (masa de la barra sin carga de la máquina Smith) durante el ejercicio de press de banca. Luego, la carga externa se incrementó de 10 a 1 kg hasta alcanzar la carga de 1RM. El número promedio de cargas probadas fue de 8.9 ± 1.3 . El descanso entre series se estableció en 4 minutos, y se realizaron de 1 a 2 repeticiones con cada carga.

La segunda sesión de prueba comenzó con el mismo calentamiento descrito para la sesión 1. Posteriormente, los sujetos realizaron el ejercicio de press de banca exclusivamente concéntrico contra 5 cargas relativas (45, 55, 65, 75 y 85% de 1RM) que se implementaron de manera incremental. Las cargas más bajas (es decir, <45% de 1RM) no se probaron porque generalmente no se utilizan en el entrenamiento con el ejercicio de press de banca, mientras que las cargas más altas (es decir, >85% de 1RM) se excluyeron para evitar una fatiga elevada que pudiera comprometer los análisis de confiabilidad. Se realizaron tres repeticiones con cada carga. El descanso entre repeticiones se estableció en 15 segundos, y el descanso entre series se fijó en 4 minutos. La barra fue sostenida por los soportes de seguridad de la máquina Smith durante los períodos de recuperación. Se alentó a los sujetos a levantar la barra con la máxima velocidad posible.

La técnica estándar de posición de contacto corporal de 5 puntos (cabeza, parte superior de la espalda y glúteos firmemente en el banco con ambos pies planos en el suelo) se siguió en las 2 sesiones de prueba. Los participantes seleccionaron el ancho de agarre, que se midió y mantuvo constante en cada levantamiento. La barra se sostuvo sobre los

soportes de seguridad de la máquina Smith 1-2 cm por encima del pecho de los sujetos, a la altura del esternón. Desde esa posición, se instruyó a los sujetos a realizar un movimiento exclusivamente concéntrico tan rápido como fuera posible hasta que sus codos alcanzaran la extensión completa. Dos asistentes fueron responsables de bajar la barra después de cada repetición.

Equipo de medición y análisis de datos

Los dispositivos de medición no estaban sincronizados y recopilaron por separado la velocidad media de las mismas repeticiones (Figura 1). Las características específicas de cada dispositivo se proporcionan a continuación:

1. Trio-OptiTrack: Trio-OptiTrack (V120:Trio; OptiTrack, NaturalPoint, Inc.) es un sistema óptico de detección de movimiento que incluye 3 cámaras infrarrojas y precalibradas fijadas en un marco rectangular que proporciona datos de posición 3D de un marcador reflectante a una frecuencia de muestreo de 120 Hz. Los datos brutos de la posición del marcador en el espacio se adquirieron utilizando el software Motive v.1.5.0 (OptiTrack, NaturalPoint, Inc.) y luego se analizaron en Microsoft Excel (Microsoft, Seattle, WA, EE. UU.). La velocidad instantánea se calculó mediante la diferenciación de los datos de desplazamiento con respecto al tiempo. El marcador reflectante se colocó en el lado izquierdo de la barra, y el Trio-OptiTrack se colocó a una distancia de 2.5 m del marcador.

2. T-Force: T-Force (sistema T-Force, Ergotech) es un dinamómetro isoinercial que consiste en un transductor de velocidad lineal de extensión de cable conectado a una computadora personal mediante una placa de adquisición de datos analógicos a digitales de resolución de 14 bits. La velocidad instantánea se calculó automáticamente a una frecuencia de muestreo de 1,000 Hz mediante el software personalizado v.2.28. El cable se unió verticalmente al lado derecho de la barra con una correa de velcro.

3. Chronojump: Chronojump (Chronojump Boscosystem, Barcelona, España) es un dinamómetro isoinercial que consta de un transductor de posición lineal de extensión de cable unido a la barra y conectado a una computadora personal a una frecuencia de muestreo de 1,000 Hz. Los datos brutos se exportaron desde el software personalizado v.1.6.2 y luego se analizaron en Microsoft Excel (Microsoft). La velocidad instantánea se

calculó mediante la diferenciación de los datos de desplazamiento con respecto al tiempo. El cable se unió verticalmente al lado derecho de la barra con una correa de velcro.

4. Speed4Lift: Speed4Lift (Speed4Lift) es un dinamómetro isoinercial que consta de un transductor de posición lineal de extensión de cable unido a la barra. Los datos se registraron directamente mediante la diferenciación de los datos de desplazamiento con respecto al tiempo a una frecuencia de muestreo de 1,000 Hz mediante la conexión Wi-Fi con un teléfono inteligente Android mediante la aplicación Speed4Lift v.4.1. El cable se unió verticalmente al lado izquierdo de la barra con una correa de velcro.

5. Velowin: Velowin (Velowin; DeporTeC) es un sistema optoelectrónico que incluye una cámara infrarroja conectada a una computadora personal que mide el desplazamiento de un reflector fijo a la barra. Los datos se registraron directamente desde el software personalizado v.1.6.314 mediante la diferenciación de los datos de desplazamiento con respecto al tiempo a una frecuencia de muestreo de 500 Hz. El Velowin se colocó a una distancia de 1.7 m del reflector infrarrojo, y se calibró según las instrucciones del fabricante.

6. PowerLift. PowerLift es una aplicación para teléfonos inteligentes v.6.0.1 que implica una inspección manual fotograma a fotograma de una grabación de video en cámara lenta mediante la cámara de alta velocidad del teléfono a una frecuencia de 240 fotogramas por segundo y una calidad de 720 píxeles. La velocidad media se calculó como el rango de movimiento individual (es decir, desplazamiento vertical de la barra desde la posición inicial [1 cm por encima del pecho del sujeto] hasta la posición final [codos completamente extendidos]) dividido por el tiempo de levantamiento (es decir, tiempo entre 2 fotogramas seleccionados por el usuario). El teléfono inteligente (iPhone; Apple, Inc., CA, EE. UU.) fue sostenido por un investigador en posición vertical y registró cada levantamiento desde el frente del sujeto a aproximadamente 1.5 m.

7. PUSH Band. PUSH Band (PUSH band, PUSH, Inc.) es un dispositivo inalámbrico usable con IMUs que consta de un acelerómetro de 3 ejes y un giroscopio que proporciona 6 grados de libertad en su sistema de coordenadas (2). Los datos se registraron directamente mediante la integración de los datos de aceleración con respecto al tiempo a una frecuencia de muestreo de 200 Hz mediante la conexión Bluetooth 4.0 LE con un

teléfono inteligente (iPhone, Apple, Inc.) utilizando la aplicación PUSH v.1.1.26. El PUSH Band se llevaba en el antebrazo dominante del sujeto, inmediatamente inferior al pliegue del codo, con el botón principal ubicado de manera proximal (2,5).

8. Beast Sensor. Beast Sensor (Beast sensor, Beast Technologies Srl.) es un dispositivo inalámbrico usable con IMUs que incluye un acelerómetro de 3 ejes, giroscopio y magnetómetro. Los datos se registraron directamente mediante la integración de la aceleración vertical con respecto al tiempo a una frecuencia de muestreo de 50 Hz mediante la conexión Bluetooth 4.0 LE con un teléfono inteligente (iPhone, Apple, Inc.) utilizando la aplicación Beast v.2.3.7. El Beast Sensor se colocó en la barra mediante un imán incorporado (3).

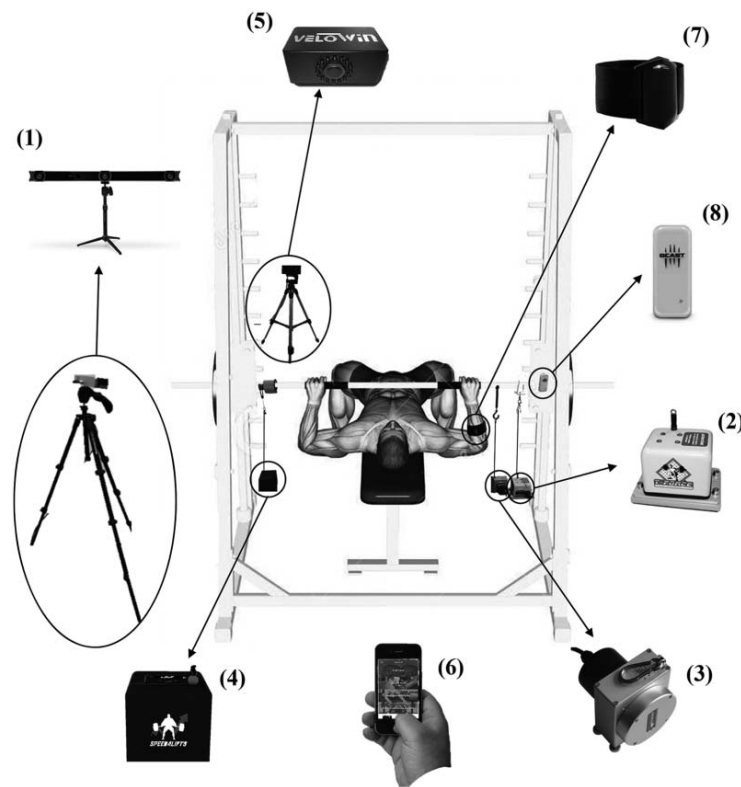


Figura 2. Distribución de los equipo de medición durante el protocolo de evaluación: (1) Trio-OptiTrack, (2) T-Force, (3) Chronojump, (4) Speed4Lift, (5) Velowin, (6) PowerLift, (7) PUSH band, and (8) Beast sensor.

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como medias y desviaciones estándar (SD), mientras que el coeficiente de variación (CV) de las 5 cargas se presenta a través de su valor mediano. La fiabilidad se evaluó para cada carga individual mediante el CV y el coeficiente de correlación intraclase (ICC, modelo 3,1). Se consideró que la fiabilidad era aceptable si el CV era menor del 10% y el ICC era mayor de 0.70 (Cormack et al., 2008). Se calculó el valor mediano del CV de las 5 cargas para comparar la fiabilidad entre los 8 dispositivos examinados en este estudio. Para interpretar la magnitud de las diferencias observadas entre 2 CV, se estableció un criterio para la relación más pequeña importante como mayor a 1.15 (Stewart & Hopkins, 2000). Se construyeron gráficos de Bland-Altman para explorar la validez concurrente de los 7 dispositivos disponibles comercialmente con respecto al sistema Trio-OptiTrack. Dado que observamos sesgo proporcional en 6 de 7 comparaciones ($r^2 > 0.1$) (1), los datos se transformaron logarítmicamente antes de calcular los coeficientes de correlación de Pearson (r) (Hopkins et al., 2009). Los criterios para interpretar la fuerza de los coeficientes r fueron los siguientes: trivial (<0.1), pequeña (0.1–0.3), moderada (0.3–0.5), alta (0.5–0.7), muy alta (0.7–0.9) o prácticamente perfecta (>0.9) (Hopkins et al., 2009). Se aceptó la significancia estadística a un nivel de $p < 0.05$, y los límites de confianza se establecieron en 95%. Todas las evaluaciones de fiabilidad se realizaron mediante una hoja de cálculo personalizada (HopkinsW, 2000), mientras que otros análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22.0, Chicago, IL, EE. UU.).

Estudio 2: PRECISION OF 7 COMMERCIALLY AVAILABLE DEVICES FOR PREDICTING THE BENCH PRESS 1-REPETITION MAXIMUM FROM THE INDIVIDUAL LOAD-VELOCITY RELATIONSHIP

Participantes

Once hombres (edad: 22.5 ± 1.9 años; masa corporal: 75.2 ± 7.2 kg; altura: 1.75 ± 0.06 m; press de banca 1RM: 83.8 ± 12.3 kg [1RM relativo a la masa corporal: 1.10 ± 0.16 kg·kg⁻¹]), con experiencia en el ejercicio de press de banca, participaron en este estudio. Los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito antes de iniciar el estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional de la Universidad de Granada.

Procedimiento

Los participantes llevaron a cabo 2 sesiones de prueba separadas por 48-72 horas. La primera sesión se utilizó para medidas antropométricas y para determinar el press de banca 1RM. El calentamiento consistió en trotar, ejercicios de movilización articular y 1 serie de 5 repeticiones contra una carga externa de 37 kg durante el ejercicio de press de banca. Luego, la carga se incrementó en 10 a 1 kg hasta alcanzar la carga de 1RM. El descanso entre series se estableció en 4 minutos y se realizaron de 1 a 2 repeticiones con cada carga. La segunda sesión comenzó con el mismo calentamiento descrito anteriormente. Los participantes realizaron 3 repeticiones contra 5 cargas incrementales (45–55–65–75–85%1RM), seguidas de intentos de 1RM (se permitieron un máximo de 3 intentos). El descanso entre repeticiones y entre series se estableció en 15 segundos y 4 minutos, respectivamente. La barra fue sostenida por las paradas de seguridad de la máquina Smith, 1-2 cm por encima del pecho de los sujetos, a la altura del esternón. Desde esa posición, se instruyó a los participantes a realizar un movimiento solo en la fase concéntrica tan rápido como fuera posible hasta que sus codos alcanzaran la extensión completa. El valor real de 1RM fue altamente reproducible (coeficiente de variación = 2.05%; coeficiente de correlación intraclase = 0.98). El 1RM determinado en la segunda sesión se utilizó para el análisis de validez.

Equipo de medición y análisis de datos

El press de banca se realizó en una máquina Smith (Technogym, Barcelona, España). Los datos de velocidad media fueron monitoreados simultáneamente por 7 dispositivos comerciales: 1 transductor lineal de velocidad (T-Force [v.2.28, T-Force System, Ergotech, Murcia, España]), 2 transductores lineales de posición (Chronojump [v.1.6.2, Chronojump Boscosystem®, Barcelona, España] y Speed4Lift [v.4.1, Speed4Lift, Madrid, España]), 1 dispositivo optoelectrónico basado en cámara (Velowin [v.1.6.314, Velowin, DeporTeC, Murcia, España]), 2 unidades de medición inercial (PUSH band [v1.1.26, PUSHTH band, PUSH Inc., Toronto, Canadá] y Beast sensor [v.2.3.7, Beast sensor, Beast Technologies Srl., Brescia, Italia]), y 1 aplicación para teléfonos inteligentes (PowerLift) (Figura 1).

Solo se utilizó la repetición con la velocidad media más alta para cada condición de carga y dispositivo para el análisis posterior. La relación individual carga-velocidad se modeló utilizando los datos de 5 cargas (45–55–65–75–85%1RM; "método de múltiples puntos") y solo 2 cargas (45–85%1RM; "método de 2 puntos"). Debido a la baja confiabilidad de la velocidad del 1RM y las diferencias triviales entre la variabilidad entre y dentro de los sujetos para la velocidad del 1RM (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; García-Ramos, Haff, Pestaña-Melero, et al., 2018), se estimó el 1RM a partir de la relación carga-velocidad individual como la carga asociada a una velocidad media estándar de $0.17 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (García-Ramos, Haff, Pestaña-Melero, et al., 2018).

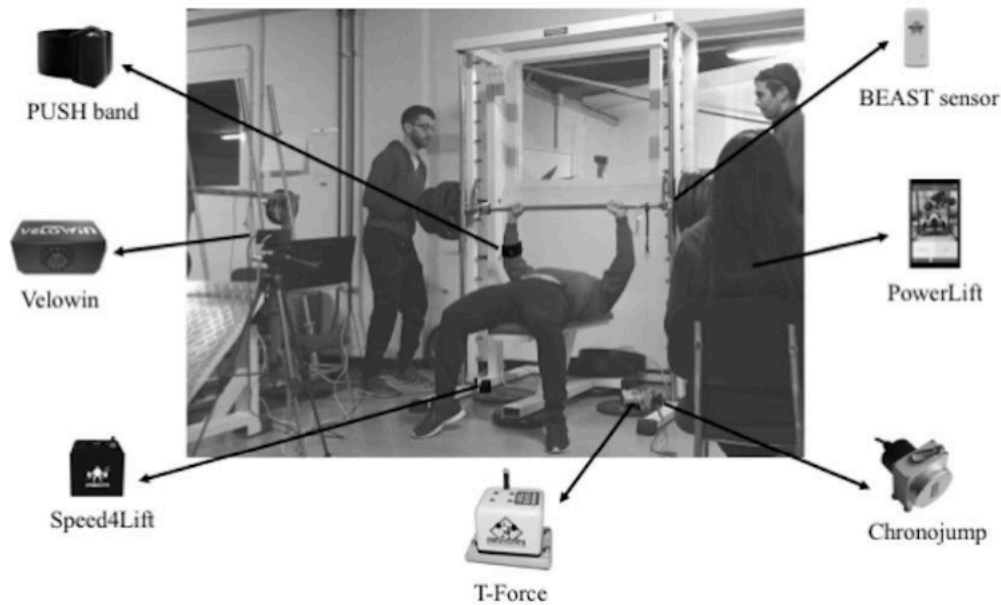


Figura 3. Distribución de los diferentes dispositivos durante el protocolo de evaluación del press de banca

Análisis estadístico

La precisión del 1RM estimado a partir de los 7 dispositivos y 2 métodos en comparación con el 1RM real se examinó mediante pruebas t de muestras pareadas, el tamaño del efecto de Hedge's g (ES) (Lakens, 2013), el coeficiente de correlación de Pearson (r) y el error estándar de la estimación (SEE). La magnitud del ES se interpretó de la siguiente manera: trivial (< 0.2), pequeño (0.2-0.59), moderado (0.60-1.19), grande (1.2-2.0) y muy grande (> 2.0) (Hopkins et al., 2009). La fuerza de los coeficientes r se interpretó de la siguiente manera: trivial (< 0.1), pequeña (0.1-0.3), moderada (0.3-0.5), alta (0.5-0.7), muy alta (0.7-0.9) o prácticamente perfecta (> 0.9) (Hopkins et al., 2009). Los dispositivos se consideraron altamente válidos si cumplían con los siguientes criterios: ES trivial a pequeño, r prácticamente perfecto y SEE moderado (< 5 kg). Se aplicó un ANOVA de medidas repetidas de dos vías (dispositivo × método) con correcciones post hoc de Bonferroni sobre las diferencias absolutas entre el 1RM real y el predicho. Se utilizó la corrección de Greenhouse-Geisser cuando se violó la esfericidad según la prueba de esfericidad de Mauchly. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (versión 22.0: SPSS, Inc., Chicago, IL, EE. UU.). El nivel alfa se estableció en $p < 0.05$.

Estudio 3: DIFFERENCES IN VARIOUS STRENGTH MANIFESTATIONS BETWEEN THE FLAT AND RETRACTED BENCH PRESS VARIANTS: ARE THEY AFFECTED BY PARTICIPANTS' EXPERIENCE OR STRENGTH LEVELS?

Diseño

Se utilizó un diseño cruzado aleatorio para comparar varias manifestaciones de fuerza (fuerza explosiva, fuerza máxima y fuerza de resistencia) y variables perceptuales (RPE y RPD) entre las variantes de press de banca (BP) plana y retraída. Los sujetos asistieron al laboratorio en tres ocasiones separadas por 72-96 horas (una sesión de familiarización y dos sesiones experimentales). La primera sesión se utilizó para asegurarse de que todos los sujetos fueran capaces de realizar el BP retraído con la técnica adecuada a la velocidad máxima prevista y para determinar el 1RM del BP retraído. Las dos sesiones experimentales fueron idénticas con la única excepción de que, en un orden aleatorio, se utilizó el BP plano en una sesión y el BP retraído en otra sesión. Se evaluaron las siguientes manifestaciones de fuerza en cada sesión experimental en un orden secuencial: (I) fuerza explosiva: velocidad media (MV) alcanzada contra tres cargas submáximas (40%, 60% y 80% del 1RM); (II) fuerza máxima: 1RM; y (III) fuerza de resistencia: número de repeticiones completadas hasta el fallo contra el 70% del 1RM. También se registraron los valores de RPE y RPD inmediatamente después de completar cada prueba. Todos los sujetos fueron evaluados entre las 10:00 y las 14:00 horas y en condiciones ambientales similares (~ 22 °C y ~ 60% de humedad).

Participantes

Se realizó un análisis de potencia utilizando G*Power versión 3.1.9.4 (Universidad de Kiel, Alemania) para determinar el tamaño de muestra mínimo requerido para evaluar el objetivo principal del estudio (es decir, las diferencias en el rendimiento mecánico entre el BP plano y el BP retraído). Considerando una potencia del 0.80, un tamaño de efecto de 0.20, un nivel alfa de 0.05 y un coeficiente de correlación de Pearson (r) de 0.833 (r promedio para todas las variables mecánicas), el tamaño de muestra requerido fue de 19 participantes. De manera conservadora, reclutamos a 28 levantadores recreativamente entrenados (edad = 23.8 ± 3.4 años [rango: 18-35 años]; masa corporal = 77.9 ± 8.8 kg; altura corporal = 1.76 ± 0.05 m; BP 1RM en la sesión 1 = 96.1 ± 20.8 kg [1.23 ± 0.27 kg·kg⁻¹]; experiencia en BP = 4.6 ± 2.9 años) (los datos se presentan como media \pm

desviación estándar [DE]). Ninguno de los sujetos informó de alguna limitación física que pudiera comprometer el rendimiento en el BP. Los sujetos tenían al menos 1 año de experiencia en entrenamiento de resistencia, incluido el ejercicio de BP (informaron realizar de dos a cinco sesiones de entrenamiento de resistencia por semana) y demostraron durante la sesión de familiarización que podían realizar la retracción escapular en el ejercicio de BP. Sin embargo, para explorar la importancia de la experiencia previa con la variante de BP retraído, los sujetos reclutados para este estudio diferían intencionalmente en el uso del BP retraído durante sus programas de entrenamiento (siempre [n = 13], a veces [n = 7] y nunca [n = 7]). Se prohibió a los sujetos realizar cualquier rutina de entrenamiento de resistencia para la parte superior del cuerpo durante el curso del estudio. Además, se les indicó a los sujetos que mantuvieran patrones nutricionales consistentes durante el curso del estudio. El protocolo del estudio se adhirió a los principios de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional.

Procedimientos

Procedimientos de familiarización (sesión 1)

Se realizó un calentamiento estandarizado al principio de la sesión, que consistió en ejercicios de estiramiento dinámico para la parte superior del cuerpo, ejercicios de retracción y protracción escapular, y 10 flexiones de brazos. Una vez completado el calentamiento, los sujetos realizaron una prueba de carga incremental utilizando la variante de BP retraído. La carga externa inicial se fijó en 20 kg y se aumentó progresivamente en incrementos de 15 kg hasta que la velocidad media (MV) de la fase de elevación fue inferior a $0.50 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. A partir de ese momento, la carga se incrementó de común acuerdo entre el levantador y el investigador principal de 10 a 1 kg hasta alcanzar la carga de 1RM. Se realizaron tres, dos y una repetición contra cargas ligeras ($MV > 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), medias ($0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \leq MV \leq 1.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) y pesadas ($MV < 0.65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), respectivamente. El descanso intra-serie fue de 10 segundos y el descanso entre series fue de 4 minutos. También se pidió a los sujetos que realizaran un conjunto de repeticiones hasta el fallo contra el 70%1RM después de completar la prueba de carga incremental. Se instruyó a los sujetos a realizar todas las repeticiones con un esfuerzo concéntrico máximo (es decir, tan rápido como fuera posible). La velocidad de elevación se registró con un transductor de velocidad lineal (Sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España)

conectado al lado izquierdo de la barra. Con fines de familiarización, también se pidió a los sujetos que informaran los valores de RPE y RPD después de completar cada serie de repeticiones durante la prueba de carga incremental, así como después del conjunto de repeticiones hasta el fallo. El BP plano no se utilizó en la sesión de familiarización porque todos los participantes informaron tener una amplia experiencia con esta variante de BP y su alta competencia se confirmó en la respectiva sesión experimental. Ambas variantes de BP se ejecutaron con una barra olímpica de peso libre de 20 kg utilizando la técnica estándar de posición de contacto corporal de cinco puntos (cabeza, espalda y glúteos firmemente en el banco con ambos pies planos en el suelo). La posición inicial implicó que los participantes sostuvieran la barra con un ancho de agarre seleccionado por ellos mismos y con los codos completamente extendidos. Desde esta posición, bajaron la barra hasta tocar el pecho e inmediatamente después presionaron la barra tan rápido como fuera posible hasta que sus codos alcanzaron la extensión completa (técnica de tocar y continuar). Se pidió que se minimizara la curva de la parte baja de la espalda en ambas variantes de BP. La única diferencia entre ambas variantes de BP es que, mientras en el BP plano las escápulas tenían libertad de movimiento durante todo el movimiento, en el BP retraído se instruyó a los participantes que mantuvieran sus hombros retraídos durante las fases de descenso y elevación.

Procedimientos de prueba (sesiones 2-3)

Las sesiones experimentales comenzaron con un calentamiento estandarizado que consistió en ejercicios de estiramiento dinámico para la parte superior del cuerpo, ejercicios de retracción y protracción escapular, 10 flexiones de brazos y tres series de 10, 3 y 1 repeticiones de la variante de BP ejecutada en esa sesión (BP plano o BP retraído) contra el 30%1RM, 55%1RM y 80%1RM, respectivamente. A continuación, se evaluaron las siguientes manifestaciones de fuerza en orden secuencial:

(I) Fuerza explosiva. Los sujetos realizaron tres repeticiones contra el 40%1RM y el 60%1RM y dos repeticiones contra el 80%1RM. Los períodos de descanso entre repeticiones con las mismas y diferentes cargas fueron de 15 segundos y 3 minutos, respectivamente. Las tres cargas se aplicaron en un orden aleatorio, pero cada sujeto siguió el mismo orden en las dos sesiones experimentales. La repetición con la mayor MV (es decir, el valor de velocidad promedio desde el inicio de la fase de elevación hasta que la barra alcanza la altura máxima) de cada carga se utilizó para los análisis

estadísticos. Los participantes recibieron retroalimentación sobre el rendimiento de MV inmediatamente después de realizar cada repetición para animarlos a realizar todas las repeticiones a la velocidad máxima prevista. El desplazamiento hacia arriba de la barra también se utilizó para explorar posibles diferencias en el rango de movimiento entre ambas variantes de BP. Se utilizó un transductor de velocidad lineal validado (Sistema T-Force; Ergotech, Murcia, España) para obtener variables de MV y desplazamiento (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011a). Cabe destacar que durante todas las pruebas, dos asistentes capacitados estuvieron presentes a cada lado de la barra para garantizar la seguridad y motivar a los sujetos a levantar la barra tan rápido como sea posible (prueba de fuerza explosiva), levantar la mayor cantidad de kg posible (prueba de fuerza máxima) y completar la mayor cantidad de repeticiones posible (prueba de fuerza de resistencia).

(II) Fuerza máxima. Los sujetos realizaron ensayos individuales separados por 5 minutos. La carga inicial correspondió al 95% del 1RM determinado en la sesión 1 y se aumentó de común acuerdo entre el levantador y el investigador principal de 10 a 1 kg hasta alcanzar la carga de 1RM. Específicamente, se animó a los participantes a incrementar la magnitud de la carga hasta que fallaron en una repetición, y la última (más pesada) carga que pudieron levantar con una técnica adecuada se consideró su 1RM real. Los participantes siempre necesitaron menos de 5 intentos para alcanzar su 1RM. La MV del ensayo de 1RM fue de $0.145 \pm 0.023 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para el BP plano y de $0.167 \pm 0.042 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ para el BP retraído (valor p de la prueba de muestras pareadas = 0.078). La MV del ensayo de 1RM no se consideró como una variable dependiente en el presente estudio porque (i) no es una variable de rendimiento y (ii) no es una métrica confiable (García-Ramos et al., 2020a).

(III) Fuerza de resistencia. Los sujetos completaron un solo conjunto de repeticiones hasta el fallo contra el 70% del 1RM determinado en la sesión 1. Se implementó un período de descanso de 10 minutos entre la última prueba de la prueba de fuerza máxima y la prueba de fuerza de resistencia.

Además de las variables mecánicas mencionadas anteriormente, también se registraron dos variables perceptivas (RPE y RPD) durante estas pruebas siguiendo los procedimientos descritos por (Steele et al., 2016). Específicamente, se utilizaron dos

escalas distintas de 11 puntos (0-10) para evaluar las percepciones de esfuerzo (RPE; "¿Cuán duro crees que estás trabajando?") e incomodidad (RPD; "¿Cuánta incomodidad sientes?"), donde 0 indica "ningún esfuerzo" o "ninguna incomodidad" y 10 indica "esfuerzo máximo" o "incomodidad máxima", respectivamente. Los sujetos se familiarizaron con ambas escalas durante la sesión de familiarización.

Una imagen de las escalas se mostró a los sujetos inmediatamente después de completar cada prueba y se les pidió que indicaran verbalmente sus valores de RPE y RPD en un orden secuencial. Específicamente, se recopilaron cinco mediciones de RPD (después de las repeticiones de cada carga submáxima [40%1RM, 60%1RM y 80%1RM], la prueba de 1RM y el conjunto de repeticiones hasta el fallo), y solo se recopilaron tres mediciones de RPE (después de las repeticiones de cada carga submáxima) debido al esfuerzo presumiblemente máximo de la prueba de 1RM y el conjunto de repeticiones hasta el fallo (Steele et al., 2016).

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan mediante medias y desviaciones estándar (SD). La prueba de Shapiro-Wilk se utilizó para explorar la distribución normal de los datos. El desplazamiento hacia arriba de la barra y la velocidad media registrada contra las tres cargas submáximas (40%, 60% y 80% de 1RM), el 1RM y el número de repeticiones completadas hasta el fallo tenían una distribución normal ($p > 0.05$), mientras que los valores de RPE y RPD no tenían una distribución normal ($p < 0.05$). En consecuencia, las variables con distribución normal se compararon entre ambas variantes de BP mediante pruebas t de muestras pareadas, el tamaño del efecto Cohen's d (ES; Flat BP – Retracted BP] / SD ambos) y las diferencias porcentuales (Δ [%] = [Flat BP – Retracted BP] / Retracted BP \times 100). La escala utilizada para interpretar la magnitud del ES fue: despreciable (< 0.20), pequeño (0.20–0.49), moderado (0.59–0.79) y grande (≥ 0.80) (3). Los valores de RPE y RPD se compararon entre ambas variantes de BP mediante la prueba de rango con signo de Wilcoxon.

Más tarde, se crearon subgrupos para abordar el tercer objetivo de este estudio. Específicamente, se crearon tres subgrupos basados en la variante de BP que los sujetos informaron que usaban comúnmente en sus programas de entrenamiento: siempre BP retraído (n = 13), a veces BP retraído (n = 7) y nunca BP retraído (n = 7). También se dividió a los sujetos utilizando un análisis de división de la mediana según sus valores de

fuerza dinámica máxima (1RM) relativa a la masa corporal: grupo más fuerte (n = 13; 1RM relativa a la masa corporal = 1.43 ± 0.15) y grupo más débil (n = 14; 1RM relativa a la masa corporal = 1.05 ± 0.07). Los valores de fuerza dinámica máxima se presentan promediando el 1RM obtenido en ambas variantes de BP. Las diferencias en el rendimiento mecánico entre ambas variantes de BP ($\Delta [\%] = [\text{Flat BP} - \text{Retracted BP}] / \text{Retracted BP} \times 100$) se compararon entre los subgrupos mediante la prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes, mientras que las pruebas t de muestras no apareadas se utilizaron para comparaciones post hoc. Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el paquete de software SPSS (IBM SPSS versión 22.0, Chicago, IL, EE. UU.). La significancia se aceptó a $p \leq 0.05$.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados de cada uno de los estudios incluidos en la presente Tesis Doctoral. Los estudios se agrupan en dos tópicos: (1) fiabilidad y validez de dispositivos de evaluación de la velocidad (Estudio I y II) ; (2) c (Estudio III)

(1) Fiabilidad y validez de dispositivos de evaluación de la velocidad

ESTUDIO 1: Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press

Los valores medios de velocidad solo alcanzaron una fiabilidad aceptable en todas las cargas para el sistema Trio-OptiTrack, los transductores lineales de velocidad/posición y la aplicación para smartphones (CV, 6.24% e ICC >0.73) (Tabla 2). Basado en la comparación de los CV medianos de las 5 cargas, los dispositivos fueron clasificados de más a menos fiables de la siguiente manera: (a) Speed4Lift (CV = 2.61%); (b) Velo-win (CV = 3.99%), PowerLift (3.97%), Trio-OptiTrack (CV = 4.04%), T-Force (CV = 4.35%), y Chronojump (CV = 4.53%); (c) banda PUSH (CV = 9.34%); y (d) sensor Beast (CV = 35.0%).

Los gráficos de Bland-Altman revelaron un sesgo sistemático y errores aleatorios bajos ($\leq 0.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) para el T-Force, Chronojump, Speed4Lift, Velowin y PowerLift en comparación con el sistema Trio-OptiTrack (Figura 4). Ambas IMUs mostraron errores aleatorios mayores (banda PUSH = $0.06 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y sensor Beast = $0.21 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Se observaron errores de heterocedasticidad para todos los dispositivos, con la única excepción del Speed4Lift ($r^2 = 0.007$). Se observó una asociación prácticamente perfecta entre el sistema Trio-OptiTrack y los diferentes dispositivos ($r = 0.947\text{--}0.995$; $p < 0.001$) con la única excepción del sensor Beast ($r = 0.765$; $p < 0.001$) (Figura 5).

Device	Load (%1RM)	Mean velocity (m·s ⁻¹)	CV (95% CI)	ICC (95% CI)
Trio-OptiTrack	45	0.84 ± 0.05	3.47 (2.52–5.59)	0.73 (0.35–0.90)
	55	0.71 ± 0.05	2.22 (1.57–3.76)	0.93 (0.79–0.98)
	65	0.58 ± 0.05	4.04 (2.93–6.50)	0.84 (0.57–0.95)
	75	0.46 ± 0.05	4.15 (2.98–6.85)	0.83 (0.54–0.95)
	85	0.35 ± 0.05	4.64 (3.37–7.48)	0.88 (0.67–0.96)
T-Force	45	0.83 ± 0.06	2.48 (1.78–4.09)	0.90 (0.70–0.97)
	55	0.70 ± 0.05	1.82 (1.32–2.93)	0.95 (0.84–0.98)
	65	0.59 ± 0.05	4.35 (3.15–7.01)	0.78 (0.45–0.93)
	75	0.49 ± 0.05	4.78 (3.43–7.89)	0.77 (0.40–0.92)
	85	0.37 ± 0.05	4.90 (3.55–7.90)	0.87 (0.64–0.96)
Chronojump	45	0.90 ± 0.05	2.31 (1.67–3.72)	0.87 (0.64–0.96)
	55	0.76 ± 0.05	2.09 (1.51–3.36)	0.90 (0.71–0.97)
	65	0.60 ± 0.07	6.24 (4.47–10.3)	0.72 (0.31–0.90)
	75	0.47 ± 0.06	4.53 (3.25–7.48)	0.85 (0.58–0.95)
	85	0.34 ± 0.05	5.65 (4.05–9.32)	0.86 (0.60–0.95)
Speed4Lift	45	0.88 ± 0.06	2.61 (1.80–4.77)	0.87 (0.55–0.96)
	55	0.75 ± 0.04	2.39 (1.73–3.85)	0.84 (0.57–0.94)
	65	0.63 ± 0.05	2.42 (1.69–4.25)	0.93 (0.78–0.98)
	75	0.51 ± 0.05	3.92 (2.81–6.47)	0.81 (0.49–0.94)
	85	0.38 ± 0.05	3.41 (2.38–5.98)	0.94 (0.78–0.98)
PowerLift	45	0.79 ± 0.04	2.85 (2.02–4.83)	0.84 (0.55–0.95)
	55	0.70 ± 0.06	3.97 (2.81–6.74)	0.85 (0.57–0.96)
	65	0.58 ± 0.05	4.91 (3.48–8.33)	0.74 (0.32–0.92)
	75	0.51 ± 0.05	3.69 (2.58–6.48)	0.87 (0.58–0.96)
	85	0.40 ± 0.04	4.97 (3.47–8.71)	0.85 (0.54–0.96)
Velowin	45	0.91 ± 0.06	2.89 (2.09–4.65)	0.83 (0.56–0.94)
	55	0.77 ± 0.05	3.27 (2.35–5.40)	0.79 (0.45–0.93)
	65	0.64 ± 0.06	3.99 (2.86–6.59)	0.83 (0.53–0.94)
	75	0.51 ± 0.05	6.01 (4.36–9.69)	0.68 (0.26–0.89)
	85	0.38 ± 0.06	7.64 (5.54–12.3)	0.69 (0.27–0.89)
PUSH band	45	0.79 ± 0.07	5.02 (3.56–8.52)	0.69 (0.22–0.89)
	55	0.63 ± 0.07	7.84 (5.39–14.3)	0.46 (–0.27–0.81)
	65	0.46 ± 0.08	9.34 (6.77–15.0)	0.78 (0.45–0.92)
	75	0.31 ± 0.06	14.6 (10.0–26.6)	0.50 (–0.21–0.82)
	85	0.24 ± 0.06	19.1 (13.7–31.5)	0.47 (–0.09–0.80)
Beast sensor	45	0.82 ± 0.32	33.4 (23.5–58.9)	0.29 (–0.42–0.72)
	55	0.70 ± 0.27	24.2 (15.6–53.2)	0.64 (–0.28–0.89)
	65	0.51 ± 0.21	35.0 (22.6–77.1)	0.30 (–0.91–0.77)
	75	0.34 ± 0.16	40.2 (28.1–70.5)	0.31 (–0.40–0.73)
	85	0.23 ± 0.15	54.9 (38.9–93.2)	0.27 (–0.38–0.70)

*1RM = 1 repetition maximum; CV = coefficient of variation; 95% CI = 95% confidence interval; ICC = intraclass correlation coefficient.

Tabla 2: Fiabilidad de los valores medios de velocidad obtenidos con el método Trio-OptiTrack y 7 dispositivos comerciales a diferentes cargas durante el ejercicio de press de banca.

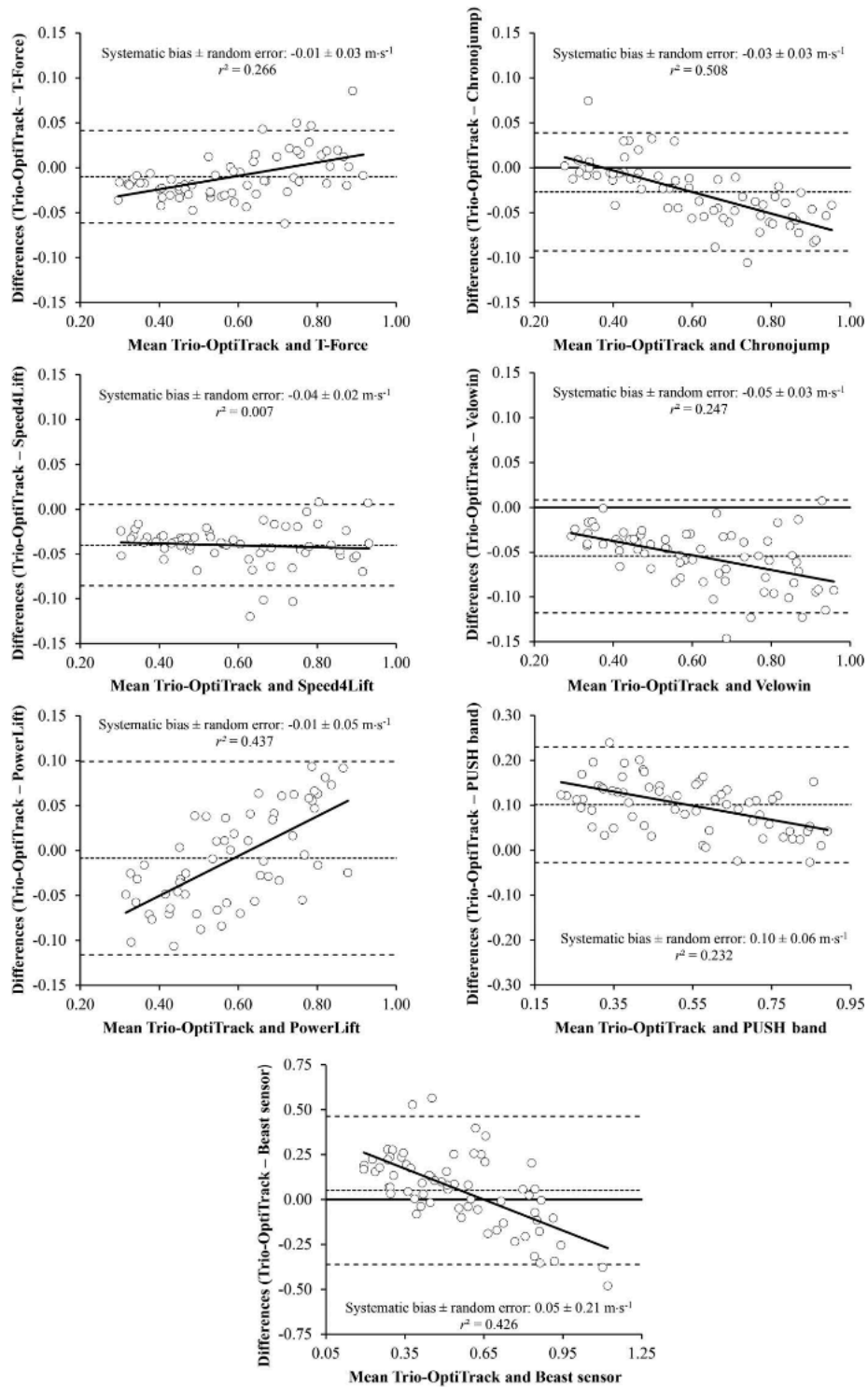


Figura 4. Gráficos de Bland-Altman para la medición de la velocidad media entre el sistema Trio-OptiTrack y los 7 dispositivos comerciales disponibles: T-Force (panel superior izquierdo), Chronojump (panel superior derecho), Speed4Lift (panel superior medio-izquierdo), Velowin (panel superior medio-derecho), PowerLift (panel inferior medio-izquierdo), banda PUSH (panel inferior medio-derecho) y sensor Beast (panel

inferior). Cada gráfico muestra la diferencia promedio y los límites de acuerdo del 95% (líneas discontinuas), junto con la línea de regresión (línea continua).

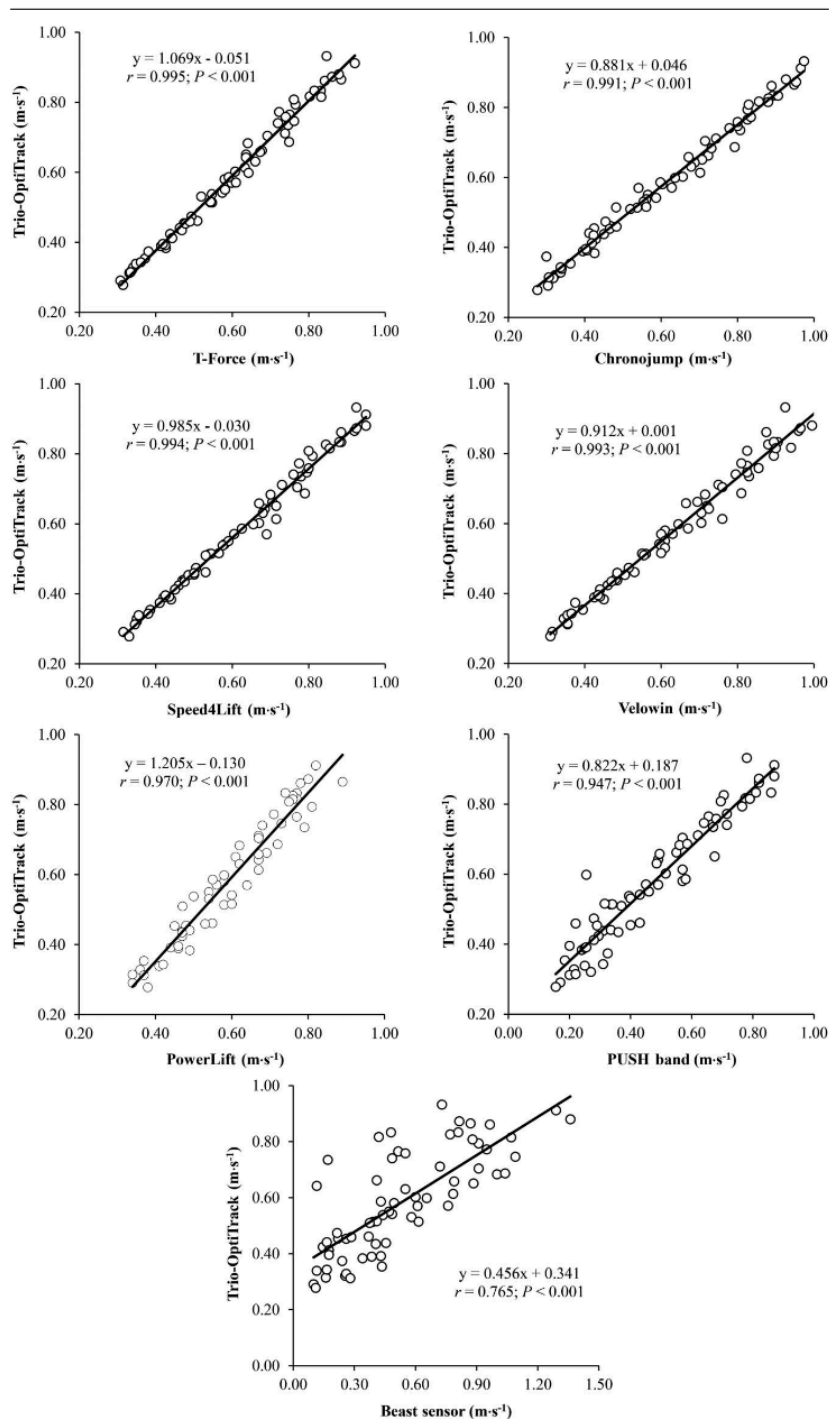


Figura 5. Relación de los valores de velocidad media entre el sistema Trio-OptiTrack y los 7 dispositivos comerciales disponibles: T-Force (panel superior izquierdo), Chronojump (panel superior derecho), Speed4Lift (panel superior medio-izquierdo), Velowin (panel superior medio-derecho), PowerLift (panel inferior medio-izquierdo),

banda PUSH (panel inferior medio-derecho) y sensor Beast (panel inferior). El coeficiente de correlación de Pearson (r) se calculó utilizando la transformación logarítmica debido a que se violó el supuesto de homocedasticidad.

ESTUDIO 2: Precision of 7 commercially available devices for predicting the bench press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship

Se observó una precisión aceptable y comparable en la estimación del 1RM para el T-Force, Chronojump, Speed4Lift, Velowin y PowerLift al usar tanto los métodos de múltiples puntos como el de 2 puntos ($ES \leq 0.40$; $r \geq 0.94$; $SEE \leq 4.46$ kg), mientras que la precisión de la banda PUSH ($ES = 0.70-0.83$; $r = 0.93-0.94$; $SEE = 4.45-4.80$ kg) y especialmente del sensor Beast ($ES = 0.36-0.84$; $r = 0.50-0.68$; $SEE = 9.44-11.2$ kg) fue menor (Tabla 3).

Method	Device	Estimated 1RM (mean \pm SD)	<i>p</i>	ES (95% CL)	<i>r</i> (95% CL)	SEE (95% CL)
Multiple-point	T-Force	89.3 \pm 12.4	0.001	0.35 (-1.19, 0.49)	0.97 (0.91, 0.99)	3.16 (2.30, 5.20)
	Chronojump	83.1 \pm 12.9	.0195	-0.13 (-0.71, 0.97)	0.95 (0.84, 0.98)	4.11 (3.00, 6.76)
	Speed4Lift	88.7 \pm 12.6	0.002	0.30 (-1.14, 0.54)	0.97 (0.91, 0.99)	3.02 (2.21, 4.98)
	Velowin	87.2 \pm 13.5	0.045	0.18 (-1.02, 0.66)	0.97 (0.91, 0.99)	3.15 (2.30, 5.18)
	PUSH band	74.4 \pm 12.0	< 0.001	-0.83 (-0.04, 1.70)	0.94 (0.82, 0.98)	4.45 (3.25, 7.32)
	Beast sensor	73.4 \pm 14.0	0.005	-0.84 (-0.04, 1.71)	0.68 (0.24, 0.89)	9.44 (6.89, 15.5)
	PowerLift	89.8 \pm 13.4	0.005	0.37 (-1.22, 0.47)	0.94 (0.82, 0.98)	4.46 (3.25, 7.33)
2-point	T-Force	89.4 \pm 13.1	0.001	0.35 (-1.19, 0.49)	0.97 (0.91, 0.99)	3.12 (2.27, 5.13)
	Chronojump	83.8 \pm 13.2	0.372	-0.08 (-0.76, 0.91)	0.96 (0.87, 0.99)	3.68 (2.68, 6.05)
	Speed4Lift	88.9 \pm 12.8	0.001	0.31 (-1.15, 0.53)	0.97 (0.91, 0.99)	3.13 (2.28, 5.15)
	Velowin	88.1 \pm 13.6	0.013	0.24 (-1.08, 0.59)	0.97 (0.90, 0.99)	3.27 (2.39, 5.38)
	PUSH band	76.2 \pm 11.3	< 0.001	-0.70 (-0.16, 1.57)	0.93 (0.79, 0.98)	4.80 (3.50, 7.90)
	Beast sensor	90.0 \pm 15.6	0.258	0.36 (-1.20, 0.49)	0.50 (-0.03, 0.81)	11.2 (8.15, 18.4)
	PowerLift	90.1 \pm 13.3	0.002	0.40 (-1.24, 0.45)	0.95 (0.84, 0.98)	4.13 (3.02, 6.80)

p, *p*-value; ES, Hedge's *g* effect size; *r*, Pearson's correlation coefficient; SEE, standard error of the estimate; SD, standard deviation; 95% CL, 95% confidence limit. The actual 1RM value was 83.8 \pm 12.3 kg.

Tabla 3: Comparación del 1RM real en el press de banca vs. el 1RM estimado utilizando 7 dispositivos comerciales diferentes mediante los métodos de múltiples puntos y de 2 puntos.

Las diferencias absolutas entre el 1RM real y el predicho revelaron un efecto principal significativo para el dispositivo ($F_{2,21.9} = 15.3$, $p < 0.001$), pero no para el método ($F_{1,10} = 0.28$, $p = 0.609$) ni para su interacción ($F_{2,22.2} = 2.84$, $p = 0.075$). Las diferencias absolutas fueron mayores para el sensor Beast y la banda PUSH en comparación con los otros dispositivos (Figura 6).

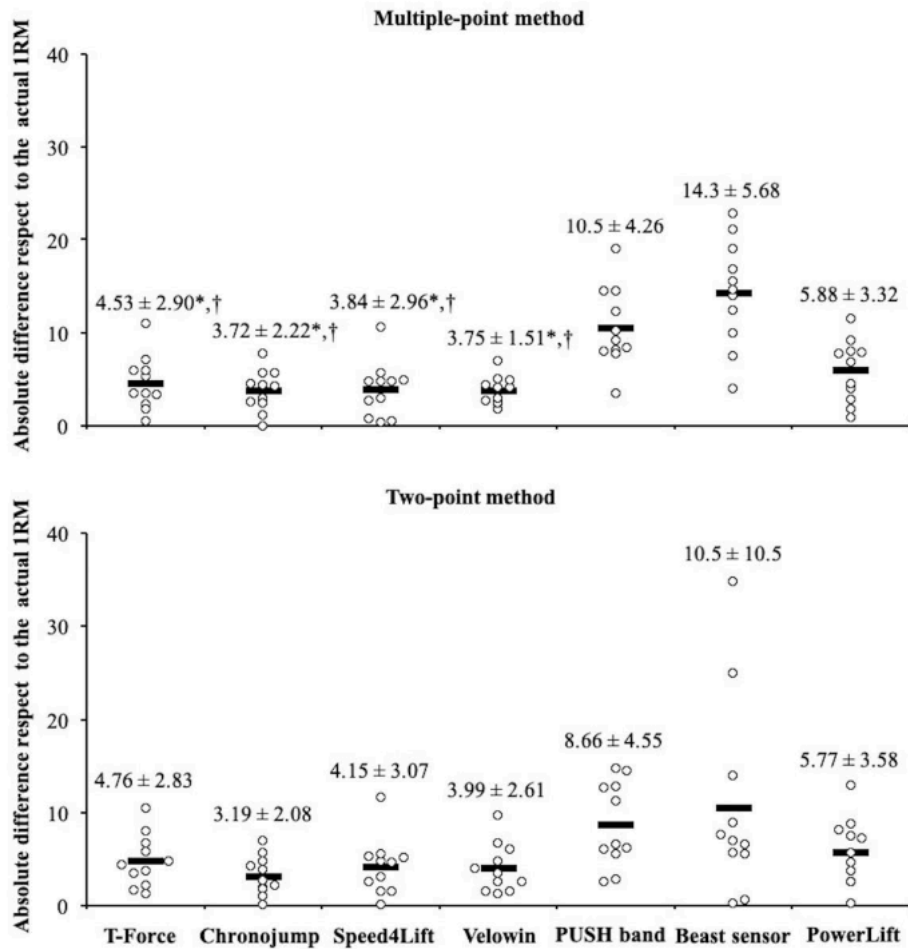


Figura 6. Comparación de las diferencias absolutas entre el 1RM real y el 1RM estimado mediante 7 dispositivos comerciales diferentes utilizando los métodos de múltiples puntos (panel superior) y de 2 puntos (panel inferior). Se indican las medias \pm desviaciones estándar. *, diferencias significativas respecto a la banda PUSH; †, diferencias significativas respecto al sensor Beast ($p < 0.05$ con corrección de Bonferroni).

(2) Retracción escapular en el press de banca

ESTUDIO 3: Differences in various strength manifestations between the flat and retracted bench press variants: are they affected by participants' experience or strength levels?

La única variable dependiente que mostró diferencias significativas entre el press de banca plano y el retraído fue el desplazamiento ascendente de la barra, que fue menor para las 3 cargas submáximas (40, 60 y 80%1RM) utilizando el press de banca retraído (Figuras 7 y 8).

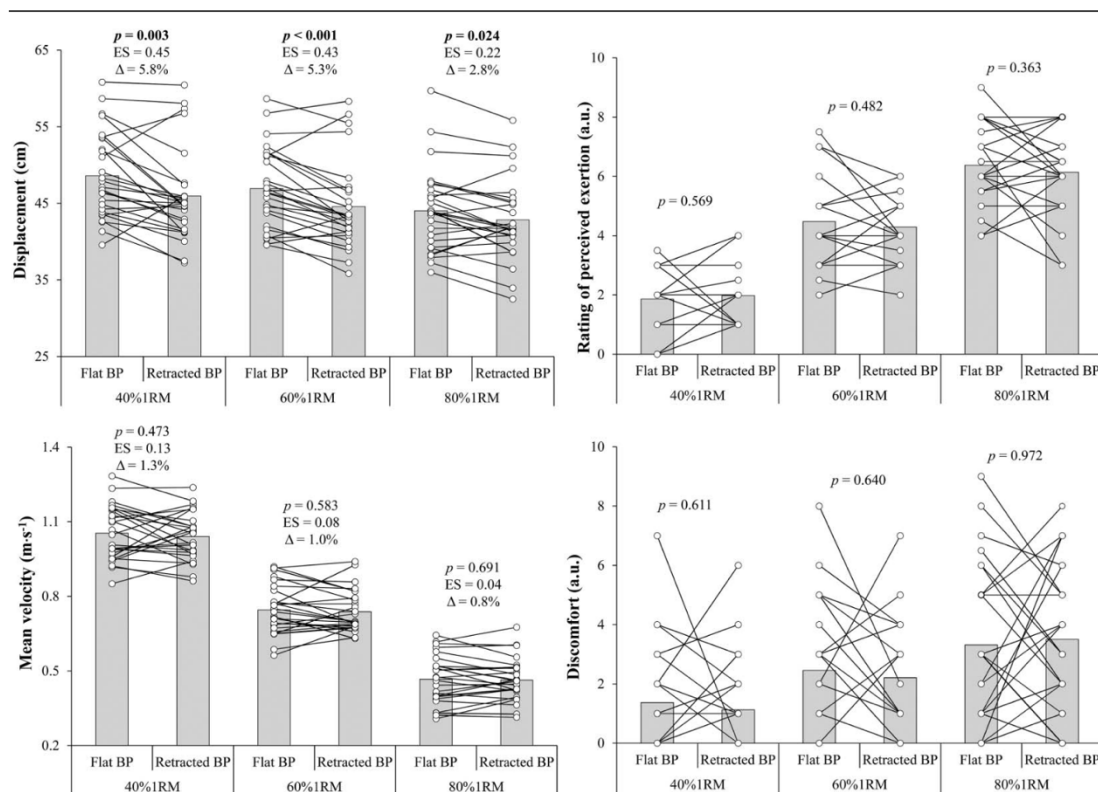


Figura 7. Comparación del desplazamiento (panel superior izquierdo), velocidad media (panel inferior izquierdo), valoración del esfuerzo percibido (panel superior derecho) e incomodidad (panel inferior derecho) entre el press de banca plano y el retraído al 40, 60 y 80% del máximo de una repetición (1RM). ES = tamaño del efecto ($[\text{BP plano} - \text{BP retraído}] / \text{DE de ambos}$); D = diferencias porcentuales ($\% = [\text{BP plano} - \text{BP retraído}] / \text{BP retraído} \times 100$).

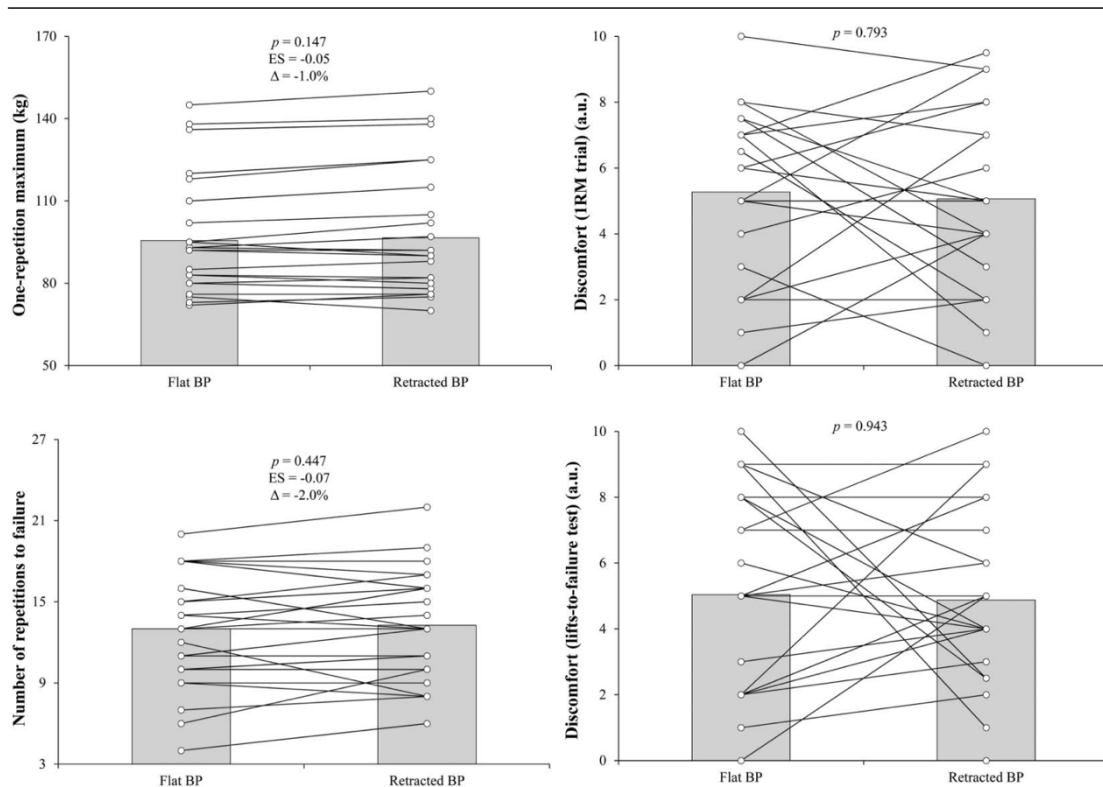


Figura 8. Comparación de una repetición máxima (1RM) (panel superior izquierdo), número de repeticiones realizadas hasta el fallo al 70% del 1RM (panel inferior izquierdo), malestar durante la prueba de 1RM (panel superior derecho) y malestar después de la prueba de levantamientos hasta el fallo (panel inferior derecho) entre el press de banca plano y el retraído. ES = tamaño del efecto ($[(BP \text{ plano} - BP \text{ retraído})/DE \text{ de ambos}]$); D = diferencias porcentuales ($\% = [(BP \text{ plano} - BP \text{ retraído})/BP \text{ retraído}] \times 100$).

En cuanto a los análisis de subgrupos basados en la variante de press de banca comúnmente utilizada en el entrenamiento, la prueba de Kruskal-Wallis reveló diferencias significativas entre los grupos para el 1RM ($p = 0.039$), pero no para la velocidad media (MV) al 40% RM ($p = 0.117$), MV al 60%1RM ($p = 0.060$), MV al 80%1RM ($p = 0.939$), ni para el número de repeticiones realizadas hasta el fallo ($p = 0.255$) (Figura 9). Aunque se reconocen diferencias significativas solo para el 1RM, es notable que la diferencia promedio para las 5 variables siempre favoreció al press de banca retraído en el grupo que reportó usar siempre el press de banca retraído en sus programas de entrenamiento, mientras que la diferencia promedio siempre favoreció al press de banca plano en los grupos que reportaron nunca o raramente usar el press de

banca retraído en sus programas de entrenamiento. Finalmente, el otro análisis de subgrupos mostró que las diferencias entre el press de banca plano y el retraído no se vieron afectadas por los valores de fuerza máxima de los sujetos para ninguna variable dependiente ($p \geq 0.162$) (Figura 10).

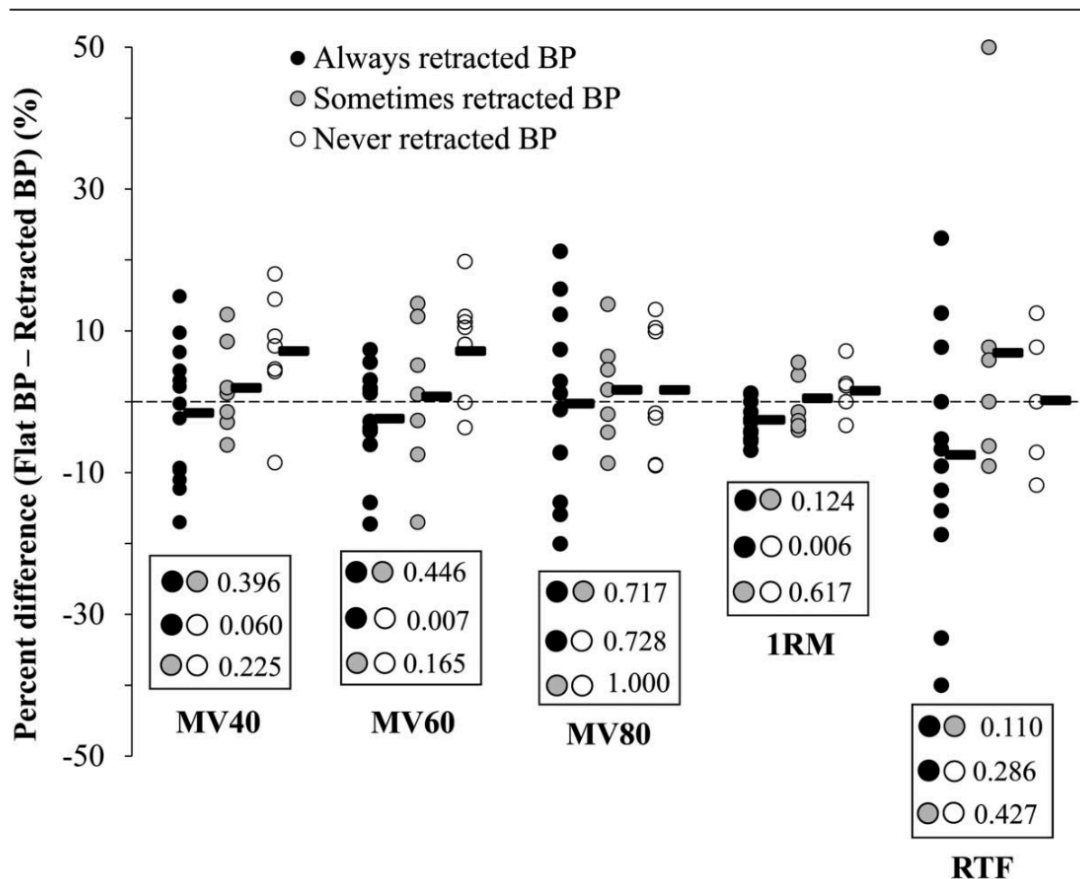


Figura 9. Diferencias en el rendimiento entre el press de banca (BP) plano y retraído para los grupos que reportaron usar siempre el BP retraído (puntos negros), usar a veces el BP retraído (puntos grises) y nunca usar el BP retraído (puntos blancos) en sus programas de entrenamiento. Los puntos representan las diferencias individuales y las líneas, la diferencia promedio entre los sujetos. Los números representan los valores p obtenidos de las pruebas t para muestras no emparejadas. MV = velocidad media; 1RM = máximo de una repetición; RTF = número de repeticiones realizadas hasta el fallo.

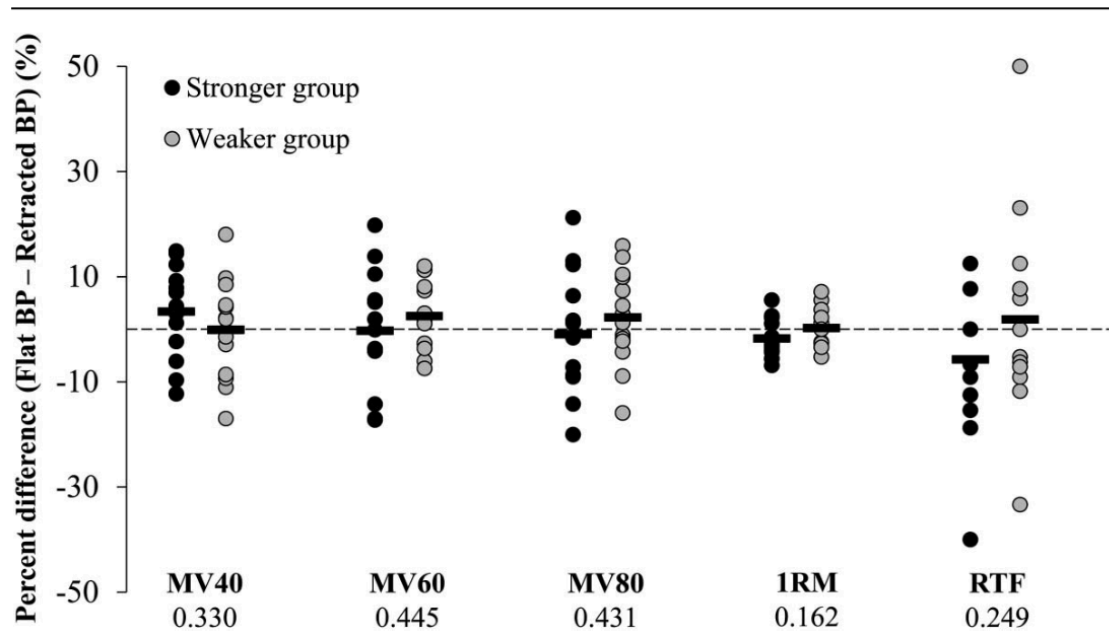


Figura 10. Diferencias en el rendimiento entre el press de banca (BP) plano y retraído para los grupos más fuertes (1RM relativo a la masa corporal = 1.43 ± 0.15 ; puntos negros) y más débiles (1RM relativo a la masa corporal = 1.05 ± 0.07 ; puntos blancos). Los puntos representan las diferencias individuales, y las líneas representan la diferencia promedio entre los sujetos. Los números representan los valores de p obtenidos de las pruebas t para muestras no emparejadas. MV = velocidad media; 1RM = máximo de una repetición; RTF = número de repeticiones realizadas hasta el fallo.

Discusión

El entrenamiento basado en la velocidad es a día de hoy una realidad y para ello es necesario utilizar dispositivos de medición de la velocidad de movimiento válidos, fiables y precisos que nos permitan conocer los efectos de la selección de ejercicios sobre la fuerza muscular.

Esta tesis doctoral proporciona algunos hallazgos novedosos empleando dispositivos de medición actualmente presente en el mercado para medir las variables mecánicas y perceptivas de dos variantes de press de banca.

En primer lugar, investigamos la fiabilidad y validez de 7 dispositivos para medir la velocidad de movimiento durante el ejercicio de press de banca. **(Estudio 1)**

A continuación, comparamos la precisión de los diferentes dispositivos para predecir la repetición máxima de press de banca (1RM) a partir de la relación de carga-velocidad individual. **(Estudio 2)**

Por último, exploramos las diferencias mecánicas y perceptivas entre 2 modalidades distintas de press de banca (con y sin retracción escapular). **(Estudio 3)**

A continuación, se presentan las discusiones de cada uno de los estudios publicados:

Discusión estudio 1: Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press

Este estudio comparó la fiabilidad y validez concurrente de 7 dispositivos comerciales para la medición de la velocidad del movimiento durante el ejercicio de press de banca realizado en una máquina Smith. Los diferentes dispositivos fueron clasificados de más a menos confiables de la siguiente manera: (a) Speed4Lift; (b) Velowin, PowerLift, T-Force y Chronojump; (c) banda PUSH; y (d) sensor Beast. La validez concurrente del T-Force, Chronojump, Speed4Lift, Velowin y PowerLift con respecto al sistema Trio-OptiTrack fue prácticamente perfecta. Las 2 IMUs, especialmente el sensor Beast, mostraron la menor validez concurrente (es decir, coeficientes r más bajos y mayores errores aleatorios) en comparación con el sistema Trio-OptiTrack. El Speed4Lift fue el único dispositivo que no informó de errores de heterocedasticidad. Los resultados de este

estudio favorecen al Speed4Lift como el dispositivo más confiable y válido para la medición de la velocidad del movimiento durante el ejercicio de press de banca realizado en una máquina Smith. En conjunto, los resultados de este estudio sugieren que todos los dispositivos, con la excepción de las IMUs (especialmente el sensor Beast), podrían utilizarse para obtener mediciones precisas de velocidad para movimientos lineales restringidos. Sin embargo, los profesionales de la fuerza y acondicionamiento deben ser conscientes de la presencia de heterocedasticidad entre estos dispositivos, lo que podría limitar el uso intercambiable de diferentes dispositivos.

Los transductores lineales de posición/velocidad se han utilizado rutinariamente para propósitos de entrenamiento y evaluación (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; González-Badillo et al., 2014; Pareja-Blanco et al., 2017). Estos dispositivos han sido considerados el "gold standard" para medir la velocidad de la barra en muchos estudios. Específicamente, el transductor de velocidad lineal utilizado en este estudio (T-Force) se ha utilizado con frecuencia para validar otros dispositivos diseñados para medir la velocidad del movimiento. El uso preferencial de transductores lineales de velocidad en comparación con los transductores lineales de posición podría justificarse porque se espera que la medición directa de la velocidad del movimiento proporcione salidas de velocidad más precisas. Sin embargo, existe poca información sobre la comparación de la fiabilidad de las salidas de velocidad entre los transductores lineales de velocidad y los transductores lineales de posición. Contrario a nuestra hipótesis, el transductor de velocidad lineal (es decir, T-Force) no fue más confiable que los 2 transductores de posición lineal utilizados en este estudio (es decir, Chronojump y Speed4Lift). Además, hasta donde nosotros sabemos, este es el primer artículo científico que ha proporcionado datos sobre la validez del Chronojump y Speed4Lift. Cabe destacar que el Speed4Lift fue el dispositivo más confiable y el único dispositivo que no informó heterocedasticidad de errores con respecto al sistema Trio-OptiTrack. Estos resultados, junto con su precio más bajo (unos 340 dólares estadounidenses) y excelente portabilidad (el software está instalado en una aplicación para teléfonos inteligentes que está conectada de forma inalámbrica con el hardware), sitúan al Speed4Lift como un dispositivo preciso, económico y práctico para la medición de la velocidad del movimiento. Vale la pena señalar que la heterocedasticidad de errores observada para los otros dispositivos compromete su intercambiabilidad. El T-Force y PowerLift mostraron valores progresivamente mayores que el Trio-OptiTrack con velocidades crecientes, mientras que

se observaron resultados opuestos para el Chronojump, Velowin, banda PUSH y sensor Beast.

El Velowin ha sido desarrollado recientemente como un dispositivo más asequible y práctico para medir la velocidad del movimiento durante los ejercicios de entrenamiento de resistencia. Sin embargo, hasta la fecha, solo 2 estudios han examinado su fiabilidad y validez concurrente para medir la velocidad del movimiento. García-Ramos, Pérez-Castilla, et al. (2018) encontraron una fiabilidad comparable ($CV = 4.29-4.60\%$) y alta validez ($r = 0.97-0.98$) entre los sistemas T-Force y Velowin durante el ejercicio de sentadilla con barra libre. Laza-Cagigas et al. (2019) también observaron una alta validez (coeficiente de correlación concordante = 0.96) y fiabilidad ($CV = 7.3\%$ e $ICC = 0.97$) del sistema Velowin para medir la velocidad media durante el ejercicio de sentadilla con barra libre con respecto a un sistema 3D. De acuerdo con estos hallazgos, nuestros resultados mostraron una fiabilidad y validez alta y comparable del sistema Velowin en comparación con los datos proporcionados por los transductores lineales de posición/velocidad durante el ejercicio de press de banca realizado en una máquina Smith. Más recientemente, una aplicación para teléfonos inteligentes asequible (unos 11 dólares estadounidenses) llamada PowerLift ha sido lanzada comercialmente para medir la velocidad del movimiento. Los resultados de este estudio corroboran los hallazgos de Balsalobre-Fernández et al. (2017) quienes mostraron una fiabilidad comparable ($ICC = 0.93-0.99$) y alta validez ($r = 0.94-0.98$) de PowerLift con respecto a los datos proporcionados por un transductor lineal de posición (SmartCoach Europe, Estocolmo, Suecia) durante ejercicios con peso libre (Balsalobre-Fernández et al., 2017, 2018). Aunque se debe reconocer que es posible obtener mediciones precisas de la velocidad media con PowerLift, la necesidad de seleccionar individualmente los puntos de inicio y fin de cada repetición puede ser poco práctica cuando se necesite evaluar a muchos atletas. Además, la falta de retroalimentación de velocidad en tiempo real también debe considerarse una limitación en comparación con los otros dispositivos analizados en este estudio (Weakley et al., 2019).

Las tecnologías portátiles como la banda PUSH y el sensor Beast están siendo cada vez más utilizadas en el campo de la fuerza y acondicionamiento. Estas 2 IMUs han sido validadas recientemente para medir la velocidad del movimiento durante una variedad de

ejercicios de entrenamiento de resistencia (Balsalobre-Fernández et al., 2016, 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; Sato et al., 2015). En línea con nuestros resultados, la banda PUSH proporcionó mediciones altamente válidas de la velocidad media cuando se combinaron los datos de varias cargas para el análisis durante el press de banca realizado en una máquina Smith y durante los ejercicios de press de hombros y curl de bíceps/brazos con peso libre ($r > 0.86$) (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Sato et al., 2015). Sin embargo, la validez de la banda PUSH parece verse comprometida cuando se analizan los datos de cargas individuales por separado (especialmente para cargas $\geq 80\%$ de 1RM) (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017). Por lo tanto, el dispositivo PUSH debe ser considerado con cierta precaución dados los resultados controvertidos y la menor fiabilidad informada en este estudio.

Con respecto al sensor Beast, hasta donde sabemos, solo 1 estudio ha investigado la fiabilidad y validez de este dispositivo con respecto a los datos proporcionados por un transductor lineal de posición (SmartCoach Europe), informando tanto una fiabilidad muy alta ($ICC > 0.95$) como una validez muy alta ($r > 0.98$) durante los ejercicios de press de banca, sentadilla completa y empuje de cadera (Balsalobre-Fernández et al., 2017). Por el contrario, nuestros resultados sugieren que el sensor Beast es el dispositivo menos confiable y válido entre todos los dispositivos comerciales disponibles analizados en este estudio. Es plausible que las frecuencias de muestreo más bajas de las IMUs o la necesidad de integrar datos de aceleración-tiempo para obtener valores de velocidad hayan causado su menor fiabilidad (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; Orange et al., 2019). Por lo tanto, se necesita más evidencia sobre la viabilidad de la tecnología portátil en el campo del entrenamiento de resistencia basado en la velocidad.

Discusión estudio 2: Precision of 7 commercially available devices for predicting the bench press 1-repetition maximum from the individual load-velocity relationship

En el mercado existen diferentes dispositivos disponibles para monitorear la velocidad del movimiento en tiempo real durante los ejercicios de entrenamiento de resistencia (Balsalobre-Fernández et al., 2017; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017). Dado que la manipulación sucesiva de los datos brutos puede magnificar el error de medición de la velocidad media (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; Orange et al., 2019), se planteó la hipótesis de que los transductores lineales de posición y velocidad proporcionarían una predicción más precisa del 1RM. Esta hipótesis se confirmó en lo que respecta a las dos

unidades de medida inercial (la banda PUSH y especialmente el sensor Beast), pero no se observaron diferencias significativas en comparación con el dispositivo optoelectrónico basado en cámara (Velowin) y la aplicación para teléfonos inteligentes (PowerLift). El Velowin fue igualmente preciso en comparación con los transductores lineales de posición y velocidad, mientras que Powerlift presentó un error absoluto mayor de solo ≈ 1.5 kg. Por el contrario, la banda PUSH subestimó significativamente el 1RM y presentó errores absolutos mayores en comparación con los otros dispositivos (excepto por el sensor Beast), mientras que el sensor Beast proporcionó la estimación menos precisa del 1RM. Estudios previos que exploraron la validez de los dispositivos inalámbricos portátiles examinados en el presente estudio para monitorear la velocidad del movimiento bajo cargas individuales han revelado una alta validez para Velowin (rango de r : 0.97 a 0.98)(García-Ramos, Pérez-Castilla, et al., 2018), Powerlift (rango de r : 0.94 a 0.98)(Balsalobre-Fernández et al., 2017, 2018) y sensor Beast (rango de r : 0.94 a 0.98) (Balsalobre-Fernández et al., 2017), mientras que se han reportado resultados conflictivos para la banda PUSH (rango de r : 0.30-0.85) (Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; Orange et al., 2019) . Los resultados del presente estudio sugieren que la precisión de las unidades de medida inercial aún no es lo suficientemente buena como para proporcionar una estimación precisa del 1RM a través de la relación carga-velocidad individual. El método de 2 puntos ha sido propuesto recientemente como un procedimiento rápido y sin fatiga para evaluar el 1RM (Garcia-Ramos & Jaric, 2018). García-Ramos, Haff, Pestaña-Melero, et al. (2018) reportaron una alta fiabilidad (coeficiente de variación $\leq 5.11\%$) y correlaciones prácticamente perfectas ($r \geq 0.94$) para el 1RM estimado mediante el método de 2 puntos en el ejercicio de press de banca. Sin embargo, este es el primer estudio que ha comparado explícitamente la precisión en la estimación del 1RM entre el método de 2 puntos y el método de múltiples puntos más comúnmente utilizado. Nuestros hallazgos revelaron una precisión comparable en la estimación del 1RM entre ambos métodos.

[Discusión estudio 3: Differences in various strength manifestations between the flat and retracted bench press variants: are they affected by participants' experience or strength levels?](#)

Este estudio fue diseñado para comparar varias manifestaciones de fuerza y variables perceptuales entre la variante de press de banca (BP) plana y retraída. El hallazgo

principal reveló que, a pesar de que el desplazamiento hacia arriba de la barra fue menor para la BP retraída en comparación con la BP plana, el rendimiento de fuerza explosiva (velocidad media alcanzada contra el 40, 60 y 80% del 1RM), el rendimiento de fuerza máxima (1RM) y el rendimiento de resistencia muscular (número de repeticiones hasta el fallo) fueron comparables para ambas variantes de BP. Del mismo modo, las medidas perceptuales de esfuerzo e incomodidad no difirieron entre las variantes de BP en ninguno de los tests mencionados anteriormente. Sin embargo, es destacable que las diferencias en el rendimiento de fuerza entre la BP plana y la retraída tendieron a ser afectadas por la experiencia de los sujetos con las variantes de BP, pero no por sus niveles máximos de fuerza. Es decir, aunque reconociendo que las diferencias significativas solo se alcanzaron para la fuerza de la 1RM, los sujetos que usaban comúnmente la BP retraída en sus programas de entrenamiento siempre mostraron un mayor rendimiento con esta variante de BP, mientras que los sujetos que usaban la BP plana en sus programas de entrenamiento siempre mostraron un mayor rendimiento con la variante de BP plana. Estos resultados sugieren generalmente un efecto menor de la variante de BP en diferentes variables de fuerza y perceptivas.

La retracción de las escapulas fue efectiva para reducir el desplazamiento hacia arriba de la barra al levantar una variedad de cargas submáximas (40–80% del 1RM). La reducción en el desplazamiento de la barra fue mayor que la reportada por García-Ramos et al. (2021c) durante el ejercicio de BP en máquina Smith cuando se les pidió a los powerlifters que arquearan la espalda durante la ejecución de la BP en comparación con la BP plana. Es plausible que el uso de una máquina Smith en el estudio de García-Ramos et al. (2021c) podría haber limitado la posibilidad de disminuir el rango de movimiento. Además, en línea con nuestro estudio, García-Ramos et al. (2021c) también no lograron mostrar diferencias significativas entre la BP plana y arqueada en los resultados de velocidad en una variedad de cargas submáximas. Por lo tanto, la evidencia disponible sugiere que independientemente de si la BP se realiza con pesos libres o en una máquina Smith, arquear la espalda o simplemente retraer las escapulas no parecen afectar el rendimiento mecánico (es decir, la velocidad de levantamiento) o las medidas perceptuales de esfuerzo y malestar cuando se levantan cargas submáximas.

El menor desplazamiento reportado para la BP retraída podría afectar positivamente la capacidad de producción de fuerza del músculo pectoral mayor durante la fase final del

movimiento porque este músculo estaría menos acortado (es decir, relación longitud-tensión mejorada). Como consecuencia de la capacidad potencialmente mayor de producir fuerza, se esperaría un mayor 1RM para la BP retraída que para la BP plana. Además, el menor trabajo mecánico esperado como resultado del menor desplazamiento de la barra podría permitir a los sujetos realizar más repeticiones antes de llegar al fallo muscular. Sin embargo, en este estudio, el 1RM y el número de repeticiones completadas hasta el fallo no difirieron entre las variantes de BP plana y retraída. En este sentido, es importante señalar que, durante el ejercicio de BP, el "punto de estancamiento" (es decir, la parte del levantamiento en la que se experimenta un aumento desproporcionadamente grande en la dificultad para continuar el levantamiento) se observa típicamente al principio de la fase de levantamiento. Por lo tanto, la capacidad aumentada del pectoral mayor para aplicar fuerza sería inútil bajo condiciones de carga pesada cuando los sujetos no pueden superar el punto de estancamiento inicial. Aunque fijar las escapulas durante el ejercicio de BP es una recomendación común (N. Ratamess, 2011), en este estudio, la percepción de incomodidad informada inmediatamente después de completar la prueba de 1RM y el conjunto de repeticiones hasta el fallo no difirió entre las variantes de BP. Por lo tanto, aunque reconociendo la necesidad de comparar los efectos a largo plazo sobre el rendimiento de fuerza y los índices de lesiones o malestar entre las variantes de BP, según los resultados de este estudio, podemos concluir que la variante de BP retraída presenta efectos agudos triviales sobre el rendimiento de fuerza (1RM y el número de repeticiones completadas hasta el fallo) y sobre la incomodidad y esfuerzo experimentados durante estas tareas. Se realizó un análisis más detallado examinando si las diferencias entre la BP plana y retraída en varias manifestaciones de fuerza podrían verse afectadas por la experiencia de los sujetos con las variantes de BP o por sus niveles máximos de fuerza. Apoyando el principio de especificidad del entrenamiento (Kasper, 2019a), los sujetos siempre demostraron un mayor rendimiento de fuerza con la variante de BP más utilizada en sus programas de entrenamiento. Por lo tanto, desde una perspectiva de rendimiento agudo, se debería permitir a los sujetos usar la técnica de BP con la que están más familiarizados. Por el contrario, se ha demostrado que los valores máximos de fuerza influyen en algunas variables relacionadas con el entrenamiento, como el aumento del rendimiento postactivación (Seitz et al., 2013). Sin embargo, basándonos en los resultados de este estudio, parece evidente que los valores máximos de fuerza de los sujetos no influyen en las diferencias en el rendimiento mecánico entre la BP plana y retraída

Conclusiones

En general los resultados de esta tesis sugieren que los transductores de posición/velocidad lineal, los sistemas optoelectrónicos basados en cámaras y la aplicación de *smartphone* podrían usarse para obtener mediciones de velocidad precisas para movimientos lineales restringidos, mientras que las IMU utilizadas en este estudio fueron menos fiables y válidas. **(Estudio 1)**

Además destacamos que la precisión de los métodos de predicción de 1RM basados en la velocidad de movimiento depende del dispositivo y que las unidades de medición inercial (IMU) proporcionan la estimación menos precisa de 1RM. **(Estudio 2)**

También, observamos que la única variable dependiente que reveló diferencias significativas entre el BP plano y retraído fue el desplazamiento de la barra, que fue menor para el BP retraído para las cargas submáximas levantadas (40%1RM, 60%1RM y 80%1RM) y como la experiencia de los sujetos en una de las dos variantes de PB parece afectar al rendimiento en las mismas.

En conjunto, los datos obtenidos en el desarrollo de esta tesis doctoral nos sugieren que la retracción de las escápulas durante el ejercicio de BP presenta efectos menores sobre diferentes manifestaciones de fuerza y medidas perceptivas de esfuerzo e incomodidad. **(Estudio 3)**

Limitaciones y futuras líneas de investigación

(1) Fiabilidad y validez de dispositivos de evaluación de la velocidad

Se deben considerar varias limitaciones y direcciones para futuras investigaciones. Primero, debe tenerse en cuenta que la velocidad media no es la única variable de velocidad utilizada en la práctica. La velocidad media propulsiva (es decir, la velocidad media desde el inicio de la fase concéntrica hasta que la aceleración de la barra es menor que la gravedad) y la velocidad máxima (es decir, el valor máximo de velocidad instantánea alcanzado durante la fase concéntrica) se han recomendado comúnmente para el entrenamiento y las pruebas evaluativas (García-Ramos, Haff, Padial, et al., 2018; Sanchez-Medina et al., 2010). Por lo tanto, futuros estudios deberían considerar expandir el análisis de la fiabilidad y validez de los diferentes dispositivos a estas variables. Debe notarse que la velocidad media fue la única variable analizada en este estudio porque era la única variable común para los 8 dispositivos analizados. Segundo, la banda PUSH se colocó en el antebrazo del sujeto, mientras que los otros dispositivos se unieron a la barra. Por lo tanto, aunque la medición de la banda PUSH podría verse afectada por los movimientos anteroposteriores, el desplazamiento de los otros dispositivos se restringió a la dirección vertical. Otro factor que podría haber promovido la menor fiabilidad y validez de las IMU es su menor frecuencia de muestreo. En este sentido, es plausible que la fiabilidad y validez de la banda PUSH puedan mejorar con la versión 2.0 actual, que tiene una frecuencia de muestreo más alta (1,000 Hz) y se puede unir directamente a la barra. Los futuros estudios deberían examinar si nuestros hallazgos podrían aplicarse a ejercicios con pesas libres en los que el desplazamiento de la barra no esté restringido a la dirección vertical. Finalmente, dado que una de las principales aplicaciones del uso de la velocidad durante el entrenamiento de resistencia es la predicción del 1RM (García-Ramos, Pestana-Melero, et al., 2018; Muñoz-López et al., 2017; Pérez-Castilla, García-Ramos, et al., 2020), los futuros estudios deberían examinar la precisión de los diferentes dispositivos comercialmente disponibles para predecir el 1RM durante los ejercicios básicos de entrenamiento de resistencia.

(2) Retracción escapular en el press de banca

Se deben considerar varias limitaciones y direcciones para futuras investigaciones. Primero, ninguno de los sujetos reclutados para este estudio eran powerlifters competitivos. Es posible que nuestros hallazgos podrían diferir en levantadores más

experimentados, especialmente considerando que los sujetos que reportaron usar el press de banca (BP) retraído en sus programas de entrenamiento consistentemente mostraron un mayor rendimiento con esta variante de BP. Segundo, el grado de retracción escapular no se midió directamente en este estudio, sino que se estimó a partir del desplazamiento de la barra. Cabe señalar que el propio ejercicio hace imposible la medición directa de la cinemática escapular, por lo que no pudimos corroborar si los sujetos realmente realizaron una retracción adecuada de las escápulas durante toda la fase de levantamiento. Por lo tanto, sería de interés explorar los efectos de la retracción escapular en otros ejercicios de empuje donde la cinemática escapular pueda ser medida directamente. Finalmente, se debe tener en cuenta que los hallazgos de este estudio están restringidos a los efectos agudos, siendo necesario que futuros estudios comparen los efectos a largo plazo del entrenamiento con las variantes de BP plano y retraído en el rendimiento de fuerza y en los índices de lesiones o molestias. Se ha demostrado que realizar el BP con un rango completo de movimiento produce mayores adaptaciones neuromusculares a largo plazo que las ejecuciones parciales (Martínez-Cava et al., 2022a). Por lo tanto, dado el rendimiento mecánico comparable de ambas variantes de BP observado en este estudio, el BP plano podría ser recomendado desde una perspectiva de rendimiento en levantadores recreativamente entrenados.

Referencias

- American College of Sports Medicine. (2009). Progression Models in Resistance Training for Healthy Adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>
- Balsalobre-Fernández, C., Kuzdub, M., Poveda-Ortiz, P., & Campo-Vecino, J. Del. (2016). Validity and Reliability of the PUSH Wearable Device to Measure Movement Velocity During the Back Squat Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1968–1974. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001284>
- Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., Baz-Valle, E., Alonso-Molero, I., Jiménez, S. L., & Muñoz-López, M. (2017). Analysis of Wearable and Smartphone-Based Technologies for the Measurement of Barbell Velocity in Different Resistance Training Exercises. *Frontiers in Physiology*, 8(AUG). <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2017.00649>
- Balsalobre-Fernández, C., Marchante, D., Muñoz-López, M., & Jiménez, S. L. (2018). Validity and reliability of a novel iPhone app for the measurement of barbell velocity and 1RM on the bench-press exercise. *Journal of Sports Sciences*, 36(1), 64–70. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1280610>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., & Haff, G. G. (2017). Reliability and Validity of the Load-Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(7), 1897–1904. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001657>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., Sato, K., & Haff, G. G. (2017). Validity of Various Methods for Determining Velocity, Force, and Power in the Back Squat. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1170–1176. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2016-0627>
- Barnett, C., Kippers, V., & Turner, P. (1995). Effects of variations of the bench press exercise on the EMG activity of five shoulder muscles. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 9(4), 222–227. <https://doi.org/10.1519/00124278-199511000-00003>
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005a). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme

- variables. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 35(10), 841–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00002>
- Bird, S. P., Tarpenning, K. M., & Marino, F. E. (2005b). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: A review of the acute programme variables. *Sports Medicine*, 35(10), 841–851. <https://doi.org/10.2165/00007256-200535100-00002>
- Braith, R. W., Graves, J. E., Leggett, S. H., & Pollock, M. L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25(1), 132–138. <https://doi.org/10.1249/00005768-199301000-00018>
- Clemons, J. M., & Aaron, C. (1997). Effect of grip width on the myoelectric activity of the prime movers in the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 11(2), 82–87.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences second edition*. Lawrence 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. *Journal of Sports Sciences*, 34(12), 1099–1106. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1090010>
- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGulgan, M. R., & Doyle, T. L. A. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 131–144. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.131>
- Cudlip, A. C., Maciukiewicz, J. M., Pinto, B. L., & Dickerson, C. R. (2022). Upper extremity muscle activity and joint loading changes between the standard and powerlifting bench press techniques. *Journal of Sports Sciences*, 40(9), 1055–1063. <https://doi.org/10.1080/02640414.2022.2046937>
- Elliott, B., Wilson, G., & Kerr, G. K. (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 21(4), 450–462. <https://doi.org/10.1249/00005768-198908000-00018>
- Enoka, R. M. (1988). Muscle strength and its development: new perspectives. *Sports Medicine*, 6(3), 146–168. <https://doi.org/10.2165/00007256-198806030-00003>
- García-Ramos, A., Haff, G. G., Padial, P., & Ferlic, B. (2018). Reliability of power and velocity variables collected during the traditional and ballistic bench press exercise.

- Sports Biomechanics*, 17(1), 117–130.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1260767>
- García-Ramos, A., Haff, G. G., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., Balsalobre-Fernández, C., & Jaric, S. (2018). Feasibility of the 2-Point Method for Determining the 1-Repetition Maximum in the Bench Press Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(4), 474–481.
<https://doi.org/10.1123/IJSP.2017-0374>
- García-Ramos, A., Janicijevic, D., González-Hernández, J. M., Keogh, J. W. L., & Weakley, J. (2020a). Reliability of the velocity achieved during the last repetition of sets to failure and its association with the velocity of the 1-repetition maximum. *PeerJ*, 2020(3). <https://doi.org/10.7717/peerj.8760>
- García-Ramos, A., Janicijevic, D., González-Hernández, J. M., Keogh, J. W. L., & Weakley, J. (2020b). Reliability of the velocity achieved during the last repetition of sets to failure and its association with the velocity of the 1-repetition maximum. *PeerJ*, 8, e8760. <https://doi.org/10.7717/peerj.8760>
- García-Ramos, A., & Jaric, S. (2018). Two-point method: A quick and fatigue-free procedure for assessment of muscle mechanical capacities and the 1 repetition maximum. *Strength and Conditioning Journal*, 40(2), 54–66.
<https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000359>
- García-Ramos, A., Jaric, S., Padial, P., & Feriche, B. (2016). Force-velocity relationship of upper body muscles: Traditional versus ballistic bench press. *Journal of Applied Biomechanics*, 32(2), 178–185. <https://doi.org/10.1123/jab.2015-0162>
- García-Ramos, A., Padial, P., Haff, G. G., Argüelles-Cienfuegos, J., García-Ramos, M., Conde-Pipó, J., & Feriche, B. (2015). Effect of different interrepetition rest periods on barbell velocity loss during the ballistic bench press exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2388–2396.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000891>
- García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., & Martín, F. (2018). Reliability and concurrent validity of the Velowin optoelectronic system to measure movement velocity during the free-weight back squat. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 13(5), 737–742. <https://doi.org/10.1177/1747954118791525>
- García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Villar Macias, F. J., Latorre-Román, P. Á., Párraga, J. A., & García-Pinillos, F. (2021a). Differences in the one-repetition maximum and load-velocity profile between the flat and arched bench press in competitive

- powerlifters. *Sports Biomechanics*, 20(3), 261–273.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1544662>
- García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Villar Macias, F. J., Latorre-Román, P., Párraga, J. A., & García-Pinillos, F. (2021b). Differences in the one-repetition maximum and load-velocity profile between the flat and arched bench press in competitive powerlifters. *Sports Biomechanics*, 20(3), 261–273.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1544662>
- García-Ramos, A., Pérez-Castilla, A., Villar Macias, F. J., Latorre-Román, P., Párraga, J. A., & García-Pinillos, F. (2021c). Differences in the one-repetition maximum and load-velocity profile between the flat and arched bench press in competitive powerlifters. *Sports Biomechanics*, 20(3), 261–273.
<https://doi.org/10.1080/14763141.2018.1544662>
- García-Ramos, A., Pestana-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Haff, G. G. (2018). Differences in the load-velocity profile between 4 bench-press variants. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 326–331.
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0158>
- Garnacho-Castaño, M., Lopez-Lastra, S., & Maté-Muñoz, J. (2015). Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *Journal of Sports Science and Medicine*.
- Godwin, M. S., Fernandes, J. F. T., & Twist, C. (2018). Effects of variable resistance using chains on bench throw performance in trained rugby players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(4), 950–954.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002421>
- González-Badillo, J. J., Marques, M. C., & Sánchez-Medina, L. (2011). The Importance of Movement Velocity as a Measure to Control Resistance Training Intensity. *Journal of Human Kinetics*, 29A(Special Issue), 15.
<https://doi.org/10.2478/V10078-011-0053-6>
- 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. *European Journal of Sport Science*, 14(8), 772–781.
<https://doi.org/10.1080/17461391.2014.905987>

- Harris, N. K., Cronin, J., Taylor, K.-L., Boris, J., & Sheppard, J. (2010). *Understanding Position Transducer Technology for Strength and Conditioning Practitioners*. 32(4), 66.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. In *Medicine and Science in Sports and Exercise* (Vol. 41, Issue 1, pp. 3–12). <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hopkins W. (2000). *Calculations for Reliability(Excel Spreadsheet): A New View of Statistics*. [Http://Www.Sportsci.Org/Resource/Stats/ Relycalc.Html#excel](http://Www.Sportsci.Org/Resource/Stats/ Relycalc.Html#excel).
- Huang, C. K., Siu, K. C., Lien, H. Y., Lee, Y. J., & Lin, Y. H. (2013). Scapular kinematics and muscle activities during pushing tasks. *Journal of Occupational Health*, 55(4), 259–266. <https://doi.org/10.1539/JOH.12-0105-OA>
- Huang, C., Siu, K., Lien, H., ... Y. L.-J. of occupational, & 2013, undefined. (2013). Scapular kinematics and muscle activities during pushing tasks. *Wiley Online Library CK Huang, KC Siu, HY Lien, YJ Lee, YH Lin Journal of Occupational Health, 2013•Wiley Online Library*, 55(4), 259–266. <https://doi.org/10.1539/joh.12-0105-OA>
- Huang, C.-K., Siu, K.-C., Lien, H.-Y., Lee, Y.-J., & Lin, Y.-H. (2013). Scapular kinematics and muscle activities during pushing tasks. *Journal of Occupational Health*, 55(4), 259–266. <https://doi.org/10.1539/joh.12-0105-oa>
- Jukic, I., Van Hooren, B., Ramos, A. G., Helms, E. R., McGuigan, M. R., & Tufano, J. J. (2021a). The Effects of Set Structure Manipulation on Chronic Adaptations to Resistance Training: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 51(5), 1061–1086. <https://doi.org/10.1007/S40279-020-01423-4>
- Jukic, I., Van Hooren, B., Ramos, A. G., Helms, E. R., McGuigan, M. R., & Tufano, J. J. (2021b). The effects of set structure manipulation on chronic adaptations to resistance training: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine*, 51(5), 1061–1086. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01423-4>
- Kasper, K. (2019a). *Sports Training Principles*. <http://journals.lww.com/acsm-csmr>
- Kasper, K. (2019b). Sports training principles. *Current Sports Medicine Reports*, 18(4), 95–96.
- Khayambashi, K., Ghoddosi, N., Straub, R. K., & Powers, C. M. (2016). Hip muscle strength predicts noncontact anterior cruciate ligament injury in male and female

- athletes: A prospective study. *The American Journal of Sports Medicine*, 44(2), 355–361. <https://doi.org/10.1177/0363546515616237>
- Kraemer, W. J., Deschenes, M. R., & Fleck, S. J. (1988). Physiological adaptations to resistance exercise. Implications for athletic conditioning. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 6(4), 246–256. <https://doi.org/10.2165/00007256-198806040-00006>
- Kristiansen, M., Madeleine, P., Hansen, E. A., & Samani, A. (2015). Inter-subject variability of muscle synergies during bench press in power lifters and untrained individuals. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 25(1), 89–97. <https://doi.org/10.1111/sms.12167>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4(NOV). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Laza-Cagigas, R., Goss-Sampson, M., Larumbe-Zabala, E., Termkolli, L., & Naclerio, F. (2019). Validity and reliability of a novel optoelectronic device to measure movement velocity, force and power during the back squat exercise. *Journal of Sports Sciences*, 37(7), 795–802. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1527673>
- Loturco, I., Kobal, R., Moraes, J. E., Kitamura, K., Cal Abad, C. C., Pereira, L. A., & Nakamura, F. Y. (2017). Predicting the Maximum Dynamic Strength in Bench Press: The High Precision of the Bar Velocity Approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 1127–1131. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001670>
- Loturco, I., Pereira, L. A., Winckler, C., Santos, W. L., Kobal, R., & McGuigan, M. (2019). Load-Velocity Relationship in National Paralympic Powerlifters: A Case Study. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(4), 531–535. <https://doi.org/10.1123/IJSP.2018-0452>
- Mann, J. B., Ivey, P. A., & Sayers, S. P. (2015). Velocity-based training in football. *Strength and Conditioning Journal*, 37(6), 52–57. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000177>
- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2022a). Bench Press at Full Range of Motion Produces Greater Neuromuscular Adaptations Than Partial Executions after Prolonged Resistance Training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 36(1), 10–15. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003391>

- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2022b). Bench press at full range of motion produces greater neuromuscular adaptations than partial executions after prolonged resistance training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *36*(1), 10–15. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003391>
- Mattocks, K. T., Mouser, J. G., Jessee, M. B., Buckner, S. L., Dankel, S. J., Bell, Z. W., Abe, T., Bentley, J. P., & Loenneke, J. P. (2019). Perceptual changes to progressive resistance training with and without blood flow restriction. *Journal of Sports Sciences*, *37*(16), 1857–1864. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1599315>
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *44*(5), 603–623. <https://doi.org/10.1007/S40279-014-0145-2>
- Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., Chicharro, J. L., & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load-, force-, and power-velocity relationships in the prone pull-up exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(9), 1249–1255. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0657>
- Nagymáté, G., & M. Kiss, R. (2018). Application of OptiTrack motion capture systems in human movement analysis. *Recent Innovations in Mechatronics*, *5*(1.). <https://doi.org/10.17667/riim.2018.1/13>
- Niewiadomski, W., Laskowska, D., Gąsiorowska, A., Cybulski, G., Strasz, A., & Langfort, J. (2008). Determination and Prediction of One Repetition Maximum (1RM): Safety Considerations. *Journal of Human Kinetics*, *19*(2008), 109–120. <https://doi.org/10.2478/v10078-008-0008-8>
- Orange, S. T., Metcalfe, J. W., Liefieith, A., Marshall, P., Madden, L. A., Fewster, C. R., & Vince, R. V. (2019). Validity and Reliability of a Wearable Inertial Sensor to Measure Velocity and Power in the Back Squat and Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33*(9), 2398–2408. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002574>
- Paine, R., & Voight, M. L. (2013a). THE ROLE OF THE SCAPULA. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *8*(5), 617. [/pmc/articles/PMC3811730/](https://doi.org/10.1186/1546-1024-8-617)
- Paine, R., & Voight, M. L. (2013b). The role of the scapula. *International Journal of Sports Physical Therapy*, *8*(5), 617–629.
- Paoli, A., Gentil, P., Moro, T., Marcolin, G., & Bianco, A. (2017a). Resistance Training with Single vs. Multi-joint Exercises at Equal Total Load Volume: Effects on Body

- Composition, Cardiorespiratory Fitness, and Muscle Strength. *Frontiers in Physiology*, 8(DEC), 1105. <https://doi.org/10.3389/FPHYS.2017.01105>
- Paoli, A., Gentil, P., Moro, T., Marcolin, G., & Bianco, A. (2017b). Resistance training with single vs. multi-joint exercises at equal total load volume: effects on body composition, cardiorespiratory fitness, and muscle strength. *Frontiers in Physiology*, 8, 1105. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.01105>
- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J. A. L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 27(7), 724–735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Pérez-Castilla, A., Comfort, P., McMahon, J. J., Pestaña-Melero, F. L., & García-Ramos, A. (2020). Comparison of the Force-, Velocity-, and Power-Time Curves Between the Concentric-Only and Eccentric-Concentric Bench Press Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(6), 1618–1624. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002448>
- Pérez-Castilla, A., Feriche, B., Jaric, S., Padial, P., & García-Ramos, A. (2017). Validity of a Linear Velocity Transducer for Testing Maximum Vertical Jumps. *Journal of Applied Biomechanics*, 33(5), 388–392. <https://doi.org/10.1123/JAB.2016-0142>
- Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A. J., & Feriche, B. (2020). Load-velocity relationship in variations of the half-squat exercise: Influence of execution technique. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(4), 1024–1031. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000002072>
- Ratamess, N. (2011). *ACSM's foundations of strength training and conditioning*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Ratamess, N. (2021). *ACSM's foundations of strength training and conditioning*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Ratamess, N. A., Alvar, B. A., Evetoch, T. K., Housch, T. J., Kibler, W. B., Kraemer, W. J., & Triplett, N. T. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(3), 687–708. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181915670>

- Ruiz, J. R., Sui, X., Lobelo, F., Lee, D. C., Morrow, J. R., Jackson, A. W., Hébert, J. R., Matthews, C. E., Sjöström, M., & Blair, S. N. (2009a). Muscular strength and adiposity as predictors of adulthood cancer mortality in men. *Cancer Epidemiology Biomarkers and Prevention*, *18*(5), 1468–1476. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-08-1075/347816/P/MUSCULAR-STRENGTH-AND-ADIPOSIY-AS-PREDICTORS-OF>
- Ruiz, J. R., Sui, X., Lobelo, F., Lee, D.-C., Morrow, J. R. J., Jackson, A. W., Hébert, J. R., Matthews, C. E., Sjöström, M., & Blair, S. N. (2009b). Muscular strength and adiposity as predictors of adulthood cancer mortality in men. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, *18*(5), 1468–1476. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-08-1075>
- Saeterbakken, A. H., Mo, D.-A., Scott, S., & Andersen, V. (2017). The effects of bench press variations in competitive athletes on muscle activity and performance. *Journal of Human Kinetics*, *57*, 61–71. <https://doi.org/10.1515/hukin-2017-0047>
- Saeterbakken, A. H., Stien, N., Pedersen, H., Solstad, T. E. J., Cumming, K. T., & Andersen, V. (2021). The effect of grip width on muscle strength and electromyographic activity in bench press among novice- and resistance-trained men. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph18126444>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011a). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0B013E318213F880>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011b). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *43*(9), 1725–1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>
- Sanchez-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), 123–129. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>
- Sato, K., Beckham, G. K., Carroll, K., Bazyler, C., Sha, Z., & Haff, G. G. (2015). Validity of wireless device measuring velocity of resistance exercises. *Journal of Trainology*, *4*, 15–18. <http://trainology.org/>
- Schick, E. E., Coburn, J. W., Brown, L. E., Judelson, D. A., Khamoui, A. V, Tran, T. T., & Uribe, B. P. (2010). A comparison of muscle activation between a Smith machine

- and free weight bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 779–784. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc2237>
- Schoenfeld, B. J., Contreras, B., Krieger, J., Grgic, J., Delcastillo, K., Belliard, R., & Alto, A. (2019). Resistance training volume enhances muscle hypertrophy but not strength in trained men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(1), 94–103. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001764>
- Schoenfeld, B. J., Ogborn, D., & Krieger, J. W. (2017). Dose-response relationship between weekly resistance training volume and increases in muscle mass: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, 35(11), 1073–1082. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1210197>
- Seitz, L. B., De Villarreal, E. S., & Haff, A. G. G. (2013). The Temporal Profile of Postactivation Potentiation is related to Strength Level. In *Article in The Journal of Strength and Conditioning Research*. www.nscs.com
- Seitz, L. B., de Villarreal, E. S., & Haff, G. G. (2014). The temporal profile of postactivation potentiation is related to strength level. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3), 706–715. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182a73ea3>
- Soligard, T., Schwelunus, M., Alonso, J. M., Bahr, R., Clarsen, B., Dijkstra, H. P., Gabbett, T., Gleeson, M., Hägglund, M., Hutchinson, M. R., Janse Van Rensburg, C., Khan, K. M., Meeusen, R., Orchard, J. W., Pluim, B. M., Raftery, M., Budgett, R., & Engebretsen, L. (2016). How much is too much? (Part 1) International Olympic Committee consensus statement on load in sport and risk of injury. *British Journal of Sports Medicine*, 50(17), 1030–1041. <https://doi.org/10.1136/BJSPORTS-2016-096581>
- Steele, J., Fisher, J., McKinnon, S., & McKinnon, P. (2016). Differentiation between perceived effort and discomfort during resistance training in older adults: Reliability of trainee ratings of effort and discomfort, and reliability and validity of trainer ratings of trainee effort. *Journal of Trainology*, 6(1), 1–8. https://doi.org/10.17338/trainology.6.1_1
- Steele, J., Fisher, J. P., McKinnon, S., & McKinnon, P. (2017). Differentiation between perceived effort and discomfort during resistance training in older adults: Reliability of trainee ratings of effort and discomfort, and reliability and validity of trainer ratings of trainee effort. *Journal of Trainology*, 6(1), 1–8. https://doi.org/https://doi.org/10.17338/trainology.6.1_1

- Stewart, A. M., & Hopkins, W. G. (2000). Consistency of swimming performance within and between competitions. In *Physical Fitness and Performance Med. Sci. Sports Exerc* (Vol. 32, Issue 5). <http://www.msse.org>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018a). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(4), 765–785. <https://doi.org/10.1007/S40279-018-0862-Z>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R., & Stone, M. H. (2018b). The importance of muscular strength: training considerations. *Sports Medicine*, 48(4), 765–785. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0862-z>
- Suchomel, T. J., Nimphius, S., & Stone, M. H. (2016). The importance of muscular strength in athletic performance. *Sports Medicine*, 46(10), 1419–1449. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0486-0>
- Torres-Costoso, A., López-Muñoz, P., Martínez-Vizcaíno, V., Álvarez-Bueno, C., & Cavero-Redondo, I. (2020a). Association Between Muscular Strength and Bone Health from Children to Young Adults: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine*, 50(6), 1163–1190. <https://doi.org/10.1007/S40279-020-01267-Y/METRICS>
- Torres-Costoso, A., López-Muñoz, P., Martínez-Vizcaíno, V., Álvarez-Bueno, C., & Cavero-Redondo, I. (2020b). Association between muscular strength and bone health from children to young adults: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 50(6), 1163–1190. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01267-y>
- Vasconcelos, F., Peebles, D., Ourselin, S., & Stoyanov, D. (2016). Spatial calibration of a 2D/3D ultrasound using a tracked needle. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 11(6), 1091–1099. <https://doi.org/10.1007/s11548-016-1392-5>
- Wang, Y., Lee, D. chul, Brellenthin, A. G., Sui, X., Church, T. S., Lavie, C. J., & Blair, S. N. (2019a). Association of Muscular Strength and Incidence of Type 2 Diabetes. *Mayo Clinic Proceedings*, 94(4), 643–651. <https://doi.org/10.1016/J.MAYOCP.2018.08.037>
- Wang, Y., Lee, D.-C., Brellenthin, A. G., Sui, X., Church, T. S., Lavie, C. J., & Blair, S. N. (2019b). Association of muscular strength and incidence of type 2 diabetes. *Mayo Clinic Proceedings*, 94(4), 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2018.08.037>

- Weakley, J. J. S., Wilson, K. M., Till, K., Read, D. B., Darrall-Jones, J., Roe, G. A. B., Phibbs, P. J., & Jones, B. (2019). Visual feedback attenuates mean concentric barbell velocity loss and improves motivation, competitiveness, and perceived workload in male adolescent athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2420–2425. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002133>
- Zatsiorsky, V. M. (Vladimir M., International Federation of Sports Medicine., & IOC Medical Commission. (2000). *Biomechanics in sport : performance enhancement and injury prevention*. Blackwell Science.

Lista de abreviaturas

PB: Press de banca

RM: Repetición máxima

RPE-E: Índice de esfuerzo percibido

RPE-D: Índice de incomodidad percibido

IMU: Unidades de medición inercial

nRM: Número de repeticiones máximas

CV: Coeficiente de variación

SEE: Error estándar de estimación

MV: Velocidad Media

RTF: Número de repeticiones realizadas hasta el fallo

Anexos

Publicaciones científicas derivadas de la tesis doctoral (formato referencias)

1. Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Garrido-Blanca, G., Delgado-García, G., Balsalobre-Fernández, C., & García-Ramos, A. (2019). Precision of 7 commercially available devices for predicting bench-press 1-repetition maximum from the individual load–velocity relationship. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(10), 1442-1446.
2. Perez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and concurrent validity of seven commercially available devices for the assessment of movement velocity at different intensities during the bench press. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33(5), 1258-1265.
3. Piepoli, A., Miras-Moreno, S., Janicijevic, D., Martínez-Amat, A., & García-Ramos, A. (2022). Differences in Various Strength Manifestations Between the Flat and Retracted Bench Press Variants: Are They Affected by Subjects' Experience or Strength Levels?. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 10-1519.