

EFECTO DEL TRABAJO DE FUERZA CONTROLADO CON DINAMOMETRÍA ELECTROMECAÁNICA FUNCIONAL SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO

Indya del Cuerpo Rodríguez

Dirigida por:

Luis Javier Chiroso Ríos

Pedro Delgado Floody



TESIS DOCTORAL INTERNACIONAL

EFECTO DEL TRABAJO DE FUERZA CONTROLADO CON DINAMOMETRÍA ELECTROMECAÁNICA FUNCIONAL SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO.



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Programa de Doctorado en Biomedicina

Departamento de Educación Física y Deportiva
Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad de Granada

Indya del Cuerpo Rodríguez

2024

Supervisado por:

Luis Javier Chiroso Ríos

Pedro Delgado Floody

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Indya Del Cuerpo Rodríguez
ISBN: 978-84-1195-542-3
URI: <https://hdl.handle.net/10481/97396>



EFFECTO DEL TRABAJO DE FUERZA CONTROLADO CON DINAMOMETRÍA ELECTROMECÁNICA FUNCIONAL SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO.

Indya del Cuerpo Rodríguez



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

Efecto del Trabajo de Fuerza Controlado con Dinamometría Electromecánica Funcional sobre el Gasto Energético.

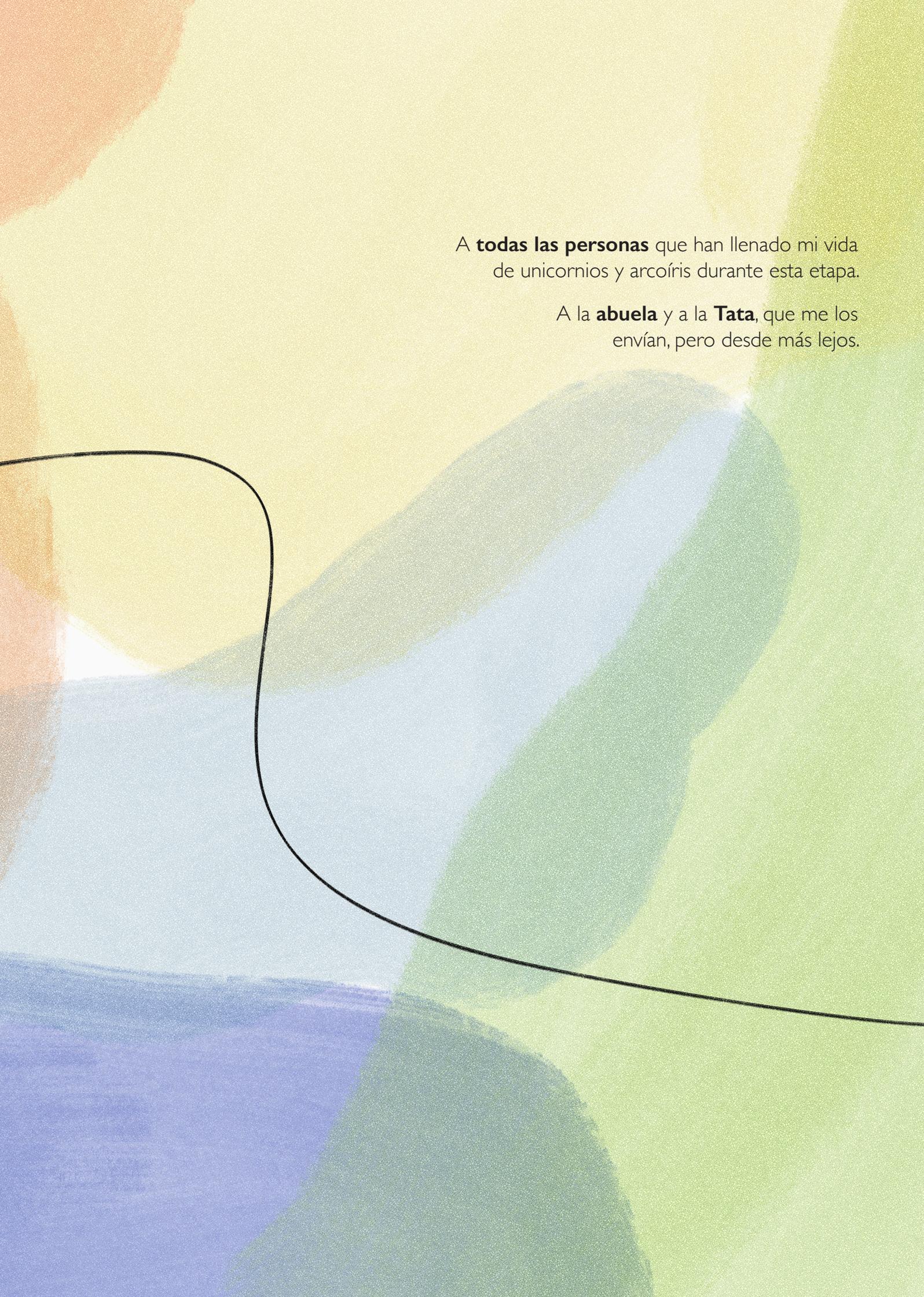
2024, Indya del Cuerpo Rodríguez.

Ilustraciones e infografías: Ana María Galindo Alabarces.

Diseño editorial: Martín Funes Rodríguez.

La doctoranda **Dña. Indya del Cuerpo Rodríguez** ha realizado la presente Tesis Doctoral Internacional como beneficiaria de un contrato con cargo al programa de Formación de Profesorado Universitario (FPU19/02030) del Ministerio de Universidades, por resolución de 7 de octubre de 2020 de la Secretaría General de Universidades.





A **todas las personas** que han llenado mi vida
de unicornios y arcoíris durante esta etapa.

A la **abuela** y a la **Tata**, que me los
envían, pero desde más lejos.





El **trabajo duro** supera al talento cuando el **talento** no trabaja duro.



ÍNDICE

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	27
ÍNDICE DE FIGURAS	31
LISTADO DE ABREVIATURAS	35
RESUMEN	39
ABSTRACT	43
MARCO TEÓRICO	55
APROXIMACIÓN AL PROBLEMA	61
OBJETIVOS	67
HIPÓTESIS	73
MATERIALES Y MÉTODOS	95
RESULTADOS	85
DISCUSIÓN	117
CONCLUSIONES	135
LIMITACIONES	141
FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	145
AGRADECIMIENTOS	149
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS	169



ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características de los estudios.

Tabla 2. Fiabilidad de los dispositivos para medir el GE durante el ejercicio físico.

Tabla 3. Características descriptivas de la muestra de acuerdo con el sexo.

Tabla 4. Evaluación metodológica de los estudios incluidos.

Tabla 5. Fiabilidad test-retest de todas las variables durante el protocolo del 50 % de 1RM utilizando un DEMF.

Tabla 6. Fiabilidad test-retest de todas las variables durante el protocolo del 75 % de 1RM utilizando un DEMF.

Tabla 7. Características descriptivas de la muestra en función del sexo.

Tabla 8. Comparación del gasto energético en función de la intensidad del ejercicio.

Tabla 9. Asociación entre el GE total al 50 % 1RM, sexo e IMC.

Tabla 10. Asociación entre el GE total al 75 % 1RM, sexo e IMC.

Tabla 11. Medidas de velocidad obtenidas durante las tres series de los dos protocolos.

Tabla 12. Características descriptivas de la muestra basadas en el nivel de actividad física.

Tabla 13. Cambio delta inmediatamente y 10 minutos después del ejercicio de sentadillas.

Tabla 14. Asociación de los cambios delta de lactato inmediatamente después de la prueba de sentadillas con el NAF.

Tabla 15. Asociación de los cambios delta de lactato 10 minutos después de la prueba de sentadillas con el NAF.



ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Protocolo de medición del ejercicio de sentadilla del estudio 2.

Figura 2. Protocolo de medida del ejercicio de sentadilla del estudio 3.

Figura 3. Protocolo de medición del ejercicio de sentadilla del estudio 4.

Figura 4. Protocolo de medición del ejercicio de sentadilla del estudio 5.

Figura 5. Diagrama de flujo de PRISMA.

Figura 6. Diagrama de bosque para calorímetros indirectos y acelerómetros que muestra las medias de los ICC y los intervalos de confianza del 95 % para los estudios incluidos en el metaanálisis. La estimación combinada del ICC se obtuvo utilizando un modelo de efectos aleatorios con los estudios anidados por dispositivo.

Figura 7. Diagrama de bosque para sujetos sanos y sujetos con patologías que muestra las medias de los ICC y los intervalos de confianza del 95 % para los estudios incluidos en el metaanálisis. La estimación combinada del ICC se obtuvo utilizando un modelo de efectos aleatorios con los estudios anidados por dispositivo.

Figura 8. Gráficos de Bland-Altman del test-retest para FDM, FDP,VM,VP,PM,PP,W e I durante el protocolo del 50 % de IRM utilizando un DEMF.

Figura 9. Gráficos de Bland-Altman del test-retest para FDM, FDP,VM,VP,PM,PP,W e I durante el protocolo del 75 % de IRM utilizando un DEMF.

Figura 10. Relación entre FDM, FDP,VM,VP,PM,PP,W e I entre ambas sesiones de prueba durante el protocolo del 50 % de IRM utilizando un DEMF.

Figura 11. Relación entre FDM, FDP,VM,VP,PM,PP,W e I entre ambas sesiones de prueba durante el protocolo del 75 % de IRM utilizando un DEMF.

Figura 12. Comportamiento del GE total durante los dos protocolos de entrenamiento de sentadillas.

Figura 13. Infografía con el mensaje principal del estudio 1.

Figura 14. Infografía con el mensaje principal del estudio 2.

Figura 15. Infografía con el mensaje principal del estudio 3.

Figura 16. Infografía con el mensaje principal del estudio 4.

Figura 17. Infografía con el mensaje principal del estudio 5.



LISTADO DE ABREVIATURAS

LISTADO DE ABREVIATURAS

IRM: repetición máxima

ω^2 : omega cuadrado

ACV: accidente cerebrovascular

AFB: bajo nivel de actividad física

AFM: nivel de actividad física moderado

AFV: nivel de actividad física vigoroso

ANOVA: análisis de varianza de medidas repetidas

CV: coeficiente de variación

DE: desviación estándar

DEMF: dinamometría electromecánica funcional

DMD: distrofia muscular de Duchenne

EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica

ES: tamaño del efecto de Cohen

FC: frecuencia cardíaca

FDM: fuerza dinámica media

FDP: fuerza dinámica máxima

GE: gasto energético

GETD: gasto energético total diario

I: impulso

IC: intervalos de confianza

ICC: coeficiente de correlación intraclase

IMC: índice de masa corporal

InmPost: inmediatamente posterior

IPAC: international physical activity questionnaire

NAF: nivel de actividad física

PM: potencia media

Post10min: tras 10 minutos

PP: potencia máxima

PUL: punto de umbral de lactato

R de Pearson: coeficiente de correlación de Pearson

ROM: rango de movimiento

SEM: error estándar de medición

SFM: síndrome de fibromialgia

V: velocidad

VM: velocidad media

VP: velocidad máxima

VO₂: volumen de oxígeno

VO₂max: volumen de oxígeno máximo

W: trabajo



RESUMEN ABSTRACT

RESUMEN

Introducción: El trabajo de fuerza controlado con dinamometría electromecánica funcional es clave para evaluar y mejorar el rendimiento físico y la rehabilitación, permitiendo una evaluación precisa de la fuerza para desarrollar programas de entrenamiento efectivos y personalizados. Sin embargo, existen lagunas en la literatura científica sobre su uso en distintos contextos de entrenamiento. El gasto energético es esencial para comprender las demandas metabólicas del ejercicio y su impacto en la salud y el rendimiento. Evaluar el gasto energético durante diversos protocolos de entrenamiento optimiza la prescripción de ejercicios. Además, las diferencias biológicas y fisiológicas entre hombres y mujeres en sus respuestas al entrenamiento de fuerza requieren una investigación detallada para diseñar programas más adecuados y efectivos.

Objetivo: el principal objetivo de esta tesis fue determinar el efecto del entrenamiento de fuerza controlado con dinamometría electromecánica funcional sobre el gasto energético, evaluar la fiabilidad de los métodos de medición utilizados, así como investigar las diferencias en las respuestas fisiológicas entre hombres y mujeres durante el entrenamiento de sentadillas.

Método: La investigación se estructuró en cinco estudios específicos, los cuatro últimos orientados a la evaluación de diferentes variables durante dos protocolos diferentes de entrenamiento de sentadillas (30 repeticiones al 50 % de IRM y 12 repeticiones al 75 % de IRM). El estudio 1 consistió en una revisión sistemática y meta-análisis sobre la fiabilidad test-retest de la calorimetría indirecta y la acelerometría para medir el GE durante el ejercicio físico. El estudio 2 evaluó a 28 participantes para determinar la fiabilidad test-retest del dinamómetro electromecánico funcional. El estudio 3 comparó el gasto energético durante el entrenamiento de sentadillas entre hombres y mujeres, analizando cómo el índice de masa corporal influía en el gasto energético en

ambos sexos utilizando dos protocolos de sentadillas. El estudio 4 analizó en 13 hombres y 16 mujeres el gasto energético, volumen de oxígeno, frecuencia cardíaca y velocidad de ejecución durante el entrenamiento de sentadillas. Por último, el estudio 5 evaluó la producción de lactato en relación con los niveles de actividad física durante el entrenamiento de sentadillas, investigando cómo varía la misma según el nivel de actividad física previo y las diferencias entre hombres y mujeres.

Resultados: La calorimetría indirecta demostró ser más fiable que la acelerometría para medir el gasto energético, especialmente en sujetos sanos. La dinamometría electromecánica funcional mostró alta fiabilidad en la medición de variables durante el ejercicio de sentadillas. Los hombres tuvieron un mayor gasto energético que las mujeres durante y después del entrenamiento, influenciado por el índice de masa corporal. Además, se observaron diferencias significativas en el gasto energético, volumen de oxígeno, frecuencia cardíaca y velocidad según la intensidad del ejercicio. La producción de lactato también varió significativamente según el nivel de actividad física previo, con diferencias destacadas entre hombres y mujeres.

Conclusión: La tesis demuestra que la dinamometría electromecánica funcional es una herramienta fiable para medir el gasto energético y variables fisiológicas durante el entrenamiento de fuerza. Se identificaron diferencias significativas entre hombres y mujeres, resaltando la necesidad de programas de entrenamiento personalizados. Estos hallazgos mejoran la comprensión del impacto del entrenamiento en el gasto energético y ofrecen una base sólida para optimizar la prescripción de ejercicios, mejorando el rendimiento deportivo y la salud general.

Palabras clave: dinamometría electromecánica funcional, gasto energético, entrenamiento de fuerza, fiabilidad test-retest, producción de lactato, diferencias de sexo.

ABSTRACT

Introduction: Force training controlled with functional electromechanical dynamometry is key to evaluating and improving physical performance and rehabilitation, allowing for precise strength assessment to develop effective and personalized training programs. However, there are gaps in the scientific literature regarding its use in different training contexts. Energy expenditure is essential for understanding the metabolic demands of exercise and its impact on health and performance. Evaluating energy expenditure during various training protocols optimizes exercise prescription. Additionally, biological and physiological differences between men and women in their responses to strength training require detailed investigation to design more suitable and effective programs.

Objective: The main objective of this thesis was to determine the effect of strength training controlled with functional electromechanical dynamometry on energy expenditure, assess the reliability of the measurement methods used, and investigate the differences in physiological responses between men and women during squat training.

Method: The research was structured into five specific studies, the last four focusing on evaluating different variables during two different squat training protocols (30 repetitions at 50 % of 1RM and 12 repetitions at 75 % of 1RM). Study 1 consisted of a systematic review and meta-analysis on the test-retest reliability of indirect calorimetry and accelerometry to measure energy expenditure during physical exercise. Study 2 evaluated 28 participants to determine the test-retest reliability of the functional electromechanical dynamometer. Study 3 compared energy expenditure during squat training between men and women, analyzing how body mass index

influenced energy expenditure in both sexes using two squat protocols. Study 4 analyzed energy expenditure, oxygen volume, heart rate, and speed during squat training in 13 men and 16 women. Finally, Study 5 evaluated lactate production in relation to physical activity levels during squat training, investigating how lactate production varied according to previous physical activity levels and differences between men and women.

Results: Indirect calorimetry proved to be more reliable than accelerometry for measuring energy expenditure, especially in healthy subjects. Functional electromechanical dynamometry showed high reliability in measuring variables during squat exercise. Men had higher energy expenditure than women during and after training, influenced by body mass index. Additionally, significant differences were observed in energy expenditure, oxygen volume, heart rate, and speed according to exercise intensity. Lactate production also varied significantly according to previous physical activity levels, with notable differences between men and women.

Conclusion: The thesis demonstrates that functional electromechanical dynamometry is a reliable tool for measuring energy expenditure and physiological variables during strength training. Significant differences between men and women were identified, highlighting the need for personalized training programs. These findings improve the understanding of the impact of training on energy expenditure and provide a solid basis for optimizing exercise prescription, enhancing sports performance and general health.

Keywords: functional electromechanical dynamometry, energy expenditure, strength training, test-retest reliability, lactate production, sex differences.

01

MARCO
TEÓRICO



No hay duda de que el gasto energético (GE) es una medida crucial para la salud y el bienestar de una persona (1), ya que su importancia radica en diferentes aspectos como la salud metabólica, el rendimiento deportivo, el control nutricional, etc. (1). Además, la medición del GE proporciona información valiosa para tomar decisiones informadas sobre la dieta, el ejercicio y el estilo de vida que afectan directamente a la salud y el estado físico de una persona (2,3).

Todas las actividades que realizamos en el día a día, desde las tareas más básicas, tales como ducharse, vestirse, comer o dormir, hasta las más complejas como el propio entrenamiento, requieren energía (3). Por ello, entender los requerimientos de energía es fundamental para una amplia variedad de campos que van desde la nutrición y la medicina, hasta la planificación y control del entrenamiento en cualquier deportista, así como en cualquier persona que practique o quiera adentrarse en la práctica del ejercicio físico.

DE LA INGESTA AL GASTO: CONOCIENDO LOS MECANISMOS DEL BALANCE ENERGÉTICO

Para entrar un poco más en materia, es esencial conocer los componentes del gasto energético total diario (GETD). El GETD se define como la cantidad total de energía gastada durante las 24 horas que dura el día (4). Este GETD se compone de la suma de varios componentes clave (5):

- Tasa metabólica en reposo: representa la energía necesaria para mantener las funciones metabólicas básicas del cuerpo en reposo, como la respiración, la circulación sanguínea y la regulación de la temperatura corporal. Constituye la mayor parte del GETD, representando aproximadamente el 60-75 % del mismo en individuos sedentarios.
- Efecto térmico de los alimentos: es la energía que se gasta durante la digestión, absorción y metabolización de los alimentos que consumimos. Diferentes alimentos requieren diferentes cantidades de energía para su procesamiento.
- Gasto energético derivado de la actividad física: este componente se refiere a la energía gastada durante cualquier tipo de actividad física, ya sea el ejercicio planificado, como el entrenamiento deportivo, o las actividades cotidianas, como caminar, trabajar o realizar tareas domésticas. Este componente varía considerablemente según el nivel de actividad física (NAF) de cada persona.
- Gasto energético derivado de la termorregulación: referente a la energía que el cuerpo gasta para man-

tener una temperatura corporal constante en condiciones ambientales variables. Esto es especialmente relevante en entornos extremos de calor o frío.

Una vez entendemos los componentes del GETD, debemos hablar de la **ingesta calórica** para poder tener una idea global del balance energético. En primer lugar, hemos de saber que el balance energético es igual a la diferencia entre la ingesta calórica y el GE (6). Entrando un poco más en materia, y con el objetivo de tener una idea más global del concepto en cuestión, es fundamental considerar el concepto de déficit y superávit calórico, ya que tienen un impacto directo en la gestión de la energía y, por ende, en el control del peso corporal y el rendimiento físico.

Hablamos de **déficit calórico** cuando el GETD de un individuo es mayor que la cantidad de calorías consumidas a través de la dieta. En otras palabras, el cuerpo está quemando más calorías de las que está ingiriendo. Esto conduce a la pérdida de peso, ya que el organismo debe recurrir a las reservas de grasa almacenadas para obtener la energía necesaria para vivir (7). Por el contrario, cuando el consumo de calorías a través de la dieta es mayor que el GETD, se crea un **superávit calórico**. Esto significa que el cuerpo está recibiendo más energía de la que necesita para sus funciones diarias y actividad física. El exceso de calorías se almacena en forma de grasa corporal y se utiliza para el crecimiento de la musculatura, lo que puede ser beneficioso para atletas y personas que buscan aumentar su masa muscular (8).

EVALUAR EL GASTO ENERGÉTICO: ESTRATEGIAS Y MÉTODOS PARA UNA MEDICIÓN PRECISA

Tras conocer varios conceptos clave para entender en qué consiste el GETD de un individuo, es necesario saber a través de qué medios podemos evaluarlo. Para la medición del GE existen diferentes métodos, cada uno con su propio nivel de precisión y contexto de aplicación, en función de los recursos humanos financieros y los objetivos de investigación. Podríamos categorizar estos métodos en autoinformados, directos e indirectos.

En primer lugar, los métodos **autoinformados** se consideran un instrumento de gran interés debido a su bajo costo económico y facilidad de administración (9-15). Los cuestionarios y los diarios de actividad se utilizan comúnmente para obtener información y cuantificar el GE y el NAF durante las actividades diarias, ya que no requieren instrumentos sofisticados para predecir el



GE (10–15). Sin embargo, es importante destacar que también son menos precisos, principalmente debido al sesgo de recuerdo (16).

En segundo lugar, los **métodos directos** son más precisos, pero también menos asequibles para la gran mayoría de usuarios debido a su alto costo. La técnica más precisa es el agua doblemente marcada, pero es difícil de manejar y requiere equipos altamente especializados y costosos para el análisis de datos (3). Por esa razón, no es logísticamente posible utilizar esta técnica en estudios de población grandes (12, 17, 18). Estas limitaciones llevaron al desarrollo de otros métodos de medición (19). El agua doblemente marcada ha sido comúnmente considerada como el "gold standard" en la literatura científica para medir el GE (3).

Por último, los **métodos indirectos** como los sistemas de calorimetría han recibido un creciente interés para cuantificar el GE (20–23). Además, la cantidad y tipos de

sistemas informáticos disponibles para los investigadores han aumentado considerablemente (24). Hoy en día, existen dispositivos móviles y computarizados, así como dispositivos fijos. Es importante señalar que los calorímetros portátiles son más versátiles, asequibles y fáciles de usar que los dispositivos fijos (25). Por otra parte, unos de los dispositivos más populares para evaluar el GE del ejercicio físico son probablemente los sistemas basados en acelerómetros y sensores múltiples (26,27). Las fortalezas de estos dispositivos, que habitualmente suelen ir combinados con la medición de la FC y ecuaciones de regresión en relojes de actividad inteligentes, son la portabilidad, versatilidad y facilidad a la hora de su utilización. Mediante su uso, los investigadores pueden examinar la intensidad, frecuencia y duración del ejercicio físico que las personas realizan de manera indirecta. Esto se logra a través de ecuaciones de regresión desarrolladas especialmente para deportes concretos (24).

IMPORTANCIA DEL GASTO ENERGÉTICO EN EL RENDIMIENTO DEPORTIVO Y LA SALUD: ESTRATEGIAS PARA UNA EVALUACIÓN EFICAZ

Cuantificar el GE de la actividad física es importante en las ciencias clínicas, nutricionales y deportivas (28). Tener un alto nivel de GE durante la actividad física es totalmente necesario porque desempeña un papel esencial en la etiología y la prevención de enfermedades crónicas como la diabetes, la obesidad, el cáncer, las enfermedades cardiovasculares o cardiorrespiratorias (29). Profundizando en el tema, evaluar el GE en el deportista es de gran utilidad en diferentes situaciones, como las que enumero a continuación, entre otras:

- Mantener un balance energético adecuado: en deportistas, mantener un equilibrio entre la ingesta calórica de la que hablábamos anteriormente y el GE derivado de la actividad física o, en este caso, del entrenamiento es muy importante. Un descontrol en el balance energético podría llevar a un déficit o superávit calórico, lo cual se vería reflejado en un aumento o disminución significativa del peso corporal y podría afectar el rendimiento deportivo (30).
- Planificación nutricional y del entrenamiento: tener un control del GE del deportista permite al en-

trenador una mayor facilidad a la hora de cuantificar y controlar las cargas y volúmenes de entrenamiento necesarios para la periodización y la planificación de un deporte (31).

- Optimización del rendimiento: entre otras variables y factores, el GE juega un papel importante en la capacidad que tiene un deportista para mantener actividades de alta intensidad durante períodos prolongados, lo cual es fundamental para alcanzar el éxito en competiciones deportivas (32).
- Prevención de lesiones y trastornos alimenticios: una evaluación precisa del GE ayuda a prevenir ciertos síndromes, así como la deficiencia de energía relativa en el deporte, que en muchas ocasiones están estrechamente relacionados con trastornos alimenticios y mayor riesgo de lesiones (33).

En resumen, evaluar el GE en deportistas es fundamental para asegurar una nutrición adecuada, prevenir lesiones y trastornos relacionados con la alimentación, así como para optimizar el entrenamiento y el rendimiento deportivo, pero también es crucial conocer su importancia

en la población que realiza ejercicio físico de manera habitual, pero no realiza ningún deporte en concreto en el que tenga una periodización y planificación concreta. Las principales razones que lo hacen importante son, entre otras, las siguientes:

- Promoción de la salud y prevención de enfermedades: el ejercicio físico juega un papel muy importante en el desarrollo y mantenimiento de la salud de los individuos que lo practican. Para ello, una adecuada evaluación del GE ayuda a prevenir enfermedades crónicas relacionadas con el estilo de vida, como la obesidad, la diabetes y enfermedades cardiovasculares (34).
- Mantenimiento de un balance energético adecuado: en relación con lo anterior, la evaluación del GE es importante para mantener un balance energético adecuado, lo cual es esencial para evitar el sobrepeso y la obesidad. Al equilibrar la ingesta calórica con el GE derivado de la actividad física, conseguimos evitar el sobrepeso o la obesidad (35).

- Estimación de las necesidades energéticas individuales: diferentes NAF requieren diferentes cantidades de energía. Una evaluación precisa del GE ayuda a las personas a entender y satisfacer sus necesidades energéticas específicas, evitando tanto el déficit como el superávit calórico (36).

- Mejora de la calidad de vida y bienestar general: el ejercicio físico regular no solo mejora la condición física y el rendimiento, sino que también contribuye al bienestar mental y emocional. Conocer el GE puede motivar a las personas a mantener o aumentar su NAF (37).

En resumen, la evaluación del GE en personas que realizan ejercicio físico regularmente es fundamental para la promoción de la salud, el mantenimiento de un peso saludable, la satisfacción de las necesidades energéticas individuales y la mejora general del bienestar.

INFLUENCIA DEL EJERCICIO FÍSICO SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO: ENTRENAMIENTO DE FUERZA Y RESISTENCIA

La medición del GETD de un individuo permite la organización de una programación individualizada para un suministro de energía suficiente. A pesar de esto, pocos estudios han medido el GETD de deportistas o aficionados a la práctica de ejercicio físico de manera regular (38), o cuantificado la energía gastada durante los entrenamientos y partidos (39–41). Aun así, existen bastantes estudios que evalúan el GE durante una prueba concreta, sobre todo en ejercicios de resistencia, realizándose estas pruebas en cicloergómetros y en cintas ergométricas (42,43). Por el contrario, apenas existe literatura que evalúe la influencia del entrenamiento de fuerza sobre el GE.

Dicho esto, cabe destacar que la medición del GE en la práctica de ejercicio físico y/o en condiciones de vida libre no ha recibido mucha atención debido a la dificultad en la medición. De los métodos que citamos anteriormente, los métodos indirectos, como la calorimetría indirecta, usados tradicionalmente para la evaluación del GE requieren análisis metabólicos que restringen el movimiento típico y las actividades de la vida diaria. El método del agua doblemente marcada, a pesar de ser

considerada, como ya se ha comentado, como el "gold standard" (44,45) para medir el GETD (38), no diferencia entre tareas y su contribución relativa al GETD, por lo que no permite la cuantificación de tareas discretas como entrenamiento o competición (2,46,47). Los nuevos métodos indirectos como la acelerometría, las pulseras de actividad o relojes inteligentes favorecen la evaluación del GE durante una práctica concreta.

Profundizando más en la cuestión, sabemos que el entrenamiento de carrera se ha estudiado extensamente, destacando su capacidad para incrementar el GE de manera significativa. Estudios recientes han demostrado que la carrera, especialmente en condiciones multidireccionales, resulta en un mayor GE en comparación con la carrera lineal. Sin embargo, es importante destacar que los dispositivos de micro tecnología, como los acelerómetros y los monitores de FC, tienden a subestimar el costo energético real de estas actividades, especialmente en sesiones de carrera intermitente. Este fenómeno se observa en estudios donde se compara la estimación de GE de estos dispositivos con medidas directas, como la calorimetría indirecta (48). Asimismo, el desarrollo de



las nuevas tecnologías permite cada vez más avanzar en esta temática y es que en los últimos años se ha desarrollado un método innovador utilizando sensores que, combinados con datos de aceleración y peso corporal, pueden medir con precisión el GE durante la marcha y la carrera en varias velocidades (49).

Por otro lado, el entrenamiento de fuerza, aunque menos estudiado que la carrera, también muestra un impacto positivo en el aumento del GE. Se ha observado que el GE en el entrenamiento de fuerza aumenta con el nivel de trabajo. La utilización de unidades de trabajo (series x repeticiones x carga) ha demostrado ser una herramienta útil para comprender mejor el GE asociado con este tipo de entrenamiento, lo cual proporciona una visión sobre cómo diferentes intensidades y volúmenes de ejercicio pueden influir en el GE total y cómo se distribuyen las contribuciones energéticas aeróbicas y anaeróbicas (50). También se ha sugerido que la estimación del GE en una sesión de entrenamiento de fuerza puede predecirse utilizando el tiempo de sesión y el

volumen de carga, aunque la relación entre el volumen y la intensidad en la maximización del GE todavía no está clara (51).

En resumen, tanto la carrera como el entrenamiento de fuerza son modalidades eficaces para incrementar el GE, aunque cada una presenta características y efectos distintos. La carrera, especialmente en formatos que incluyen cambios de dirección, parece tener un mayor impacto en el GE, pero es importante tener en cuenta las limitaciones de los métodos de medición utilizados en estos estudios. Por otro lado, el entrenamiento de fuerza también contribuye significativamente al GE, y su impacto puede ser evaluado de manera más precisa considerando variables como el tiempo de entrenamiento y el volumen de carga. Estos hallazgos son fundamentales para diseñar programas de entrenamiento más efectivos y para entender mejor cómo diferentes tipos de ejercicio contribuyen al GE y, por ende, a la salud y el rendimiento físico.

IMPACTO DEL SEXO EN EL GASTO ENERGÉTICO Y ADAPTACIONES MUSCULARES DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA

Es importante también conocer las diferencias biológicas y fisiológicas entre hombres y mujeres, y cómo estas disparidades influyen en la respuesta al ejercicio físico. Para comprender plenamente el tema, es fundamental abordar las diferencias inherentes entre los sexos en términos de composición corporal, metabolismo y respuesta al entrenamiento de fuerza (52). Los varones suelen exhibir una tasa metabólica más elevada que las mujeres debido a su mayor masa muscular, la cual demanda más energía para su mantenimiento (53). Respecto a la fuerza muscular, los hombres tienden a presentar niveles más altos debido a la disparidad en el tamaño muscular, una ventaja masculina que se manifiesta especialmente en la fuerza de los miembros superiores en comparación con la de los inferiores (54).

Además, estas disparidades no solo se limitan al GE, sino que también se observan en el ámbito del entrenamiento de fuerza. De acuerdo con una revisión sistemática y un metaanálisis realizado por Roberts,

Nuckols y Krieger (2020) (55), ambos sexos muestran adaptaciones similares al entrenamiento de fuerza para la hipertrofia y la fuerza de los miembros inferiores, aunque existe una diferencia moderada a favor de las mujeres en lo que respecta a la fuerza de los miembros superiores. Esta discrepancia puede atribuirse a factores neurales, musculares y de aprendizaje motor. Además, tanto la genética como la edad y los factores del estilo de vida pueden influir en los niveles de fuerza, tanto en hombres como en mujeres (55).

Además de las diferencias biológicas, factores como la técnica de ejecución y la activación muscular pueden influir en la respuesta al entrenamiento de fuerza entre hombres y mujeres. Estudios han demostrado que hombres y mujeres pueden utilizar patrones de movimiento ligeramente diferentes durante ciertos ejercicios, lo que puede afectar la activación de grupos musculares específicos (56). Según Mehls et al. (2022) (57), los hombres activan el bíceps femoral en mayor

medida que las mujeres durante la fase descendente de la elevación de la sentadilla tradicional, aunque esta activación no es estadísticamente significativa en el vasto lateral, vasto medial, recto femoral, glúteo mayor, semitendinoso y bíceps femoral, lo cual podría influir en la forma en que cada sexo responde al entrenamiento de fuerza en miembros inferiores.

Aun así, la investigación indica que, aunque los hombres pueden tener un GE absoluto más alto durante el ejercicio de fuerza debido a su mayor masa muscular y tasas

metabólicas, las mujeres pueden ser más eficientes en el uso de energía durante ciertas formas de ejercicio de fuerza, posiblemente debido a diferencias en la activación muscular y patrones de movimiento (58). A pesar de ello, es necesaria más investigación que evaluar el GE durante el entrenamiento de fuerza en adultos jóvenes sanos y deportistas (59). La mayoría de la literatura existente analiza el GE postejercicio o en reposo en personas obesas o mayores, y, sobre todo, se ha centrado en el entrenamiento de resistencia.

EXPLORANDO LA FUERZA MUSCULAR: DEFINICIONES Y COMPONENTES EN EL CONTEXTO DE LA SALUD Y EL RENDIMIENTO DEPORTIVO

Inicialmente, la fuerza como capacidad física se define como la capacidad neuromuscular de superar resistencias externas o internas, gracias a la contracción muscular, de forma estática o dinámica (60). Otros la definen como la capacidad de ejercer fuerza contra una resistencia, la cual puede o no implicar movimiento de las articulaciones o del cuerpo (61). Más recientemente se ha definido la fuerza muscular como una propiedad biomecánica esencial que permite el movimiento humano y se define como la capacidad del tejido muscular para desarrollar la máxima fuerza desde un músculo o grupo de músculos a una velocidad (V) dada (62).

Bouchard et al. (1994) (63) propone diferentes componentes que se vinculan tanto con la salud como con el rendimiento deportivo. Los elementos de salud incluyen la función cardiorrespiratoria como la potencia aeróbica máxima o la funcionalidad del corazón, componentes musculares tales como la fuerza, la potencia y la resistencia muscular; habilidades motoras incluyendo la agilidad, el equilibrio y la coordinación, componente motor composición corporal, densidad ósea o la flexibilidad y factores metabólicos como la tolerancia a la glucosa, el metabolismo de los lípidos y las lipoproteínas o la oxidación de sustratos específicos (63). Se ha reconocido que, aunque la capacidad física tiene una base genética, también es considerablemente afectada por el entorno, incluyendo la actividad física, el sedentarismo y otros estilos de vida (64).

Por lo tanto, todas las definiciones citadas, pueden ser extendidas al ámbito deportivo, donde la fuerza muscu-

lar se utiliza para medir y definir el rendimiento funcional de un deportista, siendo clasificada como uno de los pilares principales del desarrollo deportivo.

Conociendo los diferentes tipos de acciones musculares.

Antes de introducimos en este apartado, es importante destacar que hablamos de acciones en lugar de contracciones musculares, dado que las contracciones llevan consigo el hecho de acortar, y a continuación comprenderemos que hay ciertas acciones musculares en las que existe una ausencia de movimiento de la articulación implicada en el ejercicio (65).

Una vez conocemos lo anterior, es importante saber que los tipos de acciones musculares son fundamentales para entender cómo los músculos producen movimiento. La acción muscular se refiere al proceso por el cual las células musculares generan tensión, generalmente resultando en movimiento o fuerza (66). Existen tres tipos principales de músculos: esqueléticos, cardíacos y lisos. Los músculos esqueléticos se unen a los huesos y los mueven entre sí, el músculo cardíaco comprende el corazón, bombeando sangre a través de la vasculatura, y el músculo liso no contiene sarcómeros, pero usa la contracción de los filamentos de actina y miosina para constreñir vasos sanguíneos y mover el contenido de órganos huecos en el cuerpo (67).

Las acciones musculares pueden clasificarse en tres tipos:



- Acción muscular dinámica: implican una variación de la longitud del músculo y, en consecuencia, la generación de fuerza y movilización de un segmento logrando vencer a una resistencia externa. Estas acciones, que anteriormente eran conocidas como isotónicas, producen:

- Acciones concéntricas: ocurren cuando la fuerza producida por el propio músculo vence a la fuerza aplicada al músculo, lo cual supone un acortamiento del sistema músculo-tendinoso mientras se contrae. Se ha observado que este tipo de acciones no suponen daño muscular significativo (68).

- Acciones excéntricas: ocurren cuando una fuerza aplicada al músculo excede la fuerza producida por el propio músculo, lo que resulta en el alargamiento forzado del sistema músculo-tendinoso mientras se contrae (69). Este tipo de acciones suponen ganancias de fuerza, adaptaciones neurales y permiten una mejor distribución de la carga de trabajo (70)

- Acción muscular estática: en este caso, la longitud del músculo mientras se produce la tensión no varía, el músculo no se acorta y no hay movimiento. Se ha demostrado que este tipo de acción es tan válido como la dinámica en lo relacionado con la salud y el rendimiento físico y consigue beneficios similares a las acciones dinámicas (71)

Las acciones musculares están reguladas por las vías de señalización, que son similares en los músculos estriados (esqueléticos y cardíacos) y lisos, aunque existen diferencias importantes que pueden atribuirse a los distintos roles funcionales de los diferentes tipos de músculos (67). Los músculos se activan en respuesta a la despolarización, la activación de receptores acoplados a proteínas G y otros estímulos. Las fibras de actomiosina responsables de la contracción requieren un aumento en los niveles de calcio citosólico, que las vías de señalización inducen al promover la entrada de fuentes extracelulares o la liberación de almacenes intracelulares. Los aumentos en el calcio citosólico estimulan numerosas vías de señalización dependientes del calcio que también pueden regular la contracción (66).

HERRAMIENTAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA FUERZA MUSCULAR

Una vez conocemos los tipos de acciones musculares, es importante conocer cómo podemos evaluarlas, y es que la evaluación de la fuerza muscular no solo es importante para la salud física, sino que también lo es para el rendimiento deportivo y la rehabilitación. Existen varios métodos para medir la fuerza muscular que han ido evolucionando a lo largo de los años. La elección del método de evaluación de la fuerza muscular dependerá de los objetivos específicos de la evaluación, el grupo muscular en cuestión y los recursos disponibles. En muchos casos, se utilizan múltiples métodos para obtener una imagen completa de la fuerza y la función musculares de un individuo (72).

En primer lugar, la **dinamometría manual** es una técnica que se utiliza para medir la fuerza de agarre de la mano y se ha convertido en un método cada vez más

popular, rentable y fácil de usar (73) y su atractivo se ha visto acentuado por estudios que informan que la dinamometría manual muestra una fiabilidad comparativamente alta en una gran variedad de poblaciones (73,74)

Otro de los métodos más utilizados y tradicionales para la evaluación de la fuerza máxima es la **repetición máxima** (IRM) (75). El interés en el uso de este método para la evaluación de la fuerza radica en que la IRM se basa en la idea de que las pruebas con barras libres reflejarán la fuerza funcional del deportista de manera más precisa. Esto es debido a que se considera que evaluar los efectos del entrenamiento dentro de un contexto específico proporciona una medida más sensible, lo que representa una evaluación más precisa de la ganancia de fuerza (76).

Por su parte, la **dinamometría isocinética** se ha considerado durante mucho tiempo como un método principal para evaluar la función muscular y los desequilibrios en entornos clínicos, de investigación y deportivos (77). A menudo se considera como el criterio estándar de oro o "gold standard", ya que la evaluación puede proporcionar la cuantificación de una variedad de índices de función muscular (por ejemplo, torque pico y promedio, ángulo articular de torque pico, trabajo y potencia) (78). La dinamometría isocinética es muy respetada porque ha demostrado detectar lesiones (79), así como discriminar entre el nivel de juego/estado de entrenamiento (80) de diferentes deportistas.

A pesar de los posibles beneficios de la evaluación de la fuerza muscular mediante dinamometría isocinética, es importante destacar que estos dispositivos limitan la realización de ejercicios funcionales. Esto se debe principalmente a que las condiciones "isocinéticas" no reflejan las actividades de la vida cotidiana ni las acciones deportivas, ya que implican movimientos aislados con restricciones articulares que difieren significativamente de los movimientos naturales y deportivos. Esta discrepancia en el funcionamiento de las articulaciones involucradas llevó a los investigadores a desarrollar nuevas herramientas de evaluación, como la **dinamometría electromecánica funcional** (DEMF) de la que hablaremos a continuación (81).

DINAMOMETRÍA ELECTROMECAÁNICA FUNCIONAL: AVANCES EN EVALUACIÓN Y ENTRENAMIENTO DE LA FUERZA MUSCULAR

La **DEMF** surge hace poco más de diez años con el propósito de dar un paso adelante en el ámbito del entrenamiento y el control de la fuerza muscular. De hecho, este dispositivo posibilita el entrenamiento y la evaluación de las diversas manifestaciones de la fuerza muscular al mismo tiempo en un ambiente controlado que se asemeja lo máximo posible al movimiento deportivo específico o a cualquier actividad cotidiana que deseemos evaluar o mejorar.

La DEMF se caracteriza por su facilidad de uso y bajo costo en comparación con el estándar de oro o "gold standard" (es decir, el dispositivo isocinético), lo que le permite trabajar en modos dinámicos o estáticos, permitiendo evaluar y entrenar a través de resistencia/velocidad constante y variable. La DEMF cuenta con siete modos diferentes de trabajo:

1. **Tónico**: este modo posibilita el ajuste de la carga del ejercicio, ya sea estableciendo una carga constante o una carga que varía de manera lineal. Además, hace posible definir la carga inicial y final para cada fase del movimiento.
2. **Cinético**: este modo facilita la configuración de la V del ejercicio, permitiendo especificar una V constante o una V que cambia de manera lineal. Se puede definir la V inicial y final para cada fase del movimiento.

3. **Elástico**: este modo de trabajo simula la acción de una banda elástica, y se puede especificar su constante de elasticidad.
4. **Inercial**: este modo trabaja como si se tratase de un disco inercial y permite definir su masa.
5. **Cónico**: este modo trabaja como un dispositivo cónico al que se le pueden establecer parámetros como la distancia entre el vértice del cono, la altura del cono y su masa inercial.
6. **Isométrico**: este modo es completamente estático. Aquí el ejercicio se realiza, pero no existe movimiento alguno.
7. **Vibratorio**: este modo implica la aplicación de una vibración o estímulo sobre un ejercicio estático. El factor controlado en este caso es el nivel de vibración, que regula la intensidad del estímulo.

La validez y fiabilidad de este dispositivo ha sido ampliamente estudiada y contrastada en diferentes articulaciones y poblaciones en los últimos años y se ha demostrado que se trata de un dispositivo altamente válido y fiable para la evaluación de la fuerza muscular en diversos ámbitos (82–86). Sin embargo, hasta ahora no se ha evaluado la fiabilidad de la sentadilla, ejercicio objeto de estudio en la presente tesis doctoral, con este dispositivo.



CONSIDERACIONES METABÓLICAS EN EL ENTRENAMIENTO DE FUERZA: PRODUCCIÓN DE LACTATO

Profundizando algo más en el ámbito fisiológico, el lactato emerge como un marcador metabólico intrínsecamente ligado a la actividad física, sujeto a un escrutinio meticuloso durante muchos años en el ámbito del rendimiento deportivo de resistencia (87). En efecto, múltiples estudios sostienen que la intensidad del ejercicio asociada al aumento de lactato sanguíneo respecto a los niveles en reposo constituye un indicador crucial del rendimiento en el entrenamiento de resistencia (88). Por otra parte, el umbral de lactato señala el punto en el cual las concentraciones de lactato en sangre comienzan a incrementarse de manera exponencial a partir de los valores en reposo (89). En contraste, el estudio de esta variable durante el entrenamiento de fuerza ha sido abordado de manera más limitada y reciente; no obstante, existe literatura que sugiere su relevancia (90,91).

En este contexto, resulta fundamental comprender cómo varía la producción de lactato en distintas intensidades de entrenamiento de fuerza, prestando atención particular a la variación en la prescripción de repeticiones y el porcentaje de carga en ejercicios como la sentadilla (91). La evaluación de los niveles de lactato durante el entrenamiento de fuerza y la recuperación reviste

importancia, ya que proporciona valiosa información sobre la respuesta metabólica al ejercicio y la eficacia de las sesiones de entrenamiento (91). La producción de lactato está estrechamente relacionada con el metabolismo energético y puede emplearse como biomarcador para la oxidación de grasas en los músculos esqueléticos (92). El monitoreo de los niveles de lactato durante las sesiones de entrenamiento puede ayudar a los entrenadores y atletas a comprender el grado de descomposición del trifosfato de adenosina y la contribución del sistema energético en los sprints intensos (93). Adicionalmente, las mediciones de lactato pueden emplearse para estimar la intensidad del estado estable máximo de lactato, que representa el equilibrio entre la aparición y la eliminación de lactato en el torrente sanguíneo (94). En este sentido, el aclaramiento de lactato durante los períodos de recuperación puede indicar la capacidad del organismo para recuperarse y adaptarse al estímulo del entrenamiento (95). En resumen, la evaluación de los niveles de lactato durante el entrenamiento de fuerza y la recuperación proporciona perspectivas sobre el metabolismo energético, la efectividad del entrenamiento y la capacidad de recuperación.

02

APROXIMACIÓN AL PROBLEMA



Como se ha podido sostener en la conceptualización anterior, es realmente necesario investigar el GE con el fin de tener una idea de las implicaciones del ejercicio físico, no solo en el rendimiento deportivo, sino también en la condición de salud general (36). En la sociedad actual, caracterizada por un aumento alarmante en los niveles de sedentarismo y la aparición de enfermedades crónicas derivadas del estilo de vida (96), no se puede subestimar la importancia de la actividad física (97). De hecho, el sedentarismo supone uno de los mayores desafíos de salud pública del siglo actual (98). Además, los bajos NAF han sido relacionados con los problemas de salud mencionados anteriormente (99), así como con el deterioro de la salud mental (100), el aumento de los niveles de estrés (101) y la disminución de la calidad de vida (102). De este modo, el ejercicio físico regular no solo mejora la capacidad funcional y el rendimiento deportivo, sino que también es fundamental para la prevención y tratamiento de enfermedades crónicas como

la obesidad, la diabetes mellitus tipo 2, la enfermedad coronaria, cerebrovascular y ciertos tipos de cáncer, entre otros (103).

A pesar de su importancia, la literatura científica actual no proporciona suficiente información en cuanto a la medición precisa del GE durante diferentes tipos de entrenamiento (104) siendo el entrenamiento de fuerza uno de los ámbitos con más lagunas significativas (105). Sin esta información detallada, es imposible obtener una comprensión holística de cómo diferentes mecanismos pueden afectar el GE y, en consecuencia, la planificación y optimización del entrenamiento (3). La precisión en la medición del GE es clave para desarrollar futuras recomendaciones basadas en evidencia y adaptables tanto a atletas de élite como a la población general con aspiraciones de salud y ejercicio, ambos en busca de mejorar su salud y bienestar a través del ejercicio físico (106,107).

En consecuencia, se consideró especialmente relevante el desarrollo de la presente tesis doctoral, estructurada en varios estudios específicos, cada uno de ellos diseñado para abordar diferentes dimensiones de esta problemática y llenar los vacíos identificados en la literatura científica. Entre los tópicos a tratar, se comenzará por la evaluación de la fiabilidad de los métodos más utilizados para medir el GE durante la práctica de ejercicio físico: la calorimetría indirecta y la acelerometría. La fiabilidad de estos métodos es esencial para garantizar la precisión y consistencia de las mediciones de GE en diferentes contextos. Una medición precisa es fundamental para desarrollar recomendaciones basadas en evidencia que puedan aplicarse tanto a atletas de alto rendimiento como a la población general. Además, estos métodos deben ser validados exhaustivamente antes de ser utilizados en estudios de investigación y en la práctica clínica (108).

No todos los dispositivos o métodos de medida son precisos. Para garantizar la calidad de sus mediciones, los instrumentos deben pasar por un proceso exhaustivo de validación y fiabilidad antes de asegurar la calidad o precisión de sus mediciones (109). Este proceso consiste en ajustar el dispositivo al ejercicio y al área donde se va a utilizar; comprobando su fiabilidad, validez, sensibilidad y viabilidad (110). Debido a la nueva tecnología y a la amplia gama de dispositivos desarrollados y comercializados, es importante que los investigadores sean conscientes de la precisión de medida de estos dispositivos. Para ello, se necesitan estudios que evalúen dicha fiabilidad. Por eso, el primer estudio busca proporcionar datos precisos y comparar la fiabilidad de la calorimetría indirecta y la acelerometría, abordando así una necesidad crítica en la literatura científica actual.

En la misma línea, no solo es importante el análisis de la fiabilidad de los diferentes métodos para evaluar el GE, sino también asegurar la precisión y consistencia de las evaluaciones en el contexto del entrenamiento de fuerza. La DEMF es una tecnología relativamente nueva que ha demostrado ser fiable para evaluar y controlar el rendimiento muscular en diversos ejercicios, incluidos aquellos que involucran grandes grupos musculares y movimientos complejos como las sentadillas (82–85, 111, 112). Sin embargo, la fiabilidad de la DEMF en la medición de variables durante ejercicios específicos como la media sentadilla aún no había sido evaluada exhaustivamente.

La necesidad de realizar este estudio se sustenta en varios aspectos clave. En primer lugar, las sentadillas son uno de los ejercicios más populares y efectivos para el

desarrollo de la fuerza en las extremidades inferiores, utilizados tanto en programas de acondicionamiento físico como en rehabilitación (113, 114). Además, este ejercicio es fundamental en la vida diaria, ya que imita movimientos funcionales como subir escaleras, levantar objetos del suelo o levantarse de una silla (115–117). Evaluar la fiabilidad de la DEMF en este contexto es crucial para asegurar que las mediciones de rendimiento sean precisas y puedan ser utilizadas para optimizar tanto el entrenamiento deportivo como la rehabilitación.

Además, la diferencia en GE entre hombres y mujeres durante el entrenamiento de sentadilla no puede ser pasado por alto en la investigación sobre ejercicio físico y salud. Ciertos estudios han demostrado hasta el momento que los hombres tienden a tener un GE significativamente mayor que las mujeres durante ejercicios de fuerza (53), pero no se han estudiado concretamente en el ejercicio de sentadillas. Esto es debido en parte a una mayor masa muscular, la cual requiere más energía para su mantenimiento (54). Esta diferencia en el GE no solo está influenciada por el sexo, sino también por el IMC, lo cual ha sido incluso menos estudiado.

Por último, existen otras variables fisiológicas especialmente relevantes para optimizar la efectividad del entrenamiento de fuerza, como el GE, el volumen de oxígeno (VO_2), FC, la V y la producción de lactato. Estas variables proporcionan una visión detallada de las demandas metabólicas y el estrés cardiovascular impuestos por diferentes protocolos de entrenamiento (118). La producción de lactato, en particular, es un marcador metabólico que ha sido ampliamente estudiado en el ámbito del ejercicio de resistencia, pero su comportamiento durante el entrenamiento de fuerza necesita ser explorado con mayor detalle. Comprender cómo varía la producción de lactato en diferentes intensidades de entrenamiento de fuerza y su relación con otros parámetros fisiológicos como el GE, VO_2 , FC y V, es esencial para entender su comportamiento en función de la prescripción de repeticiones y el porcentaje de carga en la sentadilla (87, 91). La producción de lactato está estrechamente correlacionada con el metabolismo energético y puede utilizarse como biomarcador para la oxidación de grasas en los músculos esqueléticos (92, 93).

Desafortunadamente, hasta el momento no hay muchos estudios que evalúen variables fisiológicas como el GE, VO_2 , FC, V y producción de lactato de manera conjunta comparando diferentes protocolos de entrenamiento de sentadillas, aunque sí se han estudiado individualmente, pero no en gran medida, durante el entrenamiento de fuerza (54, 119, 120). Los estudios que se han centrado



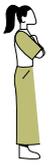
en la evaluación de estas variables han proporcionado conocimientos valiosos sobre los efectos de variar las cargas de entrenamiento en variables fisiológicas específicas. Sin embargo, hay una falta de investigación que se enfoque específicamente en cómo varían estas variables dependiendo del número de series, repeticiones y tiempo de descanso establecidos en cada protocolo de entrenamiento (121). Entender cómo varían estas variables es crucial para prescribir programas de entrenamiento a diferentes grupos poblacionales (122). Además, evaluar los niveles de lactato durante los períodos de recuperación puede ser indicativo de la capacidad del cuerpo para recuperarse y adaptarse al estímulo del entrenamiento (95).

Por todo ello, los dos últimos estudios que conforman y cierran esta tesis doctoral, se han centrado en la evaluación y combinación de mediciones, lo cual permite una comprensión integral de la interacción entre las diferentes variables fisiológicas y sus efectos acumulativos. Con la evaluación de estas variables en estos trabajos, se aporta conocimiento de cara a la adaptación de los programas de entrenamiento, la maximización de las ganancias de fuerza y la minimización del riesgo de lesión.

En definitiva, de manera conjunta, esta tesis doctoral ofrece una evaluación exhaustiva de la fiabilidad de diferentes métodos para evaluar el GE, validando la precisión y consistencia de estos métodos en el contexto del entrenamiento de fuerza. Además, se establece la fiabilidad de la DEMF durante el entrenamiento de fuerza, asegurando que los datos obtenidos sean precisos y consistentes. La investigación también aborda las diferencias de sexo en el GE durante el entrenamiento de fuerza, proporcionando conocimientos cruciales para el desarrollo de programas de entrenamiento más efectivos y personalizados. Finalmente, se realiza una evaluación integral de diferentes variables fisiológicas, como el VO_2 , la FC, la V y la producción de lactato durante el entrenamiento de sentadillas. Estos hallazgos proporcionan guías basadas en evidencia para entrenadores y profesionales de la salud, optimizando la prescripción de ejercicios y maximizando los beneficios del entrenamiento de fuerza, al tiempo que minimizan los riesgos. Al llenar vacíos significativos en la literatura, esta investigación profundiza en la comprensión de las respuestas fisiológicas al entrenamiento de fuerza, contribuyendo al desarrollo de estrategias de entrenamiento más efectivas y seguras para diversas poblaciones.

03

OBJETIVOS



La presente tesis doctoral tiene como objetivo principal determinar el efecto del entrenamiento de fuerza controlado mediante DEMF sobre el GE en diversas condiciones y poblaciones. Para alcanzar este objetivo, se han establecido una serie de objetivos específicos, los cuales se abordan en cinco estudios diferenciados. Estos estudios buscan proporcionar una comprensión más profunda y precisa del papel del DEMF en la evaluación y optimización del rendimiento en ejercicios de fuerza,

así como en la caracterización del GE y otras respuestas fisiológicas clave durante el entrenamiento de sentadillas. Cabe destacar que todos los estudios experimentales de esta tesis doctoral han evaluado diferentes variables utilizando dos protocolos de entrenamiento de sentadillas: 3 series de 30 repeticiones al 50 % de la 1RM y otras 3 series de 12 repeticiones al 75 % de la 1RM. A continuación, se detallan con mayor precisión los objetivos específicos de cada uno de los cinco estudios:

ESTUDIO 1: FIABILIDAD TEST-RETEST DE LA CALORIMETRÍA INDIRECTA Y LA ACELEROMETRÍA PARA EVALUAR EL GASTO ENERGÉTICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS

- Evaluar la fiabilidad test-retest de la calorimetría indirecta y la acelerometría como métodos para medir el GE durante el ejercicio físico.
- Comparar la fiabilidad test-retest de la calorimetría indirecta y la acelerometría en poblaciones sanas y en poblaciones con patologías específicas.

ESTUDIO 2: FIABILIDAD TEST-RETEST DEL DEMF PARA EL EJERCICIO DE SENTADILLAS

- Evaluar la fiabilidad test-retest de la DEMF en la medición del rango de movimiento (ROM), fuerza dinámica media (FDM), fuerza dinámica máxima (FDP), velocidad media (VM), velocidad máxima (VP), potencia media (PM), potencia máxima (PP), trabajo (W) e impulso (I), durante el ejercicio de sentadilla en adultos jóvenes sanos.
- Comparar la fiabilidad de las mediciones de la DEMF entre dos protocolos de entrenamiento de sentadilla.

ESTUDIO 3: LOS HOMBRES TIENEN UN GASTO ENERGÉTICO MAYOR QUE LAS MUJERES DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS

- Cuantificar y comparar el GE durante y después del entrenamiento de sentadillas en hombres y mujeres, utilizando dos protocolos de entrenamiento de sentadilla diferentes.
- Analizar la relación entre el IMC y el GE en hombres y mujeres para identificar diferencias significativas en la respuesta metabólica al entrenamiento de fuerza.



ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO, VO_2 , FRECUENCIA CARDIACA Y VELOCIDAD

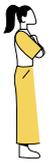
- Evaluar cómo varían el GE, el VO_2 , la FC y la V durante dos protocolos diferentes de entrenamiento de sentadillas.

ESTUDIO 5: LA INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA EN LA PRODUCCIÓN DE LACTATO DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS UTILIZANDO UN DEMF.

- Evaluar cómo varía la producción de lactato durante dos protocolos de entrenamiento de sentadillas.
- Investigar cómo los niveles de actividad física previos afectan a los cambios en la producción de lactato durante y después del entrenamiento de sentadillas en adultos jóvenes saludables.
- Examinar las diferencias en la producción de lactato post-ejercicio entre hombres y mujeres tras realizar entrenamiento de sentadillas, para evaluar la eficiencia metabólica.

04

HIPÓTESIS



Para abordar los objetivos específicos planteados en esta tesis doctoral, se han formulado una serie de hipótesis que guiarán la investigación en cada uno de los estudios desarrollados. Estas hipótesis buscan prever los posibles resultados y tendencias que se derivarán de la aplicación de los distintos métodos de evaluación y protocolos de

entrenamiento, permitiendo así una mejor comprensión de los efectos del entrenamiento de fuerza controlado con DEMF sobre el GE y otras variables fisiológicas. A continuación, se presentan las hipótesis correspondientes a cada uno de los cinco estudios que conforman esta investigación.

ESTUDIO 1: FIABILIDAD TEST-RETEST DE LA CALORIMETRÍA INDIRECTA Y LA ACELEROMETRÍA PARA EVALUAR EL GASTO ENERGÉTICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS.

- La calorimetría indirecta y la acelerometría mostrarán una alta fiabilidad para la evaluación del GE durante el ejercicio físico, pero diferirán en su grado de precisión y aplicabilidad en diferentes poblaciones.
- La fiabilidad de la calorimetría indirecta para medir el GE durante el ejercicio será superior a la de la acelerometría.
- La fiabilidad de la medición del GE en sujetos sanos será superior a la de aquellos con patologías específicas.

ESTUDIO 2: FIABILIDAD TEST-RETEST DEL DEMF PARA EL EJERCICIO DE SENTADILLAS.

- El protocolo de entrenamiento de sentadillas controlado con DEMF demostrará una alta fiabilidad test-retest para todas las variables, en los dos protocolos de entrenamiento de sentadillas.
- La comparación de la fiabilidad entre los dos protocolos de entrenamiento de sentadillas revelará diferencias significativas en la consistencia de las mediciones, potencialmente mostrando mayor fiabilidad en el realizado al 50 % de la 1RM.

ESTUDIO 3: LOS HOMBRES TIENEN UN GASTO ENERGÉTICO MAYOR QUE LAS MUJERES DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS.

- Los hombres mostrarán un GE mayor en comparación con las mujeres durante y después de protocolos de entrenamiento de sentadillas, tanto al 50 % como al 75 % de 1RM.
- El IMC influirá significativamente en el GE, revelando diferencias asociadas al sexo en la respuesta metabólica al entrenamiento de fuerza.



ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO, VO_2 , FRECUENCIA CARDIACA Y VELOCIDAD.

- El entrenamiento de sentadillas generará diferencias significativas en el GE, el VO_2 , la FC y la V conforme avancen las series.

ESTUDIO 5: LA INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA EN LA PRODUCCIÓN DE LACTATO DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS UTILIZANDO UN DEMF.

- El entrenamiento de sentadillas generará diferencias significativas en la producción de lactato, dependiendo del NAF previo de los individuos.
- El sexo influirá en las respuestas fisiológicas al entrenamiento de sentadillas, especialmente en términos de producción de lactato y GE, con hombres y mujeres mostrando patrones metabólicos distintos.
- La edad y el IMC estarán asociados positivamente con cambios en la producción de lactato post-ejercicio, indicando una adaptación metabólica diferencial según estas variables durante el entrenamiento de fuerza.

05

MATERIALES Y
MÉTODOS



La presente Tesis Doctoral contiene un total de cinco estudios diferentes. El proceso de recolección de datos de este trabajo comenzó en noviembre de 2021 y finalizó en febrero de 2022 en el Strength & Conditioning Lab de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Granada. Además, todos los protocolos, di-

seño experimental y consentimiento informado de este estudio fueron aprobados por el Comité de Ética en Investigación de la Universidad de Granada (n.º 2182/CEIH/2021) y se llevó a cabo siguiendo la Declaración de Helsinki.

ESTUDIO I: FIABILIDAD TEST-RETEST DE LA CALORIMETRÍA INDIRECTA Y LA ACELEROMETRÍA PARA EVALUAR EL GASTO ENERGÉTICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS.

Este protocolo de revisión fue desarrollado de acuerdo con la declaración de Elementos Preferidos para Informes de Revisiones Sistemáticas y Meta-Análisis (PRISMA) (123). Antes de comenzar la revisión, el protocolo fue registrado en el Registro Prospectivo Internacional de Revisiones Sistemáticas (PROSPERO) (número de registro CRD42021221354). El diagrama de flujo de la presentación de esta revisión sistemática se basó en las directrices PRISMA (123).

Diseño del estudio

Se llevó a cabo una revisión sistemática y un meta-análisis el 31 de enero de 2024 para resumir el conocimiento actual sobre la fiabilidad test-retest de diferentes métodos para medir el GE durante la práctica de ejercicio físico. Se incluyeron resúmenes tanto cualitativos como cuantitativos: (1) una revisión cualitativa de los factores que influyen en la fiabilidad y (2) un meta-análisis cuantitativo para estimar la fiabilidad de la prueba de GE actual (medida por el ICC).

Estrategia de búsqueda

Se identificaron estudios originales de investigación cuantitativa a través de la búsqueda en las cuatro principales bases de datos electrónicas: Web of Science, SCOPUS, SportDiscus y PubMed. La búsqueda bibliográfica se realizó combinando diferentes Encabezados de Materias Médicas (MeSH) y otros términos. Se combinaron las siguientes tres familias de términos para (a) identificar estudios que examinaron la fiabilidad de (b) las mediciones de GE y para (c) identificar la población de estudio: (a) "reproducibility of results", "reliability", "reproducibility", and "test-retest", (b) "energy expenditure", "energy metabolism", "caloric expenditure", "caloric cost", "energy consumption", "metabolic cost", "indirect calorimetry", and "direct calorimetry" and (c) "humans", "human being", "male" and "female". Finalmente, estas tres familias se combinaron utilizando el operador booleano "Y". La búsqueda se realizó utilizando el método de búsqueda booleana, que limita los resultados de búsqueda con operadores que incluyen Y/O a solo aquellos documentos que contienen términos clave relevantes en el alcance de esta revisión. Además, se examinaron las bi-

bliografías de otras revisiones previas relacionadas y los estudios finalmente seleccionados para buscar nuevos estudios. Otra posible evidencia científica relacionada con el tema se identificó contactando a los autores de los artículos publicados por correo electrónico.

Dos revisores independientes examinaron el título/resumen de los artículos encontrados en las bases de datos. Después de la selección inicial, analizaron cada estudio con los criterios de inclusión. Cada criterio se evaluó como sí/no. Si existían discrepancias entre los autores, las calificaciones de los artículos se compartieron y discutieron hasta llegar a un consenso con otro tercer revisor. Los autores estaban familiarizados con la literatura existente y no tenían un sesgo diferente con ninguno de los estudios seleccionados para su inclusión en la revisión.

Criterios de elegibilidad

Los estudios fueron elegibles para su inclusión en el meta-análisis cuantitativo si (a) los estudios estaban en inglés o español, (b) el GE y el protocolo de medición estaban indicados, (c) los valores medios de ICC a lo largo de todos los bordes, así como el número de sujetos y pruebas (utilizados para estimar la varianza), podían determinarse fácilmente a partir del texto. Los artículos que cumplían con los criterios de inclusión fueron identificados y se obtuvieron sus versiones completas. Para los estudios donde se presentaron múltiples resultados de ICC, se buscó un resultado mediano para el análisis cuantitativo.

Evaluación de calidad

Se utilizó una versión adaptada de la lista de verificación de Fortalecimiento del Reporte de Estudios Observacionales en Epidemiología (STROBE) como se aplicó en O'Reilly et al. (2009) (122) para evaluar la calidad del reporte del estudio. La evaluación de la calidad de cada ítem se puntuó como 1 (es decir, presente) o 0 (es decir, no presente). La puntuación total resultante (es decir, la suma de cada ítem) se consideró de acuerdo con el siguiente nivel: (0 a 7 puntos) "baja calidad", o (7 a 10 puntos) "alta calidad". Dos autores realizaron la evalua-



ción de calidad de los estudios incluidos. Cada artículo fue evaluado y si surgía alguna discrepancia, se discutía y resolvía mediante una decisión de consenso.

Proceso de recolección de datos

Se utilizó R para todos los análisis estadísticos en R Core Team (2017) (124). Los datos de Excel fueron extraídos con la función `read.xls` en Gdata (125).

Se utilizó el paquete `metafor` para realizar los resultados del análisis de meta-análisis (126). Se utilizó la función `RMA.VM` para calcular una estimación meta-analítica del ICC de la población con estudios anidados por conjunto de datos; se especificaron efectos aleatorios para el conjunto de datos y el modelo resultante se ajustó utilizando la Estimación del Máximo Verosimilitud Restringida. Este procedimiento ha sido documentado para el meta-análisis formal de valores de ICC (127); en cuanto a ellos, usamos dos supuestos para realizar un meta-análisis basado en ICC y hemos proporcionado nuestras justificaciones. Primero, se realizó un meta-análisis utilizando los valores ICC brutos con el supuesto de que estos se distribuían normalmente. En segundo lugar, asumimos que la varianza del ICC para cada estudio podría aproximarse como lo establecieron Donner (1986); a través de Shoukri et al (2016) establecido (128).

Se crearon gráficos de bosque de todos los estudios incluidos en el meta-análisis utilizando la función de bosque. Se creó un gráfico de embudo que muestra la relación entre los coeficientes de ICC y sus errores estándar estimados con la función de embudo. Se evaluó la heterogeneidad con la prueba de Cochran's Q, y el sesgo de publicación se evaluó estimando la asimetría del gráfico de embudo mediante la prueba de regresión clasificada (función de prueba de rango). Se consideraron algunas variables para formar subgrupos, como el tipo de dispositivo o la condición de salud del sujeto, ya que estas son variables que pueden llevar a un sesgo. Se realizó un meta-análisis exploratorio para estimar la moderación por las siguientes características del estudio reportadas en la *Tabla 1*.

Los datos de fiabilidad extraídos por los investigadores incluyeron: dispositivo, sujetos, protocolo, coeficiente de correlación intraclase (ICC) tipo, media de ICC, intervalo de confianza (IC 95 %), error estándar de medición (SEM) y coeficiente de variación (CV) (*Tabla 2*). Para esta revisión, sugerimos que los valores de ICC por debajo de 0.5 indican baja fiabilidad, valores entre 0.5 y 0.75 indican fiabilidad moderada, valores entre 0.75 y 0.9 indican buena fiabilidad, y valores por encima de 0.90 indican excelente fiabilidad (129).

Tabla 1. Características de los estudios

AUTOR (AÑO)	MÉTODO	DISPOSITIVO	TIPO DE EJERCICIO	N	CONDICIÓN
Baldew et al. (2019) (129)	Acelerometría	Sensewear mini and Actiheart	Ejercicio aeróbico	15 mujeres and 28 hombres	Sanos
Blagrove et al. (2017) (130)	Calorimetría indirecta	Oxycon Pro	Ejercicio aeróbico	8 mujeres and 8 hombres	Sanos
Brazeau et al. (2011) (131)	Acelerometría	SenseWear Armband Pro 3	Ejercicio aeróbico	17 mujeres and 17 hombres	Sanos
Cai et al. (2022) (132)	Acelerometría	Brazalete inteligente Lexin Mio	Ejercicio aeróbico	41 mujeres and 24 hombres	Sanos
da Cunha-Filho et al. (2003) (133)	Calorimetría indirecta	Aerosport model KBI-C	Ejercicio aeróbico	9 hombres	ACV
da Cunha-Filho et al. (2007) (134)	Calorimetría indirecta	Aerosport model KBI-C	Ejercicio aeróbico	25 mujeres and 15 hombres	Sanos
DeBlois et al. (2021) (135)	Calorimetría indirecta	Cosmed K5	Ejercicio aeróbico	15 mujeres and 12 hombres	Sanos
Harrison et al. (2013) (136)	Acelerometría	SenseWear Armband Pro 2	Ejercicio aeróbico	20 hombres	EPOC
Kempen et al. (2014) (137)	Calorimetría indirecta	Metamax 3B	Ejercicio aeróbico	19 hombres	DMD
Munguía-Izquierdo et al. (2019) (138)	Acelerometría	SenseWear Armband Pro 3	Ejercicio aeróbico	25 mujeres	SFM
Slootmaker et al. (2009) (139)	Acelerometría	Personal Activity Monitor	Ejercicio aeróbico	18 mujeres and 14 hombres	Sanos
Swan et al. (1997) (140)	Acelerometría	Acelerómetro Caltrac	Ejercicio aeróbico	31 mujeres	Sanos
Troutman et al. (2009) (141)	Acelerometría	MINI-LOGGER® Series 2000 and Acelerómetro Caltrac	Ejercicio aeróbico	15 mujeres and 16 hombres	Sanos

ACV: accidente cerebrovascular; EPOC: enfermedad pulmonar obstructiva crónica; DMD: distrofia muscular de Duchenne; SFM: síndrome de fibromialgia.

Tabla 2. Reliability of devices to measure EE during physical exercise

AUTOR (AÑO)	DISPOSITIVO	SUJETOS	PROTOCOLO	TIPO DE ICC	ICC MEDIA	CI	SEM	CV
BALDEW ET AL. (2019)	Sensewear mini	Adultos sanos surinameses	Andar a ritmo bajo	ICC (3,2)	0.80	0.60–0.90	No indicado	No indicado
	Sensewear mini	Adultos sanos surinameses	Andar a ritmo moderado	ICC (3,2)	0.87	0.74–0.94	No indicado	No indicado
	Sensewear mini	Adultos sanos surinameses	Andar a ritmo vigoroso	ICC (3,2)	0.61	0.30–0.80	No indicado	No indicado
	Sensewear mini	Adultos sanos belgas	Andar a ritmo bajo	ICC (3,2)	0.49	0.12–0.74	No indicado	No indicado
	Sensewear mini	Adultos sanos belgas	Andar a ritmo moderado	ICC (3,2)	0.83	0.59–0.93	No indicado	No indicado
	Sensewear mini	Adultos sanos belgas	Andar a ritmo vigoroso	ICC (3,2)	0.78	0.54–0.90	No indicado	No indicado
	Actiheart	Adultos sanos surinameses	Andar a ritmo bajo	ICC (3,2)	0.76	0.54–0.88	No indicado	No indicado
	Actiheart	Adultos sanos surinameses	Andar a ritmo moderado	ICC (3,2)	0.91	0.78–0.96	No indicado	No indicado
	Actiheart	Adultos sanos surinameses	Andar a ritmo vigoroso	ICC (3,2)	0.96	0.92–0.98	No indicado	No indicado
	Actiheart	Adultos sanos belgas	Andar a ritmo bajo	ICC (3,2)	0.68	0.39–0.85	No indicado	No indicado
BLAGROVE ET AL. (2017)	Actiheart	Adultos sanos belgas	Andar a ritmo moderado	ICC (3,2)	0.75	0.50–0.89	No indicado	No indicado
	Actiheart	Adultos sanos belgas	Andar a ritmo vigoroso	ICC (3,2)	0.85	0.67–0.93	No indicado	No indicado
	Oxycon Pro	Adolescentes sanos	Correr en el punto de umbral de lactato (PUL)	ICC (2,1)	0.93	0.79–0.98	No indicado	No indicado
	Oxycon Pro	Adolescentes sanos	Correr a 1km/h bajo LTP	ICC (2,1)	0.92	0.78–0.97	No indicado	No indicado
	Oxycon Pro	Adolescentes sanos	Correr a 2km/h bajo LTP	ICC (2,1)	0.93	0.79–0.98	No indicado	No indicado



AUTOR (AÑO)	DISPOSITIVO	SUJETOS	PROTOCOLO	TIPO DE ICC	ICC MEDIA	CI	SEM	CV
BRAZEAU ET AL. (2011)	SenseWear Armband Pro 3	Adultos sanos	Andar en circuito	ICC (2,1)	No indicado	0.90-098	No indicado	No indicado
	SenseWear Armband Pro 3	Adultos sanos	Cicloergómetro	ICC (2,1)	No indicado	0.73-0.92	No indicado	No indicado
CAI ET AL. (2022)	Cosmed K5	Adultos sanos	Andar a 1,5 mph	ICC (2,1)	0.62	No indicado	No indicado	8,2%
	Cosmed K5	Adultos sanos	Andar a 2,0 mph	ICC (2,1)	0.71	No indicado	No indicado	6,0%
	Cosmed K5	Adultos sanos	Andar a 2,5 mph	ICC (2,1)	0.74	No indicado	No indicado	6,4%
	Cosmed K5	Adultos sanos	Andar a 3,0 mph	ICC (2,1)	0.76	No indicado	No indicado	6,1%
	Cosmed K5	Adultos sanos	Andar a 3,5 mph	ICC (2,1)	0.78	No indicado	No indicado	6,2%
	Cosmed K5	Adultos sanos	Andar a 4,0 mph	ICC (2,1)	0.84	No indicado	No indicado	5,0%
DA CUNHA-FILHO ET AL. (2003)	Aerosport KBI -C	Adultos y adultos mayores supervivientes de infarto	Andar	ICC (3,1)	0.64	No indicado	0.8%	No indicado
DA CUNHA-FILHO ET AL. (2007)	Aerosport KBI -C	Adultos sanos	Andar	ICC (2,1)	0.88	No indicado	3.24%	7.4%
DEBLOIS ET AL. (2021)	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFB)	Correr a 30%VO2max	ICC (2,1)	0.49	0.09-0.75	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFB)	Correr a 60%VO2max	ICC (2,1)	0.89	0.73-0.95	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFB)	Correr a 90%VO2max	ICC (2,1)	0.62	0.28-0.83	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFM)	Correr a 30%VO2max	ICC (2,1)	0.81	0.60-0.92	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFM)	Correr a 60%VO2max	ICC (2,1)	0.59	0.24-0.80	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFM)	Correr a 90%VO2max	ICC (2,1)	0.75	0.50-0.89	No indicado	No indicado
Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFV)	Correr a 30%VO2max	Correr a 30%VO2max	ICC (2,1)	0.41	-0.02-0.72	No indicado	No indicado

AUTOR (AÑO)	DISPOSITIVO	SUJETOS	PROTOCOLO	TIPO DE ICC	ICC MEDIA	CI	SEM	CV
DEBLOIS ET AL. (2021)	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFV)	Correr a 60% VO2max	ICC (2,1)	0.56	0.16-0.80	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca derecha)	Adultos sanos (AFV)	Correr a 90% VO2max	ICC (2,1)	0.23	-0.23-0.60	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFB)	Correr a 30% VO2max	ICC (2,1)	0.27	-0.16-0.62	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFB)	Correr a 60% VO2max	ICC (2,1)	0.12	-0.31-0.51	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFB)	Correr a 90% VO2max	ICC (2,1)	0.02	-0.40-0.43	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFM)	Correr a 30% VO2max	ICC (2,1)	0.24	-0.18-0.59	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFM)	Correr a 60% VO2max	ICC (2,1)	0.36	-0.06-0.67	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFM)	Correr a 90% VO2max	ICC (2,1)	0.58	0.23-0.80	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFV)	Correr a 30% VO2max	ICC (2,1)	0.19	-0.21-0.57	No indicado	No indicado
	Lexin Mio Smart Bracelet (muñeca izquierda)	Adultos sanos (AFV)	Correr a 60% VO2max	ICC (2,1)	0.27	-0.19-0.62	No indicado	No indicado
HARRISON ET AL. (2013)	SenseWear PRO2 Armband	Adultos con EPOC	Andar	ICC (2,1)	0.98	0.97-0.99	No indicado	No indicado
KEMPEN ET AL. (2014)	Metamax 3B	Niños con DMD	WECT	ICC (2,1)	0.85	0.64-0.94	0.47%	No indicado
	SenseWear Armband	Adults with fibromyalgia	Andar 50m min-1, 0%	ICC (2,1)	0.73	0.47-0.88	0.54%	No indicado
MUNGUÍA - IZQUIERDO ET AL. (2012)	SenseWear Armband	Adults with fibromyalgia	Andar 83.3m min-1, 0% inclinación	ICC (2,1)	0.72	0.45-0.87	0.56%	No indicado
	SenseWear Armband	Adults with fibromyalgia	Andar 116.7m min-1, 0% inclinación	ICC (2,1)	0.72	0.42-0.88	0.98%	No indicado
	SenseWear Armband	Adults with fibromyalgia	Running 116.7m min-1, 2.5% inclinación	ICC (2,1)	0.76	0.37-0.92	1.18%	No indicado
	Personal Activity Monitor	Adultos sanos	Andar and Andar up and down stairs	ICC (3,1)	0.80	0.28-0.92	No indicado	1,5%



AUTOR (AÑO)	DISPOSITIVO	SUJETOS	PROTOCOLO	TIPO DE ICC	ICC MEDIA	CI	SEM	CV
SWAN ET AL. (1997)	Acelerómetro Caltrac	Adultos sanos	Marcha atlética	ICC (2,1)	0.88	No indicado	No indicado	No indicado
	Acelerómetro Caltrac	Adultos sanos	Correr	ICC (2,1)	0.85	No indicado	No indicado	No indicado
	Acelerómetro Caltrac	Adultos sanos	Subida de escaleras	ICC (2,1)	0.96	No indicado	No indicado	No indicado
	GXT	Adultos sanos	Marcha atlética	ICC (2,1)	0.78	No indicado	No indicado	No indicado
	GXT	Adultos sanos	Correr	ICC (2,1)	0.86	No indicado	No indicado	No indicado
	GXT	Adultos sanos	Subida de escaleras	ICC (2,1)	0.98	No indicado	No indicado	No indicado
	MINI-LOGGER® Series 2000 (ankle)	Adolescentes sanos	Caminata ligera	ICC (2,1)	0.84	6.0%	No indicado	No indicado
	MINI-LOGGER® Series 2000 (ankle)	Adolescentes sanos	Trote intenso	ICC (2,1)	0.84	5.2%	No indicado	No indicado
	MINI-LOGGER® Series 2000 (ankle)	Adolescentes sanos	Light cycling	ICC (2,1)	0.59	7.1%	No indicado	No indicado
TROUTMAN ET AL. (1999)	MINI-LOGGER® Series 2000 (ankle)	Adolescentes sanos	Ciclismo de intensidad media a moderada	ICC (2,1)	0.75	5.9%	No indicado	No indicado
	MINI-LOGGER® Series 2000 (hip)	Adolescentes sanos	Caminata ligera	ICC (2,1)	0.61	8.6%	No indicado	No indicado
	MINI-LOGGER® Series 2000 (hip)	Adolescentes sanos	Trote intenso	ICC (2,1)	0.66	2.6%	No indicado	No indicado
	MINI-LOGGER® Series 2000 (hip)	Adolescentes sanos	Light cycling	ICC (2,1)	0.05	59.8%	No indicado	No indicado
	MINI-LOGGER® Series 2000 (hip)	Adolescentes sanos	Ciclismo de intensidad media a moderada	ICC (2,1)	0.30	43.2%	No indicado	No indicado
	Acelerómetro Caltrac	Adolescentes sanos	Caminata ligera	ICC (2,1)	0.80	26.2%	No indicado	No indicado
	Acelerómetro Caltrac	Adolescentes sanos	Trote intenso	ICC (2,1)	0.76	20.3%	No indicado	No indicado
	Acelerómetro Caltrac	Adolescentes sanos	Light cycling	ICC (2,1)	0.73	30.9%	No indicado	No indicado
	Acelerómetro Caltrac	Adolescentes sanos	Ciclismo de intensidad media a moderada	ICC (2,1)	0.74	26.2%	No indicado	No indicado



ESTUDIO 2: FIABILIDAD TEST-RETEST DEL DEMF PARA EL EJERCICIO DE SENTADILLAS

Participantes

Un grupo de veintiocho estudiantes de Ciencias del Deporte (edad: $25,1 \pm 4,6$ años; altura: $1,70 \pm 0,1$ m; peso: $67,9 \pm 13,1$ kg; IMC: $23,4 \pm 3,0$ kg/m²) compuesto por 12 hombres (edad: $26,1 \pm 3,8$ años; altura: $1,78 \pm 0,07$ m; peso: $77,6 \pm 11,3$ kg; IMC: $24,6 \pm 3,5$ kg/m²) y 16 mujeres (edad: $24,3 \pm 5,1$ años; altura: $1,64 \pm 0,07$ m; peso: $77,6 \pm 11,3$ kg; IMC: $22,6 \pm 2,54$ kg/m²) se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. Los participantes fueron elegibles para el estudio si (a) no sufrían de ninguna patología y (b) tenían al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza muscular. Todos los participantes fueron informados sobre la naturaleza, objetivos y riesgos asociados con el procedimiento experimental antes de otorgar su consentimiento por escrito para participar. El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité de Investigación Humana de la Universidad de Granada (n° 2182/CEIH/2021) y se llevó a cabo siguiendo la Declaración de Helsinki.

Diseño del estudio

Se utilizó un diseño de medidas repetidas para determinar la fiabilidad de la sentadilla durante dos protocolos diferentes. Después de la sesión de familiarización y determinación de la IRM, los participantes asistieron al laboratorio en cuatro días diferentes (con al menos 48 horas de diferencia) durante dos semanas. En cada uno de estos cuatro días, los participantes realizaron dos sesiones de 3 series de 12 repeticiones al 75 % de IRM y otras dos de 3 series de 30 repeticiones al 50 % de IRM. Todas las evaluaciones se realizaron a la misma hora del día (± 1 h) para cada participante y bajo condiciones ambientales similares (≈ 22 °C y ≈ 60 % de humedad). El orden de los protocolos se estableció de forma aleatoria.

Materiales

La fuerza dinámica fue evaluada con un DEMF (Dynamytem, Modelo Research, Granada, España) con una precisión de 3 mm para el desplazamiento, 100 g para una carga detectada y una frecuencia de muestreo de 1.000 Hz. Su núcleo de control regula precisamente tanto la fuerza como la V angular utilizando un motor eléctrico de 2.000 W. El usuario aplica fuerzas sobre una cuerda

que está enrollada en un rodillo, controlando y midiendo así tanto la fuerza como la V lineal. Una célula de carga detecta la tensión aplicada a la cuerda, y la señal resultante se pasa a un convertidor analógico-digital con una resolución de 12 bits. Los datos de desplazamiento y V se recogen con un codificador de 2.500 ppr conectado al rodillo. Los datos de los diversos sensores se obtienen a una frecuencia de 1 kHz.

Protocolo de familiarización y determinación de la IRM

En la primera visita de los participantes al laboratorio, realizaron una sesión de familiarización y determinación de la IRM con el DEMF. La sesión duró 60 minutos y la familiarización consistió en (a) un calentamiento general que incluyó 2 series de 10 repeticiones de sentadilla con incrementos de 2 kg, comenzando con una carga inicial de 10 kg y con 40 s de descanso entre series, y (b) una estimación directa del IRM de sentadilla de los participantes. Para esto, se comenzó con una carga del 100 % del peso corporal en varones y el 80 % del peso corporal en mujeres, con incrementos de 4 kg (máximo 10 repeticiones).

Una vez establecido esto, se procedió de la siguiente manera:

- Si el participante podía realizar más de una repetición, alcanzando así el fallo, se tomó un descanso de 5 minutos. Luego, la carga inicial se establecía como la carga máxima que había podido superar y se realizaban incrementos de 1 kg hasta que la resistencia fuera insuperable (máximo 5 repeticiones). La última repetición realizada se consideraba como el IRM del participante.
- Si el participante no podía realizar ninguna repetición, se tomaba un descanso de 2 min. Posteriormente, la carga inicial se establecía en el 90 % del peso corporal para varones y el 70 % del peso corporal para mujeres, y se realizaban incrementos de 1 kg hasta que la resistencia fuera insuperable (máximo 5 repeticiones). La última repetición realizada se consideraba como el IRM del participante.

- Si el participante podía realizar solo una repetición, se tomaba un descanso de 5 min. Después, la carga inicial se establecía como la misma carga con la que se comenzó antes, y se realizaban incrementos de 1 kg hasta que la resistencia fuera insuperable (máximo 5 repeticiones). La última repetición realizada se consideraba como el IRM del participante.
- Si el participante superaba los 120 kg (límite de carga del dispositivo), se observaba el número total de repeticiones que podía realizar y se estimaba el IRM con la ecuación de Lombardi (113).

Protocolo de evaluación

Los participantes llegaron al laboratorio respetando las condiciones de preparación indicadas por el investigador. Se les colocó el chaleco, al que se enganchaba el cable del DEMF con un mosquetón. Posteriormente, realizaron un calentamiento de 5 min en un cicloergómetro a una intensidad del 60 % de la FC de reserva y 10 repeticiones al 10 % de IRM para medir la angulación del ejercicio. Después de 5 min de descanso, se realizaron las 3 series de 12 repeticiones al 75 % de IRM o de 30 repeticiones al 50 % de IRM. El orden de los ejercicios se aleatorizó. Entre series, se tomaron 5 min de descanso (figura 1)

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como media (desviación estándar, DE). La distribución normal de los datos se confirmó utilizando la prueba de Shapiro-Wilk ($p > 0,05$). Se utilizó la prueba t de muestras apareadas y las diferencias medias estandarizadas (tamaño del efecto de Cohen, ES) para comparar la magnitud de la carga entre ambas sesiones de prueba. Los criterios para interpretar la magnitud del ES fueron los siguientes: nulo ($<0,20$), pequeño (0,20–0,59), moderado (0,60–1,19), grande (1,20–2,00) y muy grande ($>2,00$) (143).

La fiabilidad test-retest se evaluó utilizando el SEM y el CV, mientras que la fiabilidad relativa se evaluó utilizando el ICC, modelo 3.1. Se utilizaron los siguientes criterios para determinar una fiabilidad aceptable ($CV \leq 10 \%$, $ICC \geq 0,80$) y alta ($CV \leq 5 \%$, $ICC \geq 0,90$) (144). El sesgo sistemático se examinó a través de gráficos de Bland-Altman (145). Finalmente, el coeficiente de correlación de Pearson (r de Pearson) se utilizó para cuantificar la correlación de la fuerza y la V entre ambas sesiones de prueba. Los criterios para interpretar la magnitud del r de Pearson fueron nulos (0,00–0,09), pequeño (0,10–0,29), moderado (0,30–0,49), grande (0,50–0,69), muy grande (0,70–0,89), casi perfecto (0,90–0,99) y perfecto (1,00) (143).

Para todos los cálculos estadísticos, se utilizó un IC del 95 % en el análisis. La significancia estadística se aceptó a $p < 0,05$. Todas las evaluaciones de fiabilidad se realizaron mediante una hoja de cálculo personalizada (146), mientras que otros análisis estadísticos se realizaron utilizando el software JASP (versión 0,16,4).

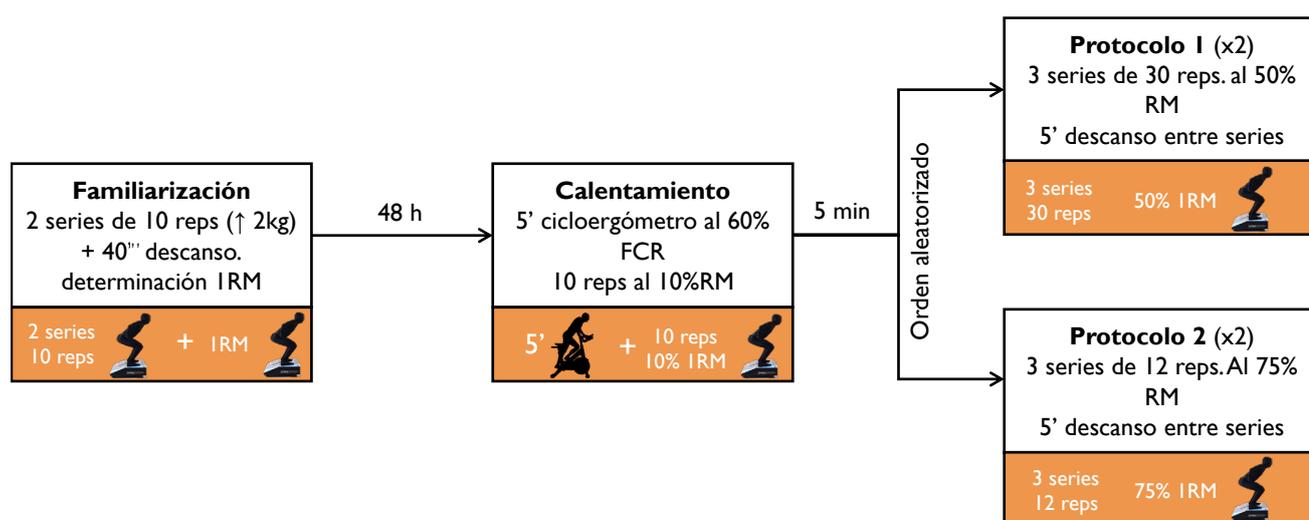


Figura 1. Protocolo de medición del ejercicio de sentadilla del estudio 2.



ESTUDIO 3: LOS HOMBRES TIENEN UN GASTO ENERGÉTICO MAYOR QUE LAS MUJERES DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS.

Participantes

Veintinueve estudiantes de Ciencias del Deporte (edad: $24,9 \pm 4,6$ años; altura: $1,70 \pm 0,1$ m; masa corporal: $68,1 \pm 12,9$ kg; IMC: $23,5 \pm 3,0$ kg/m²), compuestos por 13 hombres y 16 mujeres, se ofrecieron como voluntarios para participar en este estudio. Todos los participantes que formaron parte del estudio cumplían con los criterios de elegibilidad, que incluían (a) no tener problemas médicos y (b) tener al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza muscular inmediatamente anterior al estudio. Antes de firmar sus formularios de consentimiento, se informó a todos los participantes sobre los detalles, propósito y posibles riesgos asociados con el experimento. El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité de Investigación Humana de la Universidad de Granada (n° 2182/CEIH/2021) y se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Durante el contacto inicial con los participantes, para verificar si cumplían todos los criterios de inclusión para participar en el estudio, se les preguntó a las mujeres diversas cuestiones sobre su ciclo menstrual. Por ejemplo, se indagó sobre las fechas de inicio y finalización de su última menstruación, la duración de su ciclo menstrual, si experimentaban dolor severo o sangrado abundante, y si utilizaban algún método anticonceptivo hormonal. Basándonos en la información proporcionada por las participantes, todas fueron evaluadas durante la fase lútea (147). Además, ninguna de ellas utilizaba métodos anticonceptivos hormonales y solo dos reportaron experimentar dolor severo y sangrado abundante.

Diseño del estudio

Se utilizó un estudio de medidas repetidas para determinar las diferencias en el GE durante dos protocolos diferentes de ejercicio de sentadilla agudo en la DEMF. Después de la sesión de familiarización y determinación de la 1RM, cada participante acudió al laboratorio cuatro veces durante un período de dos semanas, con al menos 48 horas de diferencia entre las visitas. Durante

cada sesión, realizaron 3 series de 12 repeticiones al 75 % de 1RM y 3 series de 30 repeticiones al 50 % de 1RM. El orden de los protocolos fue aleatorizado.

Protocolo de evaluación

Durante el estudio, los participantes completaron cinco sesiones en días separados: una sesión de familiarización y cuatro sesiones experimentales. Durante estos días, se pidió a los participantes que durmieran al menos ocho horas, que se abstuvieran de fumar, de realizar ejercicio extenuante y de comer 12 horas antes de las pruebas. Acudieron al laboratorio a la misma hora cada día (± 1 hora) y en condiciones ambientales similares (aproximadamente 22 °C y 60 % de humedad).

Se decidió ajustar la dieta de todos los participantes a partir de la semana previa al estudio y durante toda su duración para asegurar que todos comenzaran bajo las mismas condiciones nutricionales y que no hubiera factores externos que pudieran influir en los resultados. Esto incluyó eliminar todos los alimentos y bebidas que pudieran tener un impacto, como la cafeína y los suplementos, entre otros. Para lograr esto, un Graduado en Nutrición Humana y Dietética fue responsable de diseñar la misma dieta semanal para todos los participantes durante la semana previa al estudio y durante el período de ejercicio, adaptada a sus necesidades energéticas.

Para determinar estas necesidades energéticas, se tomaron medidas antropométricas de todos los participantes una semana antes del estudio y durante las semanas posteriores. Estas medidas incluyeron peso (usando una balanza profesional TANITA SC-240-MA con una báscula biológica), altura (usando un estadiómetro portátil Seca 213) y mediciones de pliegues cutáneos para el bíceps, tríceps, subescapular, abdominal, muslo y gemelo (usando un calibrador mecánico Holteín HOL-98610ND), así como circunferencias del brazo y del muslo medio (usando una cinta métrica CESCORF) realizadas por un antropometrista de nivel I ISAK. El GE basal se calculó utilizando la fórmula de Harris-Benedict

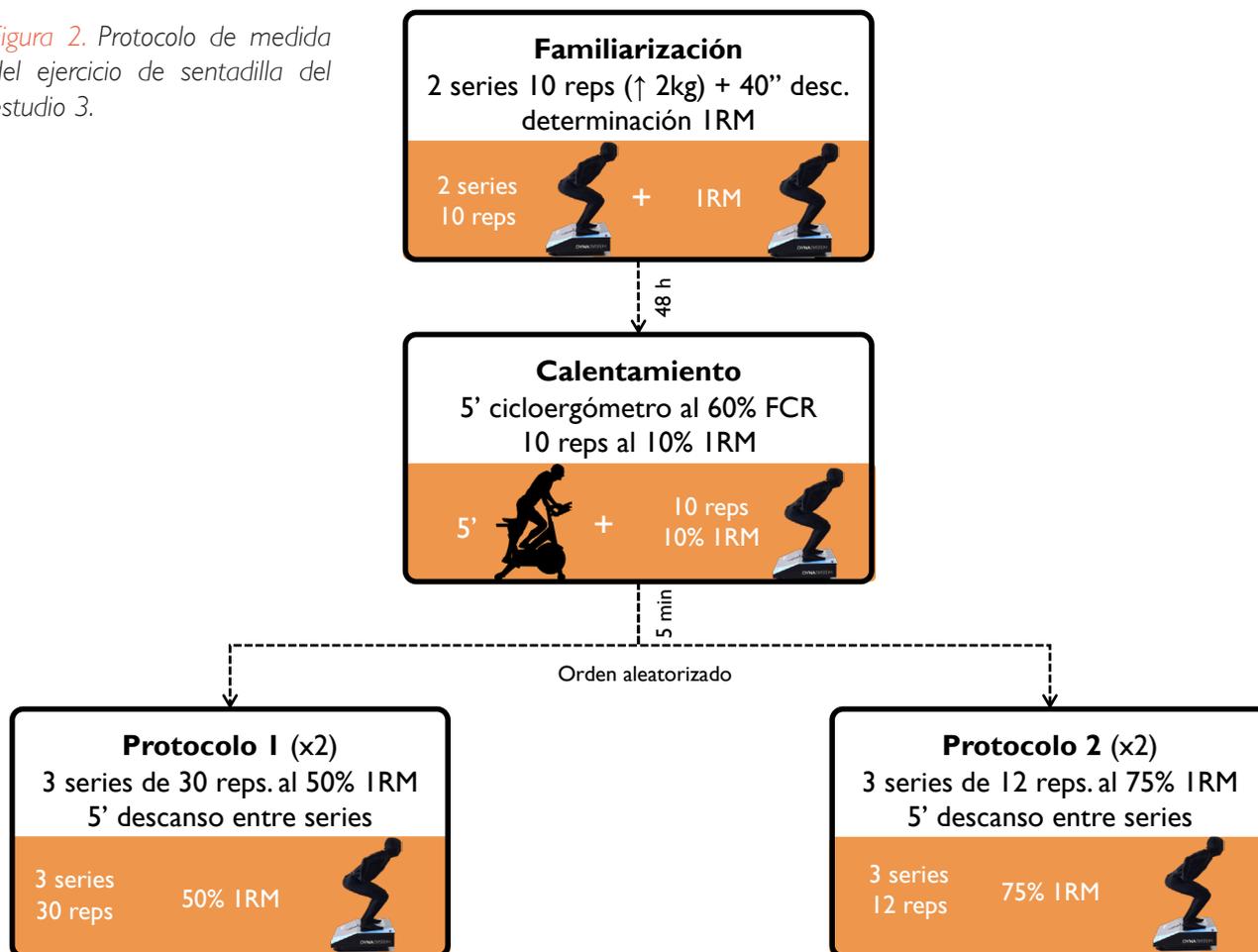
(150), el GE total se determinó utilizando el factor de actividad correspondiente y el porcentaje de grasa corporal se estimó utilizando la fórmula de Foulkner (148).

Los individuos se presentaron para el estudio de acuerdo con las instrucciones dadas por el investigador. Al llegar al laboratorio, se les colocó la máscara del analizador de gases y comenzó el análisis de gases. Permanecieron sentados en una posición relajada durante 5 minutos. Una vez terminado, se les equipó con un chaleco con un mosquetón conectado al cable del dispositivo DEMF. Luego realizaron un calentamiento de 5 minutos en un cicloergómetro a un ritmo del 60 % de su FC de reserva, seguido de 10 repeticiones al 10 % de su IRM para medir el ángulo del ejercicio. Posteriormente, tuvieron 5 minutos de descanso antes de realizar 3 series de 12 repeticiones al 75 % de IRM o 30 repeticiones al 50 % de IRM. Una vez terminado, permanecieron sentados durante 10 minutos para el análisis de gases post-ejercicio. Luego, se retiraron el calorímetro indirecto y el chaleco, y fueron libres de abandonar el laboratorio.

El GE se midió de forma indirecta utilizando un carro metabólico, que analizó los gases respiratorios (generalmente gases espirados) para determinar el volumen de aire que pasa a través de los pulmones, la cantidad de oxígeno extraído de él (es decir, el $\dot{V}O_2$) y la cantidad de dióxido de carbono producido como subproducto del metabolismo, que se expulsa a la atmósfera. El orden de los ejercicios fue aleatorizado y se les dio 5 minutos de descanso entre cada serie. La fiabilidad test-retest del DEMF para el ejercicio de sentadilla se demostró en un estudio anterior. El protocolo del estudio se muestra en la figura 2.

En la visita inicial al laboratorio, los participantes tuvieron una sesión de 60 minutos que incluyó familiarizarse con el DEMF y determinar su una repetición máxima (IRM). Esto consistió en (a) un calentamiento general de 2 series de 10 repeticiones de sentadilla con una carga inicial de 10 kg e incrementos de 2 kg en cada repetición, con 40 segundos de descanso entre series, y (b) estimar directamente el IRM de sentadilla de los participantes comenzando con una carga del 100 % del peso corpo-

Figura 2. Protocolo de medida del ejercicio de sentadilla del estudio 3.





ral de los hombres y el 80 % del peso corporal de las mujeres, aumentando en incrementos de 4 kg hasta 10 repeticiones.

Una vez establecido esto, el participante tendrá varias opciones:

1. Si el participante puede realizar más de una repetición, alcanzando así el fallo, se producirá un descanso de 5 minutos y luego se tomará la carga inicial como la carga máxima que pudo alcanzarse con más incrementos de 1 kg hasta que la resistencia se vuelva demasiado fuerte (máximo de 5 repeticiones). La última repetición se considerará como el IRM individual.
2. Si no puede realizar ninguna repetición, se producirá un descanso de 2 minutos y luego se establecerá la carga inicial en el 90 % del peso corporal para los hombres y el 70 % del peso corporal para las mujeres, con más incrementos de 1 kg hasta que la resistencia sea demasiado fuerte (máximo de 5 repeticiones). La última repetición se considerará como el IRM del participante.
3. Si el participante solo puede realizar una repetición, se producirá un descanso de 5 minutos y luego la carga inicial será la misma que antes, con más incrementos de 1 kg hasta que la resistencia sea demasiado fuerte (máximo de 5 repeticiones). La última repetición se considerará como el IRM del participante.
4. Si el participante supera los 120 kg (límite de carga del dispositivo), observaremos cuántas repeticiones totales puede hacer y estimaremos el IRM con la ecuación de Lombardi (113).

La media sentadilla se realizó con el DEMF (Dynasystem, Modelo Research, Granada, España), un dispositivo isocinético multiarticular validado que permite evaluar los parámetros de fuerza, V, potencia (P), trabajo (W) e impulso (I) mediante el uso de un único dispositivo

(82,86). El NAF de cada participante se midió utilizando el International Physical Activity Questionnaire (IPAQ), una herramienta adecuada para la evaluación de la actividad física en adultos de entre 18 y 69 años de edad (149).

El GE durante ambos protocolos se midió utilizando el sistema metabólico FitMate™ (Cosmed, Roma, Italia), un analizador metabólico fiable y válido diseñado para la medición del consumo de oxígeno y el GE durante el reposo y el ejercicio, que mide la ventilación respiratoria, el oxígeno espirado y el dióxido de carbono en cada respiración (148, 150). El calorímetro indirecto no requiere un tiempo de calentamiento y realiza una auto-calibración antes de probar a cada sujeto. Después del calentamiento, se colocó la máscara en la cara del participante y se mantuvo durante 10 minutos después de completar la prueba. Si la máscara no estaba bien adaptada, se mostraba una advertencia en la pantalla del dispositivo. Todos los datos de los gases respiratorios se recopilaron y analizaron desde el inicio hasta el final del protocolo. El uso de este dispositivo no obstaculizó la ejecución del protocolo de sentadilla de ninguna manera.

Análisis estadístico

Se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnov para verificar la distribución normal de las variables del estudio. Para las variables continuas, los valores se presentan como media y DE. Las diferencias según el sexo en la edad, el índice de masa corporal (IMC) y la actividad física según el IPAQ (por ejemplo, actividad física baja, actividad física moderada y actividad física vigorosa) se determinaron utilizando la prueba t de Student. Se realizó un modelo de regresión lineal para determinar la asociación entre el sexo y el IMC con las kcal totales en diferentes intensidades (por ejemplo, 50 % y 75 %), ajustadas por edad. Los resultados se presentan como β (IC del 95 %). Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software estadístico SPSS versión 23.0 (SPSS TM Inc., Chicago, IL). El nivel alfa se estableció en $p < 0,05$ para la significación estadística.

ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO, VO₂, FRECUENCIA CARDIACA Y VELOCIDAD.

Diseño experimental

Este estudio empleó un enfoque de medidas repetidas para evaluar las variaciones en el GE, VO₂, FC y la V durante el entrenamiento de sentadillas DEMF (81,83,85,151). Los participantes fueron familiarizados y su IRM fue determinada antes del inicio del estudio. Cada participante visitó el laboratorio cinco veces dentro de un período de dos semanas, con un mínimo de 48 horas entre visitas. Completaron tres sesiones de familiarización y dos sesiones de experimentación, durante las cuales realizaron tres series de 12 repeticiones al 75 % de IRM, así como tres series de 30 repeticiones al 50 % de IRM en cada sesión. El orden de los protocolos fue aleatorizado.

En el estudio participó un grupo de 29 estudiantes de Ciencias del Deporte, formado por 13 hombres y 16 mujeres, con una edad promedio de 24.9 ± 4.6 años, una altura de 1.70 ± 0.1 m, una masa corporal de 68.1 ± 12.9 kg, y un IMC de 23.5 ± 3.0 kg/m². Las diferencias según el sexo (atributos biológicos asociados con características físicas y fisiológicas) se muestran en la *Tabla 3*. Todos los participantes cumplieron con los criterios de elegibilidad, que incluían estar libres de condiciones médicas y tener al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza muscular.

Se preguntó a las participantes femeninas sobre su ciclo menstrual. Las evaluaciones se realizaron específicamente durante la fase lútea (147). Además, ninguna de ellas estaba usando anticonceptivos hormonales, y solo dos informaron experimentar dolor severo y sangrado abundante.

Sujetos

Tabla 3. Características descriptivas de la muestra de acuerdo con el sexo.

	TOTAL (N=29)		HOMBRES (N=13)		MUJERES (N=16)	
	MEDIA	DE	MEDIA	DE	MEDIA	DE
Edad (años)	24.9	4.6	25.7	3.9	24.3	5.1
PARÁMETROS ANTROPOMÉTRICOS						
IMC (kg/m ²)	23.5	3.	24.6	3.4	22.6	2.4

IMC: índice de masa corporal

Procedimiento

El estudio se desarrolló en cinco sesiones: tres de familiarización y dos de experimentación. Se aconsejó a los participantes que durmieran al menos 8 horas, que se abstuvieran de fumar y consumir alcohol o cafeína en las 24 horas previas a las pruebas, que evitaran el ejercicio extenuante y que no comieran durante las 12 horas anteriores a las pruebas. Llegaron al laboratorio a la misma hora cada día (dentro de una ventana de una hora) bajo condiciones ambientales similares: 22 °C y 60 % de humedad.

Los participantes siguieron las instrucciones del investigador al llegar. Se les colocó la máscara del analizador de gases, el monitor de FC en el pecho, y se sentaron en una posición relajada durante cinco minutos para el análisis inicial de gases. Luego, se pusieron un chaleco equipado con un mosquetón conectado al cable de la DEMF. Después de un calentamiento de 5 minutos en un cicloergómetro a una intensidad del 60 % de la FC de reserva, realizaron 10 repeticiones al 10 % de su IRM. Tras un descanso de 5 minutos, realizaron 3 series de 12 repeticiones al 75 % de IRM o 3 series 30 repeticiones al 50 % de IRM. Se realizó un análisis de gases post-ejercicio mientras estaban sentados durante diez minutos.



El orden del ejercicio fue aleatorizado con descansos de 5 minutos entre series. El GE se determinó indirectamente utilizando calorimetría indirecta, que analizó los gases respiratorios. Estudios previos han confirmado la fiabilidad test-retest de la DEMF para el entrenamiento

de sentadillas (86,152). El análisis de gases se realizó durante todo el protocolo de ejercicio. El protocolo del estudio se ilustra en la Figura 3.

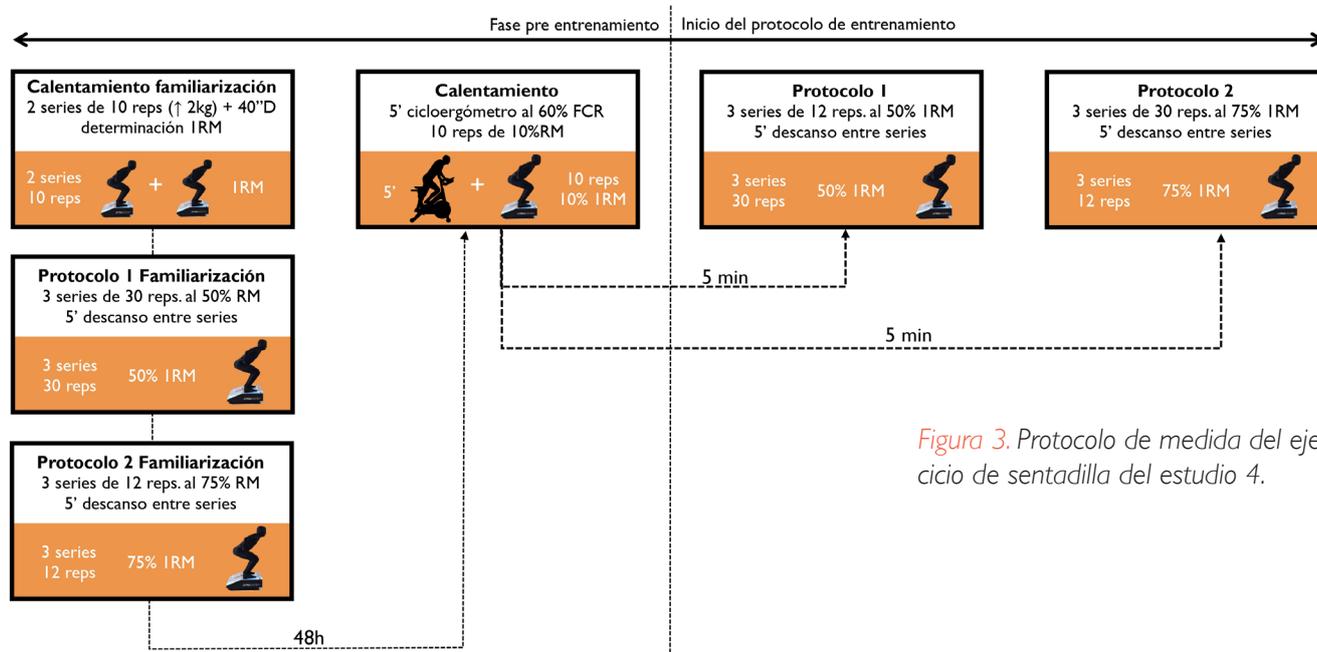


Figura 3. Protocolo de medida del ejercicio de sentadilla del estudio 4.

Durante las sesiones de familiarización, los participantes realizaron una sesión de 60 minutos para acostumbrarse al DEMF. En la primera sesión, se determinó su IRM a través de un calentamiento general que comprendía 2 series de 10 repeticiones de sentadillas con una carga inicial de 10 kg, con incrementos de 2 kg por repetición y 40 segundos de descanso entre series. La IRM de los participantes se estimó directamente siguiendo el protocolo descrito por del-Cuerpo (86,152). En la segunda y tercera sesión, después de un calentamiento general, realizaron 3 series de 12 repeticiones al 75 % de IRM o 3 series de 30 repeticiones al 50 % de IRM.

Medidas de resultado

- **Características descriptivas:** El peso se evaluó con una balanza profesional TANITA SC-240-MA, y la altura se midió utilizando un estadiómetro portátil Seca 213.
- **Mediciones y evaluación del gasto energético y el consumo de oxígeno:** El GE y el VO_2 durante ambos protocolos se midieron utilizando el sistema metabólico FitMate™ (Cosmed, Roma, Italia), un analizador metabólico fiable y validado

específicamente diseñado para evaluar el VO_2 y el GE tanto en reposo como en ejercicio (153,154). Este sistema captura la ventilación respiratoria por respiración, así como las mediciones de oxígeno y dióxido de carbono exhalados (155–157). Cabe destacar que este calorímetro indirecto no requiere un período de calentamiento y se calibra automáticamente antes de probar a cada sujeto.

Una vez completadas las mediciones de GE y VO_2 , los datos se procesaron en un ordenador, considerando el inicio y el final de cada parte del entrenamiento. Posteriormente, se calcularon las mediciones totales de GE y VO_2 para cada serie, junto con sus respectivos períodos de descanso de 5 minutos.

- **Mediciones y evaluación de la frecuencia cardiaca:** El sistema metabólico FitMate™ se conectó a un monitor de FC (RS800; Polar Electro Oy, Kemple, Finlandia), un dispositivo válido y fiable que utiliza una frecuencia de muestreo de 1.000 Hz para la señal del electrocardiograma (ECG) (158). El monitor transmitió sus datos al sistema metabólico FitMate™ a través de un transmisor. Los datos de FC se registraron desde el principio, incluyendo el

período de 5 minutos previo al ejercicio, durante todo el protocolo de entrenamiento y durante 10 minutos post-ejercicio.

Una vez completadas las mediciones de FC, los datos se procesaron en un ordenador, considerando el inicio y el final de cada parte del entrenamiento. Los datos de FC comprenden la media obtenida entre cada serie y su correspondiente período de descanso de 5 minutos.

- **Mediciones y evaluación de la velocidad:** Durante las sentadillas, la V se midió utilizando el DEMF (Dynasystem, Model Research, Granada, España), un dispositivo multiarticular isocinético validado que permite evaluar los parámetros de fuerza, V, P, W e I utilizando un solo dispositivo, y se usó para realizar la media sentadilla (82,86).

Una vez completadas las mediciones de V, se llevó a cabo un proceso de limpieza de los datos brutos

proporcionados por la máquina para obtener la V de la fase concéntrica. Posteriormente, se determinó la V promedio de la fase concéntrica para cada serie.

Análisis estadístico

Los datos descriptivos se presentan como media \pm DE. Se confirmó la distribución normal de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk y la homogeneidad de las varianzas mediante la prueba de Levene ($p > 0,05$). Para el análisis principal, se realizó un análisis de varianza de medidas repetidas (ANOVA) utilizando el análisis post-hoc de Holm. Se utilizó la corrección de Greenhouse-Geisser cuando se violó la prueba de esfericidad de Mauchly. Se calculó el Omega cuadrado (ω^2) para el ANOVA, donde los valores de los tamaños del efecto de 0,01, 0,06 y por encima de 0,14 se consideraron pequeños, medianos y grandes, respectivamente. La significancia estadística se estableció en $p < 0,05$. El paquete de estadísticas JASP (versión 0.11.1) se utilizó para los análisis estadísticos.

ESTUDIO 5: LA INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA EN LA PRODUCCIÓN DE LACTATO DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS UTILIZANDO UN DEMF.

Sujetos

Veintinueve sujetos sanos (edad: 24.9 ± 4.6 años; altura: 1.70 ± 0.1 m; masa corporal: 68.1 ± 12.9 kg; IMC: 23.5 ± 3.0 kg/m²), incluyendo 13 hombres y 16 mujeres, participaron voluntariamente en este estudio. Todos los participantes cumplieron con los criterios de elegibilidad, que incluían (a) no tener condiciones médicas y (b) tener al menos un año de experiencia en entrenamiento de fuerza muscular.

En la evaluación inicial para confirmar la elegibilidad, se preguntó a las participantes femeninas sobre su ciclo menstrual. Esto involucró detalles como las fechas de inicio y fin de su menstruación más reciente, la duración de su ciclo menstrual, cualquier instancia de dolor intenso o sangrado excesivo, y el uso de anticonceptivos hormonales. Fueron evaluadas específicamente durante la fase lútea (147). Además, ninguna de ellas utilizaba anticonceptivos hormonales y solo dos reportaron experimentar dolor severo y sangrado abundante. El protocolo del estudio fue aprobado por el Comité de

Investigación en Humanos de la Universidad de Granada (n° 2182/CEIH/2021) y se llevó a cabo de acuerdo con la Declaración de Helsinki.

Intervención

Se empleó un diseño de medidas repetidas para evaluar las variaciones en el GE durante dos diferentes protocolos agudos de ejercicio de sentadillas utilizando DEMF. Tras una sesión de familiarización y la determinación de la 1RM, los participantes visitaron el laboratorio cuatro veces en un período de dos semanas, asegurando al menos 48 horas entre visitas. En cada sesión, completaron 3 series de 12 repeticiones al 75 % de 1RM y 3 series de 30 repeticiones al 50 % de 1RM, con el orden de los protocolos aleatorizado.

Procedimientos de recolección de datos

Durante el estudio, los participantes se sometieron a un total de cinco sesiones, incluyendo una sesión de familiarización y cuatro sesiones experimentales. Se les indicó



que aseguraran un mínimo de 8 horas de sueño y que evitaran fumar, realizar ejercicio vigoroso y comer dentro de las 12 horas previas a la prueba. Los participantes llegaron al laboratorio a la misma hora cada día (dentro de una ventana de una hora) y estuvieron expuestos a condiciones ambientales similares, con una temperatura de aproximadamente 22 °C y una humedad del 60 %.

Los participantes siguieron las instrucciones del investigador al llegar. Al llegar al laboratorio, como se hizo en del-Cuerpo (86,152), se les colocó la máscara del analizador de gases y se sentaron en una posición relajada durante cinco minutos para el análisis inicial de gases. En ese momento, se recolectaron muestras de sangre capilar del dedo y luego se analizaron. Luego se pusieron un chaleco equipado con un mosquetón conectado al cable del DEMF. Después de un calen-

tamiento de 5 minutos en un cicloergómetro, realizaron repeticiones al 10 % de su IRM. Después de un descanso de 5 minutos, realizaron tres series de 12 repeticiones al 75 % de IRM o 30 repeticiones al 50 % de IRM. El análisis de gases post-ejercicio se llevó a cabo mientras estaban sentados durante diez minutos. El orden del ejercicio fue aleatorizado con descansos de 5 minutos entre series. El GE se determinó indirectamente utilizando un carro metabólico que analizó los gases respiratorios. Inmediatamente después de completar la sesión, así como 10 minutos después del ejercicio, se tomó otra muestra de sangre capilar del dedo de los participantes y se analizó. Estudios previos han confirmado la fiabilidad test-retest del DEMF para el entrenamiento de sentadillas (86). El protocolo del estudio se describe en la Figura 4.

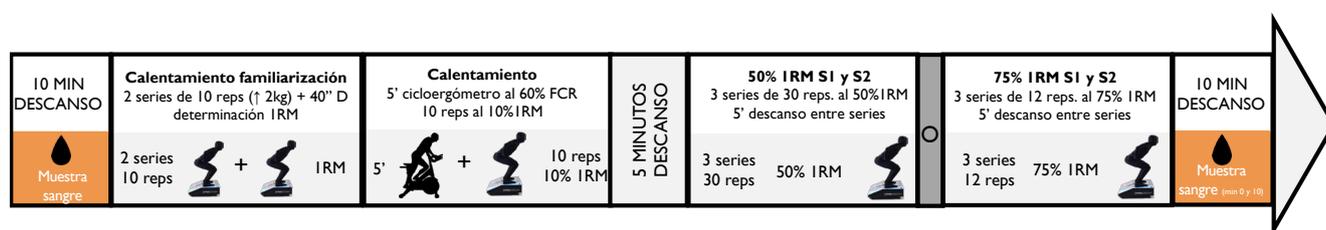


Figura 4. Protocolo de medida del ejercicio de sentadilla del estudio 5.

Durante su visita inicial al laboratorio, los participantes se sometieron a una sesión de 60 minutos. Esta sesión tenía como objetivo familiarizarlos con el DEMF y establecer su IRM. Esto consistió en (a) un calentamiento general que comprendía 2 series de 10 repeticiones de sentadillas, comenzando con una carga de 10 kg y aumentando en 2 kg por repetición. Había un descanso de 40 segundos entre series. Además, (b) se estimó directamente el IRM de los participantes. Esto comenzó con una carga equivalente al 100 % del peso corporal de los participantes masculinos y el 80 % para las participantes femeninas. La carga aumentó en incrementos de 4 kg hasta 10 repeticiones. El protocolo utilizado para determinar el IRM de los participantes es el utilizado en del-Cuerpo (2023) (86,152).

Mediciones

Para asegurar condiciones nutricionales uniformes entre los participantes y minimizar influencias externas en los resultados, se ajustaron las dietas de todos los participantes una semana antes y durante todo el estudio. Esto involucró la exclusión de factores potencialmente influ-

yentes como la cafeína y los suplementos. Un graduado en Nutrición Humana y Dietética ajustó una dieta semanal para los requerimientos energéticos de cada participante durante este período. Estos requerimientos se determinaron mediante mediciones antropométricas realizadas una semana antes del estudio y en las semanas subsiguientes. Estas mediciones incluyeron peso (medido con una balanza profesional TANITA SC-240-MA con traje biológico), altura (medida con un estadiómetro portátil Seca 213) y mediciones de pliegues cutáneos para varias áreas, junto con circunferencias de brazo y muslo medio, todas tomadas por un antropometrista nivel I de ISAK usando herramientas respectivas. El GE basal se calculó usando la fórmula de Harris-Benedict (150), el GE total se determinó usando el factor de actividad apropiado, y el porcentaje de grasa corporal se estimó usando la fórmula de Foulkner (148).

El ejercicio de media sentadilla se realizó utilizando el DEMF (Dynasystem, Model Research, Granada, España), un dispositivo multiarticular isocinético validado capaz de evaluar varios parámetros de fuerza como V, P, W e I en un solo instrumento (82,86). El NAF de cada parti-

participante se evaluó utilizando el cuestionario IPAQ forma corta, una herramienta fiable para evaluar la actividad física en adultos de 18 a 69 años (149).

Para medir la producción de lactato, se recolectaron muestras de sangre del dedo índice de cada participante usando lancetas de seguridad estériles de un solo uso (Accu-Chek Safe-T-Pro Plus, Deutschland). Antes de la recolección, el dedo se limpió para eliminar cualquier sudor o sangre y luego se laceró con una lanceta estéril de un solo uso. Las tiras de prueba insertadas en un dispositivo fiable y válido: Lactate Pro 2 (Arkray, Kioto, Japón) (159) se colocaron secuencialmente contra la superficie de esta muestra de sangre hasta que se escucharon pitidos, lo que indicaba el inicio del análisis. El mismo operador recolectó y analizó todas las muestras de sangre durante el estudio.

Para medir el GE durante ambos protocolos, se empleó el sistema metabólico FitMate™ (Cosmed, Roma, Italia). Este es un analizador metabólico fiable y validado diseñado para medir el consumo de oxígeno y el GE tanto en reposo como en ejercicio, analizando la ventilación respiración por respiración, así como los niveles de oxígeno y dióxido de carbono espirados (150). El dispositivo se autocalibra antes de evaluar a cada sujeto y no requiere un período de calentamiento. La máscara fue usada por el participante durante diez minutos des-

pués de completar el ejercicio. En caso de mal ajuste, el dispositivo alertaba con una advertencia en la pantalla. El uso de este dispositivo no interfirió con la ejecución del protocolo de sentadillas de ninguna manera.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software SPSS® v23.0. Los datos se presentan como la media y la DE. Las suposiciones de normalidad y homocedasticidad para todos los datos se comprobaron utilizando las pruebas de Shapiro-Wilk y Levene. Las diferencias entre grupos según el NAF se determinaron utilizando la prueba t de Student. Los cambios delta se determinaron comparando las pruebas Pre vs Inmediatamente Post y después de 10 minutos post-prueba. Para investigar la asociación de los cambios delta de lactato con el sexo, la edad, el IMC y el NAF, se realizó una regresión multivariable con resultados reportados como coeficiente beta (β) y sus IC del 95 %.

El tamaño de la muestra para este estudio experimental se determinó utilizando software estadístico (G*Power versión 3.0.10), basado en una potencia de prueba del 90 % y un nivel de significancia estadística del 5 %, con un tamaño del efecto de 0,8.

06

RESULTADOS



Los resultados obtenidos en esta tesis doctoral proporcionan una visión detallada y rigurosa sobre el impacto del entrenamiento de fuerza controlado con DEMF en el GE y otras variables fisiológicas clave, a través de los diferentes estudios realizados. Cada estudio ha aportado evidencias significativas que permiten no solo contrastar las hipótesis planteadas, sino también profundizar en la comprensión de la fiabilidad de las metodologías empleadas, las diferencias entre sexos, y la influencia de variables como el IMC, los NAF, y la intensidad del ejercicio. A continuación, se presentan los principales hallazgos de cada uno de los estudios, los cuales aportan una base sólida para la discusión y las conclusiones de esta investigación.

ESTUDIO I: FIABILIDAD TEST-RETEST DE LA CALORIMETRÍA INDIRECTA Y LA ACELEROMETRÍA PARA EVALUAR EL GASTO ENERGÉTICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS.

Se identificaron un total de 6.242 estudios a través de una búsqueda en bases de datos electrónicas, de los cuales se identificaron y eliminaron 1.600 artículos duplicados. Después de leer el título y el resumen, se eliminaron 4.464 artículos, quedando 178 estudios para una lectura completa. Finalmente, se incluyeron 13 estudios sobre la evaluación del GE en la revisión sistemática actual. El proceso de selección se muestra en la *Figura 5*.

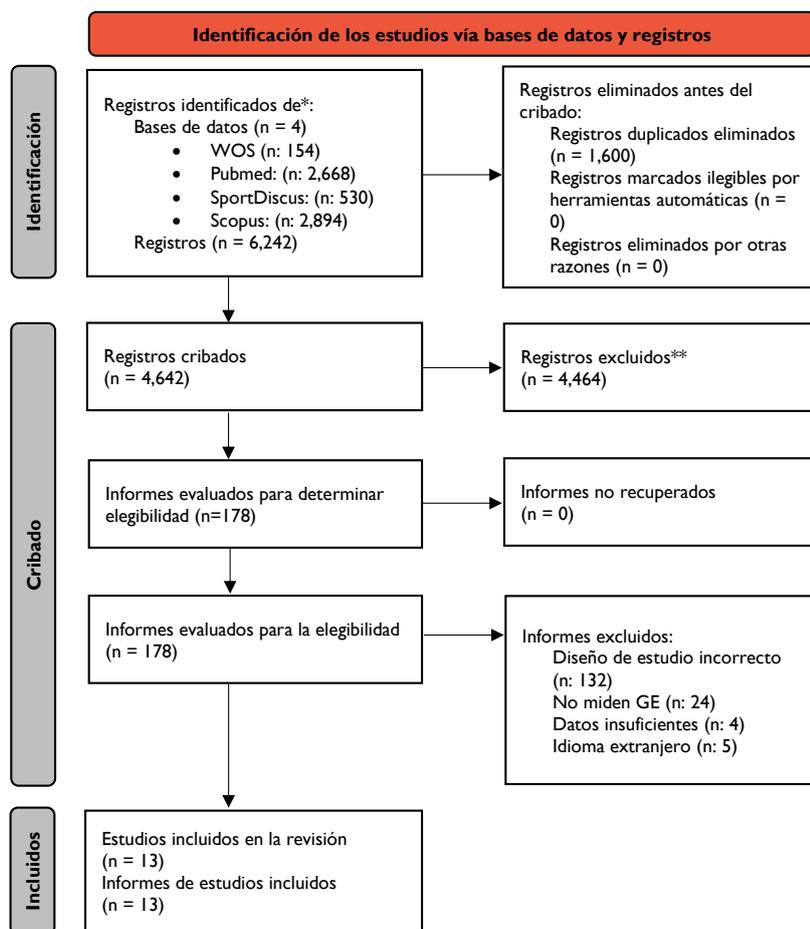


Figura 5. Diagrama de flujo de PRISMA.

*Considere, si es posible, informar el número de registros identificados de cada base de datos o registro buscado (en lugar del número total en todas las bases de datos/registros).

**Si se utilizaron herramientas automáticas, indique cuántos registros fueron excluidos por una persona y cuántos fueron excluidos por las herramientas automáticas.

De: Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ* 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71



Características de los estudios

La [Tabla 1](#) ilustra el método utilizado para evaluar el GE, el nombre del dispositivo, el tipo de ejercicio durante la evaluación, el número de participantes en cada estudio, su sexo y su condición de salud (si eran individuos sanos o sujetos con patologías). En los estudios seleccionados, el estado de salud de los sujetos varió ampliamente, abarcando desde individuos completamente sanos hasta aquellos con condiciones como distrofia muscular de Duchenne (DMD) (138), síndrome de fibromialgia (SFM) (139), accidente cerebrovascular (ACV) (134) o enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) (137).

Calidad de los estudios

Según los criterios seleccionados, 10 de los 13 estudios (79 %) fueron considerados de "alta calidad" y 3 (21 %) fueron considerados de "baja calidad". Los criterios comúnmente ausentes en los informes estaban relacionados con (a) el establecimiento de objetivos específicos, incluidas las hipótesis preespecificadas, (b) la discusión, tanto de la dirección como de la magnitud de cualquier sesgo potencial y (c) la provisión de la fuente de financiamiento y el papel de los financiadores en los estudios. La información adicional sobre las puntuaciones de calidad se presenta en la [Tabla 4](#).

Tabla 4. Evaluación metodológica de los estudios incluidos.

ESTUDIO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	CALIDAD
Baldew et al. (2019) (130)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Blagrove et al. (2017) (131)	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	Baja
Brazeau et al. (2011) (132)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	Alta
Cai et al. (2022) (133)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
da Cunha-Filho et al. (2003) (134)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	Alta
da Cunha-Filho et al. (2007) (135)	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	Baja
DeBlois et al. (2021) (136)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Harrison et al. (2013) (137)	1	0	1	1	1	1	0	1	1	1	Alta
KePMen et al. (2014) (138)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Munguía-Izquierdo et al. (2019) (139)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
Slootmaker et al. (2009) (140)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	Alta
Swan et al. (1997) (141)	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	Alta
Troutman et al. (2009) (142)	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	Baja

Nota: proporciona en el resumen un resumen informativo y equilibrado de lo que se realizó y lo que se encontró (ítem 1); establece objetivos específicos, incluidas las hipótesis preestablecidas (ítem 2); proporciona los criterios de elegibilidad, y las fuentes y métodos de selección de los participantes (ítem 3); para cada variable de interés, ofrece las fuentes de datos y detalles de los métodos de evaluación (medición). Describe la comparabilidad de los métodos de evaluación si hay más de

un grupo (ítem 4); explica cómo se manejaron las variables cuantitativas en los análisis. Si corresponde, describe qué agrupaciones se eligieron y por qué (ítem 5); proporciona las características de los participantes del estudio (ítem 6); resume los resultados clave con referencia a los objetivos del estudio (ítem 7); discute las limitaciones del estudio, considerando las fuentes potenciales de sesgo o imprecisión. Discute tanto la dirección como la magnitud de cualquier posible sesgo (ítem 8); proporciona una interpretación general cautelosa de los resultados considerando los objetivos, limitaciones, multiplicidad de análisis, resultados de estudios similares y otras evidencias relevantes (ítem 9); proporciona la fuente de financiamiento y el papel de los financiadores para el presente estudio y, si corresponde, para el estudio original en el que se basa el presente artículo (ítem 10).

Meta-Análisis

Al combinar todos los estudios seleccionados, se encontró que la fiabilidad promedio estimada del GE era excelente ($ICC = 0.78$; IC del 95 %: $0.70 - 0.88$). Se detectó heterogeneidad en la ICC estimada entre todos los estudios (heterogeneidad: $I^2 = 97.12\%$, $p < 0.0001$). Se consideraron algunas variables para formar subgrupos, como el tipo de dispositivo o la condición de salud del sujeto, ya que estas variables pueden introducir sesgos.

Dentro del análisis estadístico de la fiabilidad de la prueba, se observaron ligeras diferencias entre los dispositivos. Aunque ambos tipos de dispositivos demostraron buena fiabilidad, la calorimetría indirecta exhibió una fiabilidad mayor ($ICC = 0.83$; IC del 95 %: $0.68 - 0.99$) que los acelerómetros ($ICC = 0.77$; IC del 95 %: $0.65 - 0.88$). Se detectó heterogeneidad en el ICC estimado para la calorimetría indirecta (heterogeneidad: $I^2 = 64.47\%$, $p < 0.008$) y los acelerómetros (heterogeneidad: $I^2 = 98.45\%$, $p < 0.0001$).

Después de realizar análisis de sensibilidad, se observó que ciertos estudios influían en los resultados generales de los subgrupos. Tras la eliminación de estos estudios atípicos, se reveló que la fiabilidad resultante de la calorimetría indirecta era ($ICC = 0.85$; IC del 95 %: $0.75 - 0.94$) y la de la acelerometría era ($ICC = 0.79$; IC del 95 %: $0.70 - 0.88$). Se detectó heterogeneidad en la ICC estimada para la calorimetría indirecta (heterogeneidad: $I^2 = 70.27\%$, $p = 0.0061$) y los acelerómetros (heterogeneidad: $I^2 = 91.45\%$, $p < 0.0001$).

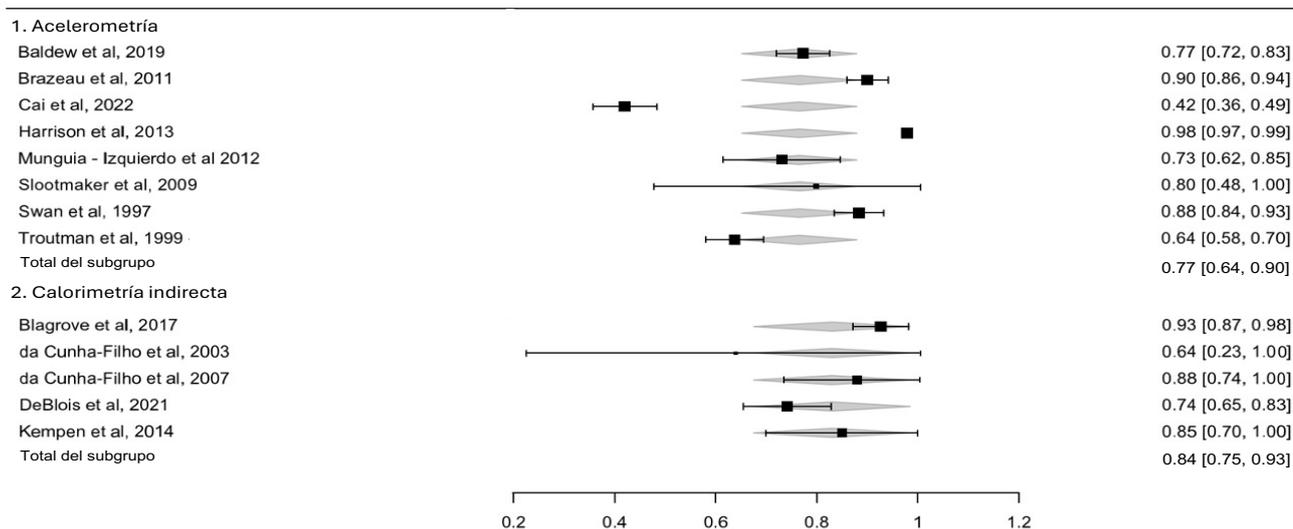


Figura 6. Diagrama de bosque para calorímetros indirectos y acelerómetros que muestra las medias de los ICC y los intervalos de confianza del 95 % para los estudios incluidos en el metaanálisis. La estimación combinada del ICC se obtuvo utilizando un modelo de efectos aleatorios con los estudios anidados por dispositivo.



Como se mencionó anteriormente, otra de las variables consideradas relevantes para la fiabilidad es la condición de salud del sujeto. Se evaluó una amplia variedad de patologías. Como era de esperar, se encontraron diferencias significativas entre los subgrupos. Los sujetos sanos mostraron valores más estables con una fiabilidad excelente ($ICC = 0.77$; IC del 95 %: $0.66 - 0.88$), mientras que los sujetos con diferentes patologías mostraron mayor variabilidad en sus resultados, con una buena fiabilidad ($ICC = 0.84$; IC del 95 %: $0.79 - 0.99$). Se detectó heterogeneidad en la ICC estimada para los sujetos sanos (heterogeneidad: $I^2 = 96.33\%$, $p < 0.0001$) y los sujetos con diferentes patologías (heterogeneidad: $I^2 = 82.44\%$, $p < 0.0001$).

Después de realizar análisis de sensibilidad, se observó que ciertos estudios influían en los resultados generales de los subgrupos. Tras la eliminación de estos estudios atípicos (indicar), se reveló que la fiabilidad resultante de los sujetos sanos era ($ICC = 0.82$; IC del 95 %: $0.74 - 0.89$) y la de los sujetos con diferentes patologías era ($ICC = 0.78$; IC del 95 %: $0.67 - 0.89$). Se detectó heterogeneidad en la ICC estimada para los sujetos sanos (heterogeneidad: $I^2 = 90.68\%$, $p < 0.0001$) y los sujetos con diferentes patologías (heterogeneidad: $I^2 = 32.28\%$, $p = 0.2243$).

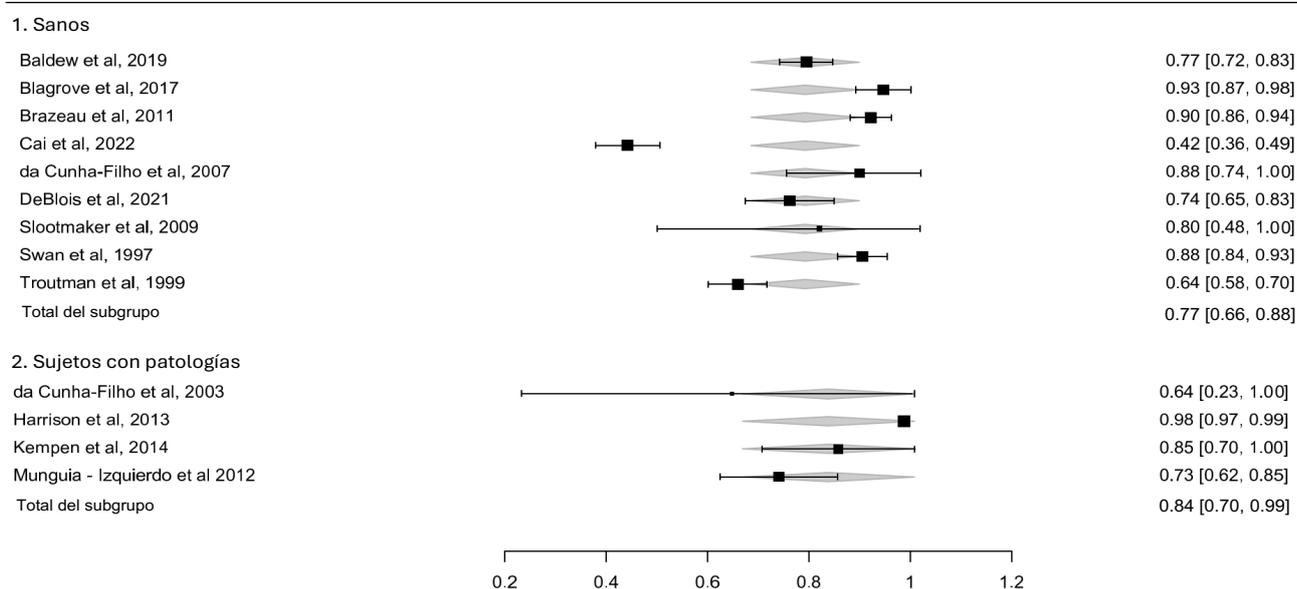


Figura 7. Diagrama de bosque para sujetos sanos y sujetos con patologías que muestra las medias de los ICC y los intervalos de confianza del 95 % para los estudios incluidos en el metaanálisis. La estimación combinada del ICC se obtuvo utilizando un modelo de efectos aleatorios con los estudios anidados por dispositivo.

ESTUDIO 2: FIABILIDAD TEST-RETEST DEL DEMF PARA EL EJERCICIO DE SENTADILLAS

Se encontraron diferencias significativas durante el protocolo del 50 % de la IRM entre ambas sesiones para todas las condiciones, excepto para el ROM ($p = 0.068$; $ES = 0.00$) y el W ($p = 0.429$; $ES = 0.26$). La fiabilidad test-retest proporcionó una repetibilidad estable para el ROM, FDM, FDP, VM, VP, PM, PP, W e I, con un CV de menos del 10 % en todos los casos. La fiabilidad fue muy alta para las condiciones de ROM (CV: 3.72 %, ICC: 0.95), FDM (CV: 1.09 %, ICC: 1.00), FDP (CV: 1.97 %, ICC: 1.00) y W (CV: 4.69 %, ICC: 1.00) al 50 % de IRM (Tabla 5).

Tabla 5. Fiabilidad test-retest de todas las variables durante el protocolo del 50 % de IRM utilizando un DEMF.

	MEDIA ± DE		P-VALUE	ES (95% CI)	ICC (95% CI)	SEM (95% CI)	CV (%) (95% CI)
	SERIE 1	SERIE 2					
ROM (cm)	38.4 ± 6.0	38.4 ± 6.3	0.068	0.00 (-0.74, 0.74)	0.95 (0.89, 0.98)	0.34 (0.30, 0.39)	3.72 (3.72, 5.07)
FDM (kg)	41.4 ± 11.4	40.8 ± 11.4	0.006	0.06 (-0.80, 0.69)	1.00 (1.00, 1.00)	0.05 (0.04, 0.06)	1.09 (0.86, 1.48)
FDP (kg)	53.6 ± 15.6	55.1 ± 15.8	0.001	0.09 (-0.65, 0.83)	1.00 (0.99, 1.00)	0.08 (0.07, 0.11)	1.97 (1.46, 3.05)
VM (cm/s)	58.2 ± 21.1	64.0 ± 22.2	0.001	0.26 (-0.47, 1.01)	0.95 (0.90, 0.98)	0.23 (0.20, 0.26)	7.55 (5.97, 10.28)
VP (cm/s)	118.7 ± 29.7	125.8 ± 30.1	0.000	0.24 (-0.50, 0.98)	0.96 (0.90, 0.98)	0.26 (0.21, 0.32)	5.09 (3.76, 7.88)
PM (W)	250.2 ± 124.5	270.5 ± 123.5	0.005	0.16 (-0.58, 0.91)	0.97 (0.92, 0.99)	0.17 (0.14, 0.22)	8.36 (6.18, 12.94)
PP (W)	545.5 ± 237.5	575.7 ± 222.2	0.000	0.13 (-0.61, 0.87)	0.98 (0.95, 0.99)	0.19 (0.16, 0.24)	6.18 (4.57, 9.57)
W (J)	63.4 ± 61.6	49.1 ± 45.5	0.429	0.26 (-1.00, 0.48)	1.00 (1.00, 1.00)	0.21 (0.17, 0.26)	4.69 (3.47, 7.27)
I (kg m/s)	353.4 ± 341.3	313.1 ± 292.7	0.005	0.13 (-0.87, 0.62)	0.99 (0.99, 1.00)	0.09 (0.08, 0.11)	8.48 (6.70, 11.54)

DE: desviación estándar; ES: tamaño del efecto de Cohen ((media mayor - media menor) / SD de ambos); SEM: error estándar de medición; CV: coeficiente de variación; ICC: coeficiente de correlación intraclase; 95 % CI: intervalo de confianza del 95 %; ROM: rango de movimiento; FDM: fuerza dinámica media; FDP: fuerza dinámica máxima; VM: velocidad media; VP: velocidad máxima; PM: potencia media; PP: potencia máxima; W: trabajo; I: impulso.

Además, se encontraron diferencias significativas durante el protocolo del 75% de IRM en la evaluación de todas las condiciones entre la prueba y la repetición, excepto para FDM ($p = 0.796$; $ES = 0.03$), FDP ($p = 0.138$; $ES = 0.05$) y W ($p = 0.124$; $ES = 0.10$). La fiabilidad test-retest proporcionó una repetibilidad estable para ROM, FDM, FDP, VM, VP, PM, PP y W, con un coeficiente de variación (CV) de menos del 10 % en todos los casos. La fiabilidad fue muy alta para las condiciones de ROM (CV: 3.90 %, ICC: 0.95), FDM (CV: 0.52, ICC: 1.00), FDP (CV: 1.49 %, ICC: 0.98) y W (CV: 4.14 %, ICC: 1.00) al 75 % de la IRM (Tabla 6).



Tabla 6. Fiabilidad test-retest de todas las variables durante el protocolo del 75 % de IRM utilizando un DEMF.

	MEDIA ± DE		P-VALUE	ES (95% CI)	ICC (95% CI)	SEM (95% CI)	CV (%) (95% CI)
	SERIE 1	SERIE 2					
ROM (cm)	38.1 ± 6.5	37.7 ± 6.9	0.025	0.07 (-0.81, 0.68)	0.95 (0.90, 0.98)	0.19 (0.16, 0.22)	3.90 (3.09, 5.31)
FDM (kg)	61.0 ± 21.3	60.5 ± 21.5	0.796	0.03 (-0.76, 0.72)	1.00 (1.00, 1.00)	0.02 (0.02, 0.03)	0.52 (0.38, 0.81)
FDP (kg)	72.1 ± 21.2	73.3 ± 21.1	0.138	0.05 (-0.69, 0.79)	1.00 (0.99, 1.00)	0.07 (0.06, 0.08)	1.49 (1.09, 2.35)
VM (cm/s)	54.2 ± 21.5	60.7 ± 21.1	0.003	0.30 (-0.44, 1.05)	0.95 (0.89, 0.98)	0.25 (0.22, 0.30)	8.97 (7.09, 12.20)
VP (cm/s)	114.2 ± 32.0	122.7 ± 31.2	0.001	0.27 (-0.48, 1.01)	0.91 (0.82, 0.96)	0.24 (0.21, 0.29)	8.15 (6.44, 11.09)
PM (W)	335.1 ± 172.3	376.7 ± 176.1	0.002	0.23 (-0.50, 0.98)	0.97 (0.93, 0.99)	0.18 (0.15, 0.21)	8.84 (6.99, 12.03)
PP (W)	757.7 ± 318.3	826.5 ± 322.6	0.001	0.21 (-0.53, 0.96)	0.94 (0.88, 0.97)	0.18 (0.16, 0.22)	9.91 (7.83, 13.49)
W (J)	85.0 ± 63.8	78.3 ± 69.7	0.124	0.10 (-0.84, 0.64)	1.00 (0.99, 1.00)	0.13 (0.12, 0.16)	4.14 (3.27, 5.63)
I (kg m/s)	564.2 ± 524.2	480.3 ± 447.1	0.067	0.17 (-0.91, 0.57)	0.98 (0.96, 0.99)	0.12 (0.11, 0.14)	14.06 (11.13, 19.16)

DE: desviación estándar; ES: tamaño del efecto de Cohen ((media mayor - media menor) / SD de ambos); SEM: error estándar de medición; CV: coeficiente de variación; ICC: coeficiente de correlación intraclase; 95% CI: intervalo de confianza del 95%; ROM: rango de movimiento; FDM: fuerza dinámica media; FDP: fuerza dinámica máxima; VM: velocidad media; VP: velocidad máxima; PM: potencia media; PP: potencia máxima; W: trabajo; I: impulso.

Los gráficos de Bland-Altman para el protocolo del 50 % de la IRM revelan un bajo sesgo sistemático para FDM y FDP (≤ 1.42 kg), VM y VP (≤ 7.16 cm/s), PM y PP (≤ 20.27 W), W (< 14.32 J) e I (< 40.34 kg · m/s) (Figura 8).

Los gráficos de Bland-Altman para el protocolo del 75 % de la IRM revelan un bajo sesgo sistemático para FDM y FDP (≤ 1.84 kg), VM y VP (≤ 8.51 cm/s), PM y PP (≤ 41.56 W), W (< 6.62 J) e I (< 83.89 kg · m/s) (Figura 9).

Finalmente, el coeficiente r tuvo un rango desde casi perfecto hasta perfecto para FDM, FDP, PM, PP e I para el protocolo del 50 % de IRM y para todas las variables durante el protocolo del 75 % de IRM (r rango = 0.72–0.87) (Figuras 10 y 11).

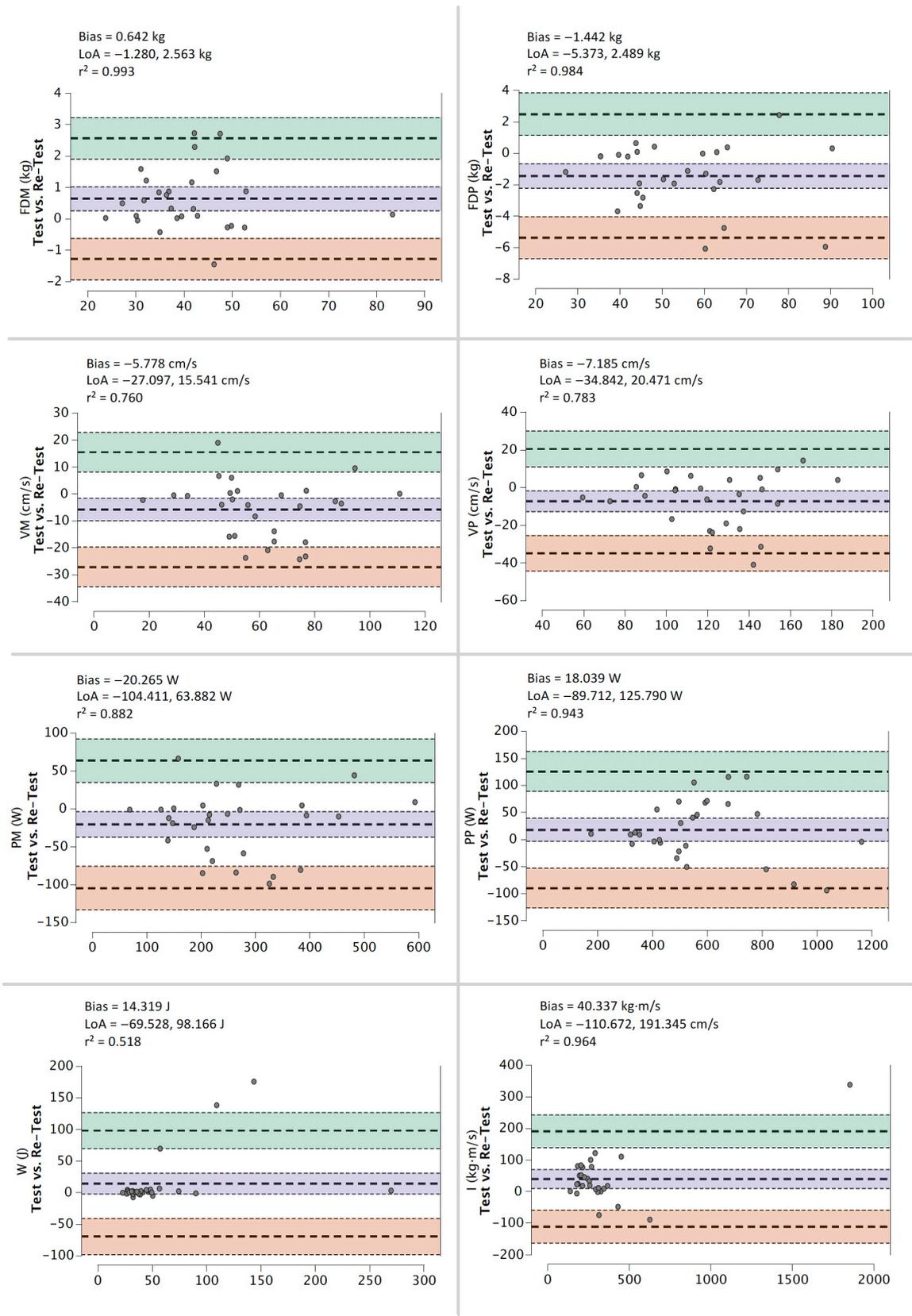


Figura 8. Gráficos de Bland-Altman del test-retest para FDM, FDP, VM, VP, PM, PP, W e I durante el protocolo del 50% de IRM utilizando un DEMF

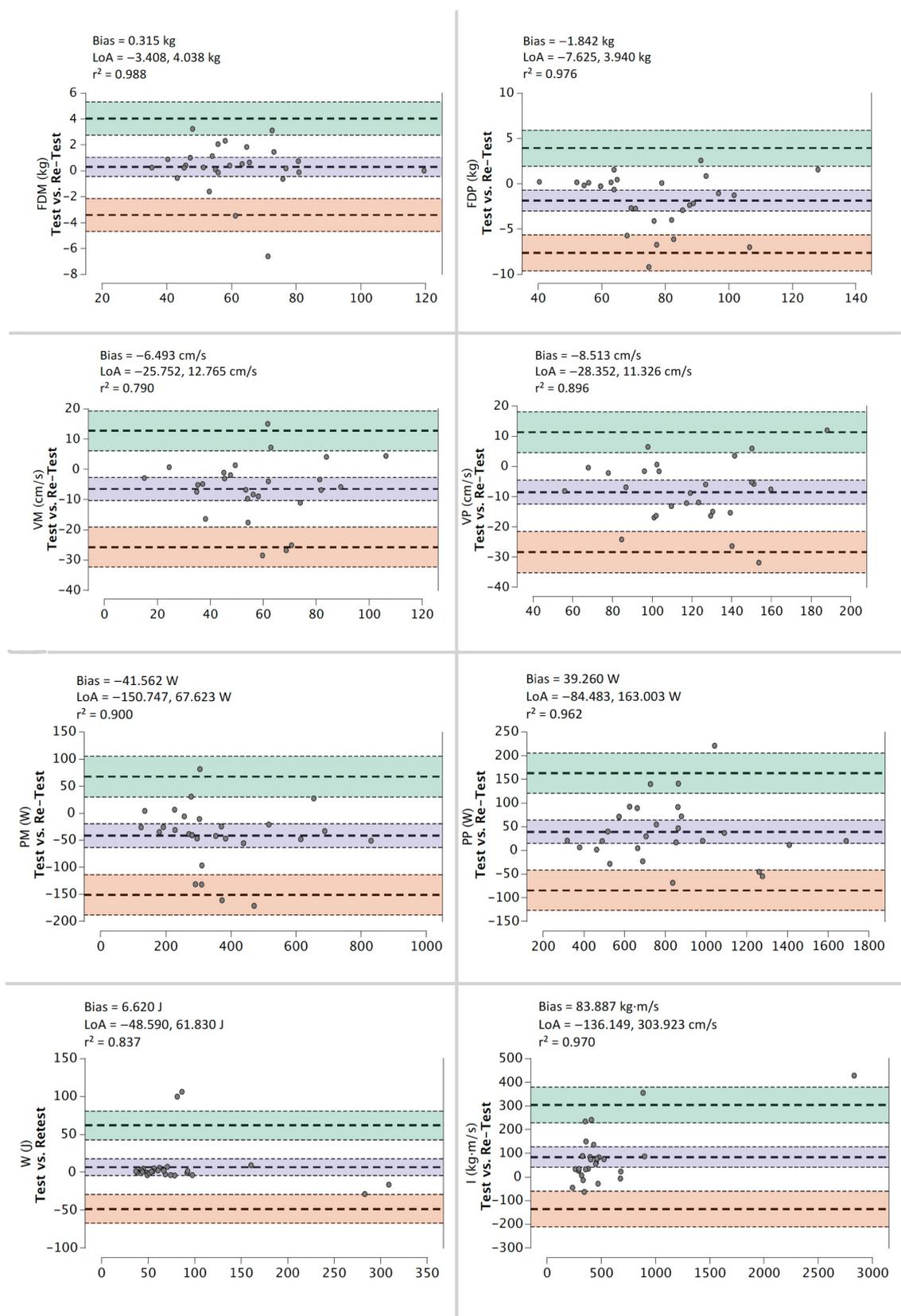


Figura 9. Gráficos de Bland-Altman del test-retest para FDM, FDP, VM, VP, PM, PP, W e I durante el protocolo del 75% de IRM utilizando un DEMF.

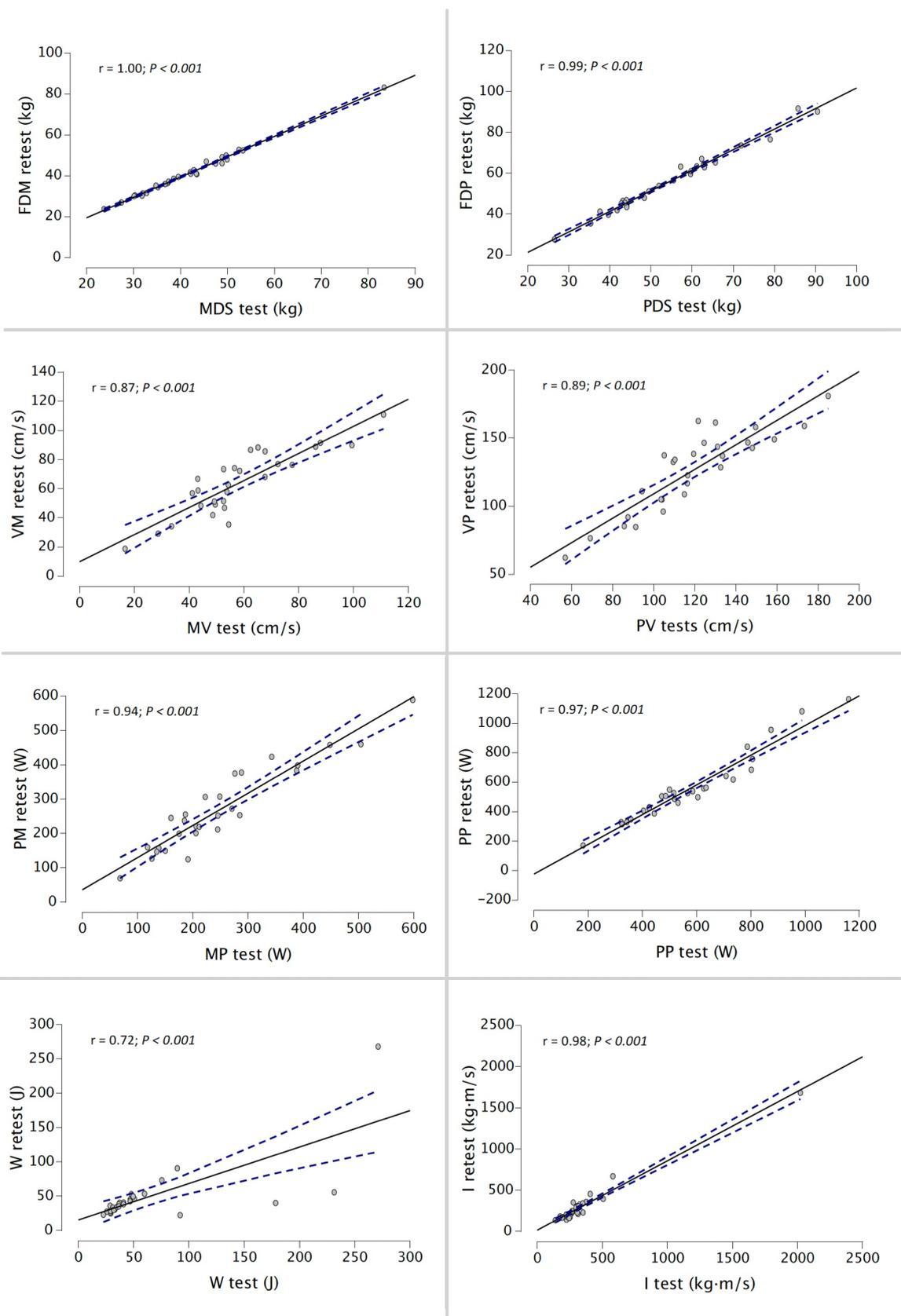


Figura 10. Relación entre FDM, FDP, VM, VP, PM, PP, W e I entre ambas sesiones de prueba durante el protocolo del 50% de IRM utilizando un DEMF

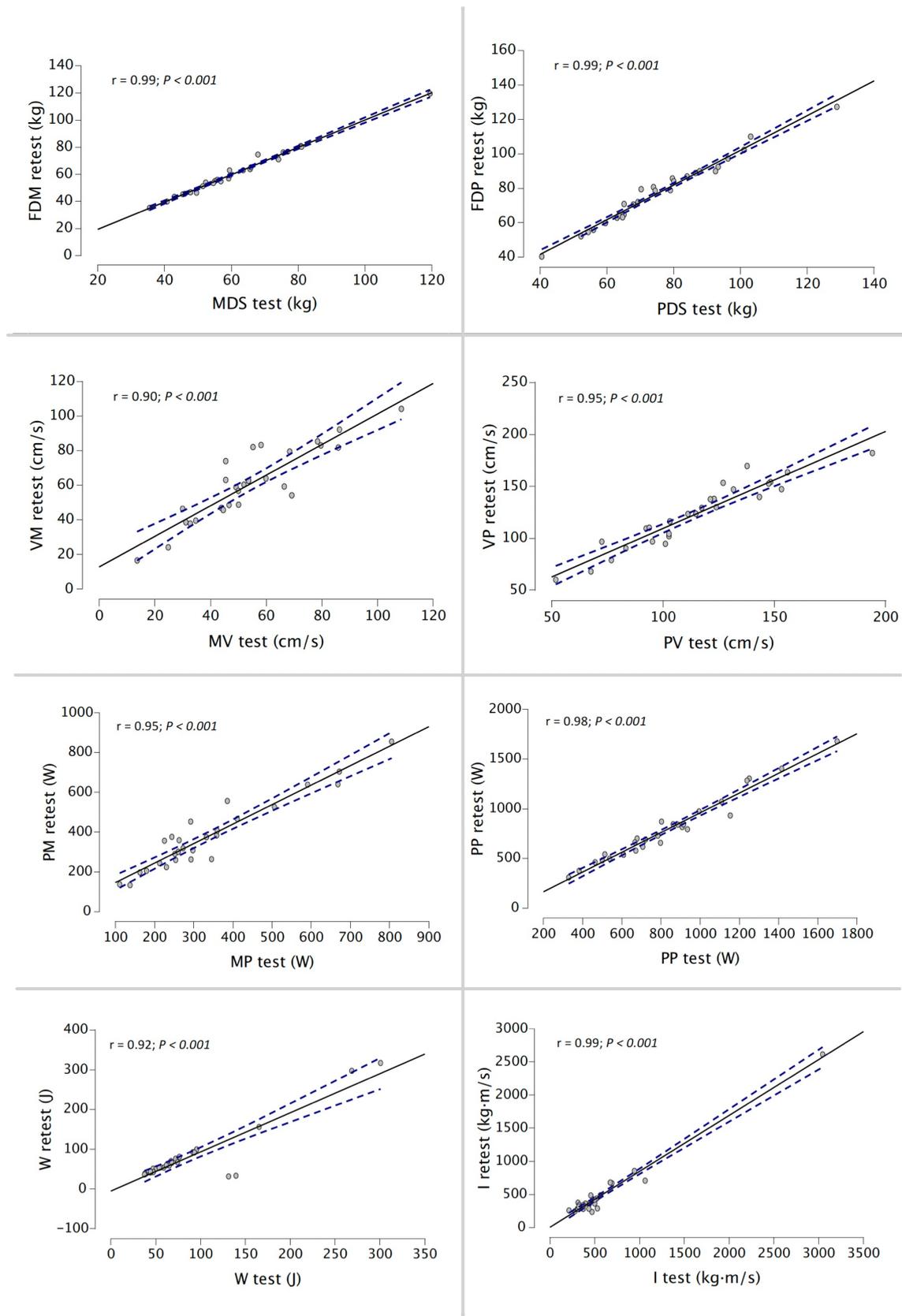


Figura 11. Relación entre FDM, FDP, VM, VP, PM, PP, W e I entre ambas sesiones de prueba durante el protocolo del 75% de IRM utilizando un DEMF

ESTUDIO 3: LOS HOMBRES TIENEN UN GASTO ENERGÉTICO MAYOR QUE LAS MUJERES DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS.

Las características descriptivas de la muestra estudiada según el sexo se muestran en la *Tabla 7*. No hubo diferencias según el sexo en el índice de masa corporal y los niveles de actividad física, actividad física baja, actividad física moderada y actividad física vigorosa.

Tabla 7. Características descriptivas de la muestra en función del sexo.

	TOTAL (N=29)	MASCULINO (N=13)	FEMENINO (N=16)	P-VALUE (F-VALUE)
	MEDIA ± DE	MEDIA ± DE	MEDIA ± DE	
Edad (años)	24.9 ± 4.6	25.7 ± 3.9	24.3 ± 5.1	0.428 (0.649)
PARÁMETROS ANTROPOMÉTRICOS				
IMC (kg/m ²)	23.5 ± 3.0	24.6 ± 3.4	22.6 ± 2.4	0.076 (3.412)
COMPOSICIÓN CORPORAL				
Masa grasa (kg)	15.8 ± 5.3	14.7 ± 5.6	16.7 ± 5.2	0.345 (0.923)
Masa libre de grasa (kg)	52.4 ± 11.4	63.0 ± 7.2	43.9 ± 5.1	<0.001 (1.160)
PHYSICAL ACTIVITY (IPAQ)				
AFB (días)	4.7 ± 2.9	4.9 ± 2.9	4.6 ± 2.9	0.840 (0.042)
AFB (min/día)	37.9 ± 36.5	36.2 ± 32.5	39.4 ± 40.4	0.818 (0.054)
AFM (días)	2.5 ± 2.3	3.2 ± 2.6	2.0 ± 2.0	0.189 (1.820)
AFM (min/día)	66.0 ± 78.5	77.7 ± 96.0	56.6 ± 62.7	0.481 (0.510)
AFV (días)	3.7 ± 1.6	3.8 ± 1.4	3.6 ± 1.7	0.810 (0.059)
AFV (min/día)	90.5 ± 37.6	92.3 ± 31.7	89.1 ± 42.8	0.822 (0.052)

IMC: índice de masa corporal; DE: desviación estándar; IPAQ: cuestionario internacional de actividad física; AFB: baja actividad física; AFM: actividad física moderada; AFV: actividad física vigorosa.

Los datos se muestran como media y (DE). Las comparaciones se midieron mediante un modelo lineal general, utilizando una prueba t. $P < 0.05$.

Los hombres mostraron un mayor GE en todas las sesiones e intensidades (50 % IRM S1 masculino: 149.7 ± 21.9 vs. 50 % IRM S1 femenino: 103.4 ± 21.0 , $p < 0.001$; 50 % IRM S2 masculino: 128.7 ± 16.8 vs. 50 % IRM S2 femenino: 93.7 ± 21.5 , $p < 0.001$; 75 % IRM S1 masculino: 111.3 ± 16.3 vs. 75 % IRM S1 femenino: 78.0 ± 15.4 , $p < 0.001$; 75 % IRM S2 masculino: 109.2 ± 18.4 vs. 75 % IRM S2 femenino: 77.2 ± 16.4 , $p < 0.001$; 50 % IRM S1 masculino: 31.1 ± 4.2 vs. 50 % IRM descanso S1 femenino: 22.0 ± 4.9 , $p < 0.001$; 50 % IRM descanso S2 masculino: 16.4 ± 2.6 vs. 50 % IRM descanso S2 femenino: 11.6 ± 2.3 , $p < 0.001$; 75 % IRM descanso S1 masculino: 17.3 ± 2.5 vs. 75 % IRM descanso S1 femenino: 13.2 ± 3.3 , $p = 0.001$; 75 % IRM S2 masculino: 16.5 ± 3.0 vs. 75 % IRM S2 femenino: 11.4 ± 2.1 , $p < 0.001$) (*Tabla 8*). La Figura 12 muestra el comportamiento del GE total durante los dos diferentes protocolos de sentadillas según el sexo.



Tabla 8. Comparación del gasto energético en función de la intensidad del ejercicio

	TOTAL (N=29) MEDIA±DE	MASCULINO (N=13)		FEMENINO (N=16)		P-VALUE (FVALUE)
		MEDIA	DE	MEDIA	DE	
GE total para 50% IRM S1 (kcal)	124.1±31.4	149.7±	21.9	103.4±	21.0	P<0.001 _(33.510)
GE total para 50% IRM S2 (kcal)	109.4 ±26.1	128.7±	16.8	93.7±	21.5	P<0.001 _(22.964)
GE total para 75% IRM S1 (kcal)	92.9 ±22.9	111.3±	16.3	78.0±	15.4	P<0.001 _(31.964)
GE total para 75% IRM S1 (kcal)	91.6 ±23.5	109.2±	18.4	77.2±	16.4	P<0.001 _(24.614)
GE para 50% IRM 10 min descanso S1 (kcal)	26.1±6.5	31.1±	4.2	22.0±	4.9	P<0.001 _(28.009)
GE para 50% IRM 10 min descanso S2 (kcal)	13.7 ±3.4	16.4±	2.6	11.6±	2.3	P<0.001 _(27.610)
GE para 75% IRM 10 min descanso S1 (kcal)	15.0±3.5	17.3±	2.5	13.2±	3.3	P=0.001 _(13.667)
GE para 75% IRM 10 min descanso S2 (kcal)	13.7±3.6	16.5±	3.0	11.4±	2.1	P<0.001 _(28.724)

DE: desviación estándar; RM: repetición máxima; S1: sesión 1; S2: sesión 2.

Los datos se muestran como media y (SD). Las comparaciones iniciales se midieron mediante un modelo lineal general, utilizando una prueba t. P<0.05.

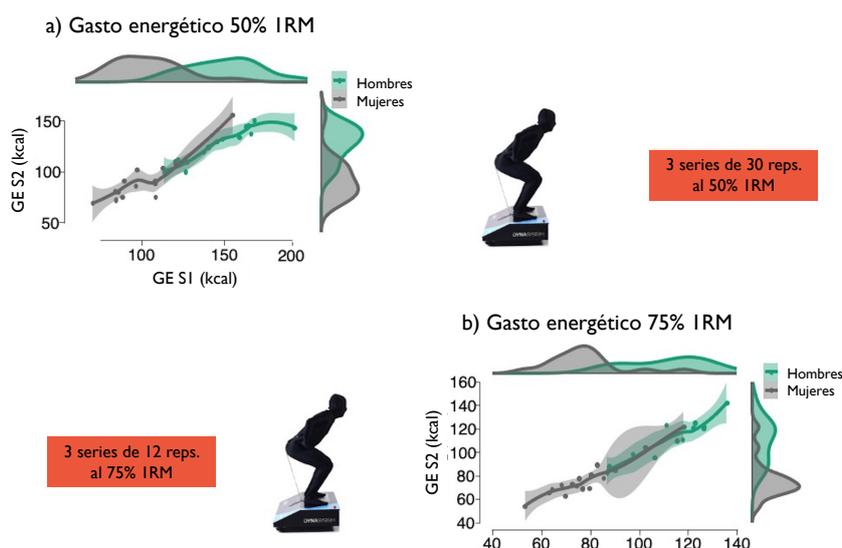


Figura 12. Comportamiento del GE total durante los dos protocolos de entrenamiento de sentadillas

El modelo de regresión lineal determinó que había una asociación significativa entre el sexo y el IMC con el GE total en la sesión 1 del 50% de IRM (sexo, β : -39.49, p <0.001; IMC, β : 0.77, p =0.008, R^2 = 0.66) y en la sesión 2 del 50% (sexo, β : -66.07, p <0.001; IMC, β : 1.83, p =0.001, R^2 = 0.68) (Tabla 9). En relación con la sesión 1 del 75% (sexo, β : -27.79, p <0.001; IMC, β : 2.75, p =0.008, R^2 = 0.70) y la sesión 2 del 75% (sexo, β : -26.63, p <0.001; IMC, β : 4.13, p =0.001, R^2 = 0.66), también hubo una asociación significativa entre el sexo y el IMC con el GE (Tabla 10).

Tabla 9. Asociación entre el GE total al 50 % IRM, sexo e IMC.

	50% IRM KCAL TOTAL S1				50% IRM KCAL TOTAL S2			
	B (95%CI)	BETA	SE	P-VALUE	B (95%CI)	BETA	SE	P-VALUE
Sexo	-37.28 (-52.26; -22.31)	-0.60	7.27	P<0.001	-26.63 (-39.95; -13.32)	-0.52	6.46	P<0.001
IMC (kg/m ²)	4.19 (1.67; 6.72)	0.40	1.23	0.002	4.13 (1.88; 6.38)	0.47	1.09	P=0.001

IRM: repetición máxima; S1: sesión 1; S2: sesión 2; IC: intervalo de confianza del 95%; SE: error estándar; IMC: índice de masa corporal. Los datos se muestran como β (95 % IC). Hombre como valor de referencia en el sexo.

Tabla 10. Asociación entre el GE total al 75 % IRM, sexo e IMC.

	75% IRM KCAL TOTAL S1				75% IRM KCAL TOTAL S2			
	B (95% CI)	BETA	SE	P-VALUE	B (95% CI)	BETA	SE	P-VALUE
Sexo	-27.79 (-39.49; -16.10)	-0.61	5.68	P<0.001	-24.52 (-36.07; -12.96)	-0.53	5.61	P<0.001
IMC (kg/m ²)	2.75 (0.77; 4.72)	0.36	0.96	P=0.008	3.78 (1.83; 5.73)	0.48	0.95	P=0.001

IRM: repetición máxima; S1: sesión 1; S2: sesión 2; IC: intervalo de confianza del 95%; SE: error estándar; IMC: índice de masa corporal. Los datos se muestran como β (95 % IC). Hombre como valor de referencia en el sexo.

ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO, VO₂, FRECUENCIA CARDIACA Y VELOCIDAD.

Gasto Energético

Se encontraron diferencias significativas en las variables de GE al 50 % IRM ($p = 0.001$; $\omega^2 = 0.012$) y al 75 % IRM ($p = 0.001$; $\omega^2 = 0.008$) al comparar tres series (S1 vs S2 vs S3). El análisis post hoc utilizando la corrección de Holm reveló que el GE aumentó significativamente para el protocolo al 50% IRM entre S1 y S3 (S1: 21.53 (5.52) vs S3: 23.26 (5.70), $p < 0.001$) y para el protocolo al 75 % IRM entre S1 y S2 (S1: 16.37 (3.92) vs S2: 17.19 (4.95), $p = 0.006$) y entre S1 y S3 (S1: 16.37 (3.92) vs S3: 17.33 (4.59), $p = 0.002$) (Figura 13a).

Consumo de Oxígeno

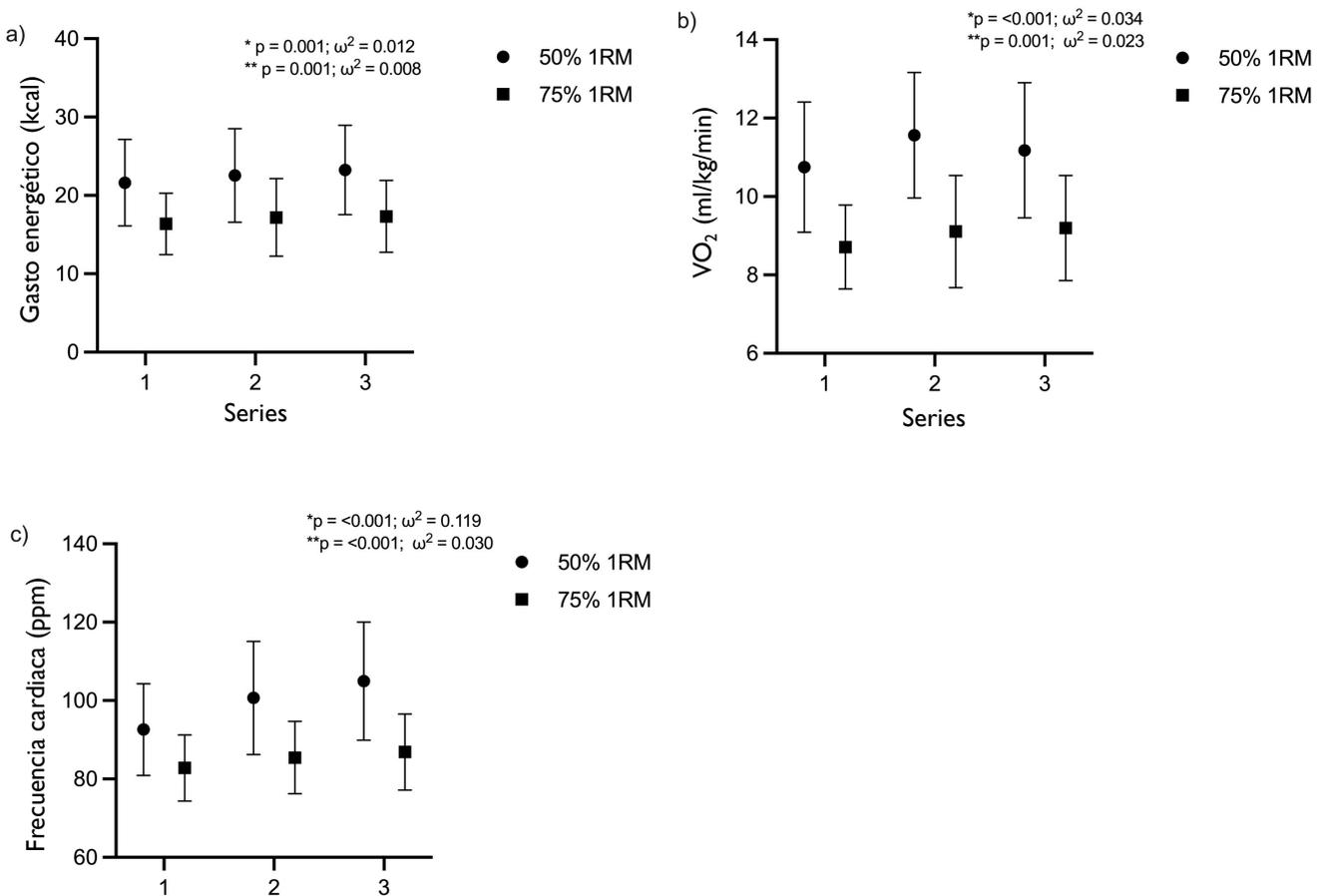
Se encontraron diferencias significativas en las variables de VO₂ al 50 % IRM ($p = 0.001$; $\omega^2 = 0.012$) y al 75% IRM ($p = 0.001$; $\omega^2 = 0.008$) al comparar tres series (S1 vs S2 vs S3). El análisis post hoc utilizando la corrección de Holm reveló que el VO₂ aumentó significativamente para el protocolo al 50 % IRM entre S1 y S3 (S1: 10.75 (1.66) vs S3: 11.18 (1.72), $p < 0.001$) y para el protocolo al 75 % IRM entre S1 y S2 (S1: 8.71 (1.07) vs S2: 9.11 (1.43), $p < 0.001$) y entre S1 y S3 (S1: 8.71 (1.07) vs S3: 9.20 (1.34), $p = 0.002$) (Figura 13b).



Frecuencia Cardíaca

Se encontraron diferencias significativas en las variables de FC al 50 % 1RM ($p < 0.001$; $\omega^2 = 0.119$) y al 75% 1RM ($p < 0.001$; $\omega^2 = 0.030$) al comparar tres series (S1 vs S2 vs S3). El análisis post hoc utilizando la corrección de Holm reveló que la FC aumentó significativamente para el protocolo al 50 % 1RM entre S1 y S2 (S1: 92.61 (11.72) vs S2: 100.68 (14.42), $p < 0.001$), entre S1 y S3 (S1: 92.61 (11.72) vs S3: 104.97 (15.07), $p < 0.001$), y entre S2 y S3 (S2: 100.68 (14.42) vs S3: 104.97 (15.07)) y para el protocolo al 75 % 1RM entre S1 y S2 (S1: 82.82 (8.43) vs S2: 85.45 (9.24), $p = 0.003$) y entre S1 y S3 (S1: 82.82 (8.43) vs S3: 86.88 (9.69), $p < 0.001$) (Figura 13c).

Figura 13. Medidas de GE, VO_2 y FC obtenidas durante las tres series de ambos protocolos



Velocidad

Se encontraron diferencias significativas en las variables de V al 50% 1RM ($p < 0.001$; $\omega^2 = 0.007$) y al 75 % 1RM ($p = 0.033$; $\omega^2 = 0.004$) al comparar tres series (S1 vs S2 vs S3). El análisis post hoc utilizando la corrección de Holm reveló que la V aumentó significativamente para el protocolo al 50 % 1RM entre S1 y S2 (S1: 76.39 (21.59) vs S2: 79.26 (22.48), $p = 0.007$) y entre S1 y S3 (S1: 76.39 (21.59) vs S3: 80.98 (22.51), $p < 0.001$) y para el protocolo al 75 % 1RM entre S1 y S3 (S1: 67.13 (17.73) vs S3: 70.24 (17.37), $p = 0.028$) (Tabla 11).

Tabla 11. Medidas de velocidad obtenidas durante las tres series de los dos protocolos.

VARIABLE		S1 MEDIA (DE)	S2 MEDIA (DE)	S3 MEDIA (DE)	ANOVA
V (cm/s)	50% IRM	76.39 (21.59)	79.26 (22.48)	80.98 (22.51)	F (2.00, 56.00) = 12.13; p < 0.001; ω^2 = 0.007
	75% IRM	67.13 (17.73)	68.71 (17.27)	70.24 (17.37)	F (2.00, 56.00) = 3.64; p = 0.033; ω^2 = 0.004

S1: serie 1; S2: serie 2; S3: serie 3; DE: desviación estándar; V: velocidad.

ESTUDIO 5: LA INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA EN LA PRODUCCIÓN DE LACTATO DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS UTILIZANDO UN DEMF.

Las características descriptivas de los sujetos participantes en este estudio, según su NAF, se muestran en la [Tabla 12](#).

Tabla 12. Características descriptivas de la muestra basadas en el nivel de actividad física.

Percentil 50	TOTAL MEDIA (DE)	BAJO NAF (N=15) MEDIA (DE)	ALTO NAF (N=14) MEDIA (DE)	SIG.	F VALUE
Edad	24.93 (4.56)	25.13 (4.10)	24.71 (5.15)	0.810	0.06
Talla	1.70 (0.10)	1.69 (0.10)	1.71 (0.09)	0.645	0.22
Peso	68.05 (12.92)	69.02 (14.71)	67.02 (11.14)	0.685	0.17
IMC	23.48 (2.97)	23.99 (3.30)	22.93 (2.58)	0.343	0.93
Bajo NAF (días/semana)	4.72 (2.85)	4.20 (3.19)	5.29 (2.43)	0.314	1.05
Bajo NAF (días/semana)	37.93 (36.49)	38.67 (41.21)	37.14 (32.21)	0.913	0.01
Moderado NAF (días/semana)	2.52 (2.32)	2.13 (2.36)	2.93 (2.30)	0.367	0.84
Moderado NAF (días/semana)	66.03 (78.52)	48.67 (64.43)	84.64 (89.92)	0.224	1.55
Vigorous NAF (días/semana)	3.69 (1.56)	2.47 (1.13)	5.00 (0.55)	0.000	57.74
Vigorous NAF (días/semana)	90.52 (37.59)	84.00 (45.44)	97.50 (26.80)	0.343	0.93

NAF: nivel de actividad física; DE: desviación estándar.



En la comparación basada en el NAF (Tabla 13), se observó que el grupo con alto NAF reportó un menor cambio delta en la prueba Pre vs inmediatamente después (InmPost) en la sesión al 75% de IRM (S1) (bajo NAF 5.66 ± 2.86 vs. alto NAF 3.69 ± 2.31 , $P=0.050$) y un cambio delta después de 10 minutos (Post_{10min}) en la sesión al 50% de IRM (S1) (bajo NAF 6.52 ± 3.28 vs. 4.11 ± 2.26 , $P=0.030$).

Table 13. Cambio delta inmediatamente y 10 minutos después del ejercicio de sentadillas.

Percentil 50	BAJO NAF (N=15) MEDIA (DE)	ALTO NAF (N=14) MEDIA (DE)	SIG.	F VALUE
Delta InmPost 50% IRM S1	8.73 (0.73)	6.86 (2.70)	0.097	2.95
Delta InmPost 50% IRM S2	8.85 (3.12)	6.89 (2.36)	0.068	3.62
Delta InmPost 75% IRM S1	5.66 (2.86)	3.69 (2.31)	0.050*	4.15
Delta InmPost 75% IRM S2	4.16 (2.26)	3.94 (1.61)	0.770	0.09
Delta Post _{10min} 50% IRM S1	6.52 (3.28)	4.11 (2.26)	0.030*	5.25
Delta Post _{10min} 50% IRM S2	6.27 (6.27)	4.39 (2.44)	0.059	3.88
Delta Post _{10min} 75% IRM S1	2.40 (2.40)	1.53 (1.05)	0.107	2.79
Delta Post _{10min} 75% IRM S2	2.23 (2.23)	1.64 (1.05)	0.201	1.72

*: $p \leq 0.05$; InmPost: inmediatamente posterior; IRM: repetición máxima; S1: sesión 1; S2: sesión 2.

En el análisis de regresión, hubo una asociación positiva significativa entre los cambios delta de lactato InmPost de las sentadillas al 50% de IRM en la sesión 2 (S2) con la variable "sexo (atributos biológicos asociados con características físicas y fisiológicas): mujeres" (β : 3.02, IC del 95%: -0.18, 0.30, $p=0.047$) y el IMC (kg/m^2). La edad mostró una asociación positiva (β : 0.19, IC del 95%: 0.02, 0.36, $p=0.032$) con los cambios delta de lactato InmPost de las sentadillas al 75% de IRM en la S2 (Tabla 14).

Table 14. Asociación de los cambios delta de lactato inmediatamente después de la prueba de sentadillas con el NAF.

	50% IRM S1			50% IRM S2		
	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value
Edad (años)	0.08 (-0.19; 0.34)	0.11 (0.13)	0.559	0.06 (-0.18; 0.30)	0.09 (0.12)	0.617
Sexo (hombres ref)	-0.79 (-4.09; 2.51)	-0.13 (1.60)	0.627	3.02 (0.05; 5.99)	0.53 (1.44)	0.047*
IMC (kg/m^2)	0.30 (-0.50; 1.10)	0.29 (0.39)	0.447	0.97 (0.25; 1.69)	0.99 (0.35)	0.011*
Masa grasa (kg)	0.07 (-0.36; 0.50)	0.12 (0.21)	0.750	-0.38 (-0.77; 0.01)	-0.69 (0.19)	0.055
Vigorous NAF (MET)	0.00 (0.00; 0.00)	-0.21 (0.00)	0.282	0.00 (0.00; 0.00)	-0.22 (0.00)	0.223
	75% IRM S1			75% IRM S2		
	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value
Edad (años)	-0.21 (-0.46; 0.05)	-0.34 (0.12)	0.111	0.19 (0.02; 0.36)	0.44 (0.08)	0.032*
Sexo (hombres ref)	-2.41 (-5.60; 0.78)	-0.44 (1.54)	0.132	0.28 (-1.83; 2.39)	0.07 (1.02)	0.785
IMC (kg/m^2)	-0.23 (-1.01; 0.54)	-0.25 (0.37)	0.545	0.34 (-0.17; 0.85)	0.52 (0.25)	0.186
Masa grasa (kg)	0.21 (-0.20; 0.63)	0.41 (0.20)	0.302	-0.13 (-0.41; 0.14)	-0.36 (0.13)	0.328
Vigorous NAF (MET)	0.00 (0.00; 0.00)	-0.17 (0.00)	0.401	0.00 (0.00; 0.00)	-0.13 (0.00)	0.481

*: $p \leq 0.05$; 95% CI: 95% interval de confianza; SE: error estandar; NAF: nivel de actividad física.

En el modelo de regresión, hubo una asociación inversa significativa entre los cambios delta de lactato Post10min de la prueba de sentadillas al 75% de IRM en las sesiones 1 y 2 y el NAF vigoroso (-0.01, IC del 95%: -0.02, 0.00, $p=0.046$) (Tabla 15).

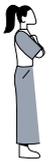
Table 15. Asociación de los cambios delta de lactato 10 minutos después del test de sentadillas con el NAF.

	50% IRM S1			50% IRM S2		
	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value
Edad (años)	0.18 (-0.08; 0.44)	0.27 (0.13)	0.170	0.05 (-0.19; 0.28)	0.08 (0.11)	0.692
Sexo (hombres ref)	-0.1 (-3.35; 3.12)	-0.02 (1.57)	0.942	1.63 (-1.31; 4.57)	0.31 (1.42)	0.262
IMC (kg/m ²)	0.35 (-0.44; 1.13)	0.34 (0.38)	0.372	0.47 (-0.25; 1.18)	0.52 (0.35)	0.189
Masa grasa (kg)	-0.03 (-0.45; 0.40)	-0.05 (0.20)	0.895	-0.19 (-0.57; 0.20)	-0.37 (0.19)	0.321
Vigoroso NAF (MET)	0.00 (0.00; 0.00)	-0.32 (0.00)	0.096*	-0.01 (-0.02; 0.00)	-0.39 (0.00)	0.046*
	75% IRM S1			75% IRM S2		
	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value	β (95%CI)	Beta (SE)	P-value
Edad (años)	0.01 (-0.14; 0.15)	0.02 (0.06)	0.913	0.07 (-0.03; 0.17)	0.25 (0.05)	0.176
Sexo (hombres ref)	0.55 (-1.23; 2.33)	0.19 (0.86)	0.532	0.14 (-1.09; 1.36)	0.06 (0.59)	0.821
IMC (kg/m ²)	0.25 (-0.18; 0.69)	0.52 (0.21)	0.236	0.27 (-0.03; 0.57)	0.65 (0.14)	0.075*
Masa grasa (kg)	-0.10 (-0.33; 0.13)	-0.36 (0.11)	0.393	-0.06 (-0.06; 0.22)	-0.27 (0.08)	0.424
Vigoroso NAF (MET)	0.00 (0.00; 0.00)	-0.08 (0.00)	0.704	0.00 (0.00; 0.00)	-0.13 (0.00)	0.131

*: $p \leq 0.05$; 95% CI: 95% interval de confianza; SE: error estandar; NAF: nivel de actividad física.

07

DISCUSIÓN



La discusión de esta tesis doctoral se centra en la interpretación y contextualización de los resultados obtenidos, situándolos dentro del marco de la literatura científica existente. En esta sección, se analizan detalladamente cómo los hallazgos contribuyen al conocimiento actual sobre el entrenamiento de fuerza controlado con DEMF, la fiabilidad de los métodos de medición del

gasto energético, y las respuestas fisiológicas observadas en diferentes poblaciones y condiciones de estudio. Este análisis permite comprender mejor la relevancia de los resultados obtenidos y su aporte al campo de la fisiología del ejercicio, ofreciendo una visión integrada y crítica del trabajo realizado.

ESTUDIO I: FIABILIDAD TEST-RETEST DE LA CALORIMETRÍA INDIRECTA Y LA ACELEROMETRÍA PARA EVALUAR EL GASTO ENERGÉTICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS.

El propósito de la presente revisión sistemática y meta-análisis fue explorar la fiabilidad de la calorimetría indirecta y los acelerómetros para evaluar el GE durante el ejercicio físico. Los principales hallazgos fueron que (I) la fiabilidad del GE en todos los dispositivos analizados fue buena y (II) los calorímetros indirectos mostraron una fiabilidad mayor que los acelerómetros. Además, en el análisis de subgrupos, encontramos que, aunque tanto los calorímetros indirectos como los acelerómetros demostraron buena fiabilidad, la fiabilidad de los calorímetros indirectos fue ligeramente superior. Los sujetos sanos y aquellos con diversas patologías mostraron buena fiabilidad, observándose una fiabilidad ligeramente mayor en los sujetos sanos.

Por lo tanto, los calorímetros indirectos son más fiables que los acelerómetros para medir el GE durante el ejercicio, y la fiabilidad aumenta cuando se mide en sujetos sanos.

Todos los dispositivos revisados, acelerómetros y calorímetros indirectos, son fiables para medir el GE, lo cual favorece su uso en la práctica y la investigación (160–162). Además, la importancia de saber cuál de ellos es más fiable y en qué condiciones, estará estrechamente relacionada con su uso. A pesar de esto, encontramos muchos estudios donde los acelerómetros y los calorímetros indirectos, aunque fiables y/o válidos, no transfieren los datos obtenidos en términos de GE (156,163,164). Aunque estamos investigando las mediciones de GE proporcionadas por estos dispositivos, también existen otras aplicaciones como el monitoreo de V y distancia (165), número de pasos (166) y oxidación máxima de grasa (136,167).

En cuanto a la fiabilidad de los calorímetros indirectos para evaluar el GE mientras se practica ejercicio físico, es un poco mayor. En este estudio y, específicamente, en este subgrupo, solo cuatro estudios han utilizado la calorimetría indirecta para cuantificar el GE. Todos ellos tienen una fiabilidad de moderada a excelente, excepto el de DeBlois et al. (2021) (136), que tiene una fiabilidad mo-

derada (ICC = 0.74). Específicamente, este estudio tiene como objetivo evaluar la fiabilidad del sistema metabólico portátil COSMED K5 utilizando un protocolo de caminar a varias V. La fiabilidad de este dispositivo aumenta a V de caminata más altas, ya que se encontró que el ICC era moderado (0.50–0.75) a V más bajas y bueno (0.75–0.90) a la V de caminata más alta. Por lo tanto, se recomienda usar este dispositivo a V de caminata más altas o a V de carrera más bajas.

En cuanto a la fiabilidad de los acelerómetros para evaluar el GE mientras se practica ejercicio físico, aunque buena, es un poco menor. Sin embargo, el dispositivo colocado en la cadera utilizado por Troutman et al. (1999) (142) muestra una baja fiabilidad (ICC = 0.17). Esto indica que el sensor de cadera probablemente capte movimientos extraños de manera aleatoria durante el ejercicio. Esto coincide con otro artículo que compara la fiabilidad de un acelerómetro colocado en tres partes diferentes del cuerpo: cadera, muñeca y tobillo, en el cual, aunque la fiabilidad es excelente, la menor fiabilidad se encuentra cuando el dispositivo se coloca en el tobillo (168). Por lo tanto, si es posible, sería un acierto colocar el acelerómetro en el tobillo o la muñeca en lugar de en la cadera.

Aunque la calorimetría indirecta es más fiable que la acelerometría, presenta algunos inconvenientes en cuanto a su uso, tales como: (a) dificultad para respirar mientras se usa la máscara durante ejercicios muy específicos y, en algunos casos, extenuantes, (b) imposibilidad de beber agua mientras se usa la máscara en algunos estudios, lo que podría llevar a la deshidratación, y (c) impedimento en la visión periférica debido al tamaño de la máscara (169). En comparación, los acelerómetros no afectan el rendimiento del sujeto (142,169). Por lo tanto, aunque la calorimetría indirecta es más fiable para medir el GE, la capacidad de los sujetos para realizar la prueba es una desventaja que no existe al usar un acelerómetro. Esto es algo que debemos tener en cuenta, ya que los acelerómetros, aunque menos costosos, también exhiben buena fiabilidad.

La fiabilidad de estos dispositivos en la evaluación del GE en individuos sanos también es buena. Todos los dispositivos utilizados con participantes sanos en los



estudios incluidos, particularmente dentro de este subgrupo, exhiben una fiabilidad que va de buena a excelente, excepto los de Troutman (1999) (142) y DeBlois (2021) (136), cuya fiabilidad es moderada, como se explicó en los párrafos anteriores. De esta manera, sabemos que la presencia o aparición de comorbilidades médicas afecta la fiabilidad de la medición del GE en comparación con los individuos sanos.

La menor, aunque buena, fiabilidad de estos dispositivos para la evaluación del GE durante el ejercicio puede atribuirse a las diversas condiciones asociadas a las patologías. La DMD está ampliamente asociada con déficits de atención y problemas de comportamiento (170). De manera similar, las personas diagnosticadas con SFM frecuentemente presentan problemas cognitivos, como dificultad para concentrarse, problemas de memoria, dificultades para encontrar palabras y problemas para realizar varias tareas mentales simultáneamente (171, 172). Todo esto, destacando los problemas de atención junto con el dolor o la incapacidad de cada sujeto, conduce a una alta dificultad o variabilidad en la realización o finalización de la prueba o cualquier otra actividad de la vida diaria.

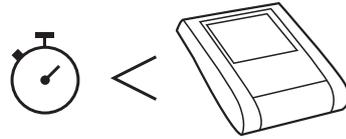
Finalmente, en pacientes con ACV la movilidad a menudo se ve significativamente afectada (75). Teniendo en cuenta que el objetivo principal en el estudio incluido en este meta-análisis de revisión sistemática (134) era evaluar el GE mientras se caminaba en una cinta durante 5 minutos y que las medidas de GE mientras se camina pueden estar influenciadas por la V de la caminata y por el tamaño del sujeto, la variabilidad en la población con ACV será aún más evidente debido a la marcha afectada y las diferentes características de la marcha, como la asimetría y la reducción de la longitud de los pasos. Otro estudio, incluido en esta revisión sistemática y meta-análisis, del mismo autor (135), con el mismo dispositivo, realizando el mismo ejercicio y durante el mismo tiempo, pero en personas sanas, tiene una mayor fiabilidad ($ICC = 0.85$) y una menor variabilidad ($IC: 0.67 - 1.09$). Esto nos muestra, una vez más, que la fiabilidad de un dispositivo depende mucho del tipo de población en la que se realiza el estudio. Por otro lado, el estudio que evalúa la fiabilidad del GE en personas con EPOC incluido en esta revisión sistemática y meta-análisis

(137) muestra una fiabilidad excelente ($ICC = 0.98$) con una variabilidad muy baja ($IC: 0.97 - 0.99$). Por lo tanto, aunque la EPOC, junto con una reducción en el ejercicio físico, está relacionada con una disminución de la función pulmonar (173) y esto podría llevar a una alta variabilidad en las mediciones, el dispositivo utilizado es un buen dispositivo para evaluar el GE en pacientes con esta patología concreta.

Finalmente, se deben mencionar algunas limitaciones. En este meta-análisis, nos enfocamos en la fiabilidad de los dispositivos de GE, pero no consideramos propiedades de medición como la validez, la validez de criterio y la fiabilidad absoluta. Nos enfocamos solo en el GE del ejercicio físico y no en el GE total. La fiabilidad entre dispositivos y las medidas del GE total pueden ser mayores debido a condiciones más estables en las mediciones. Además, no pudimos investigar las diferencias de fiabilidad relacionadas con el sexo. Finalmente, solo nos enfocamos en artículos en inglés y español, descartando estudios relevantes publicados en otros idiomas, como francés o alemán. Asimismo, intentamos diferenciar el tipo de ejercicio físico realizado al usar estos dispositivos. Solo se han incluido dos artículos que investigan la fiabilidad de un dispositivo para medir el GE durante el entrenamiento de fuerza (174). El número de estudios en los que se mide el GE durante este tipo de ejercicio es muy pequeño (175, 176) y, aún más, los estudios que estudian el GE durante un ejercicio concreto de entrenamiento de fuerza (54). Teniendo esto en cuenta, se ha detectado que la preocupación de la investigación por el entrenamiento de fuerza es mucho menor que la de otras capacidades, como el entrenamiento de resistencia. A pesar de esto, este tipo de entrenamiento se recomienda cada vez más para mejorar el GE (176-178). Esto sugiere la necesidad de investigar la fiabilidad en diferentes condiciones de entrenamiento de fuerza.

En conclusión, se ha demostrado la fiabilidad de los acelerómetros y los calorímetros indirectos para evaluar el GE, pero también se pretendía saber cuál de estos métodos era más fiable. Actualmente, los calorímetros indirectos tienen un ICC más alto y su aplicación es muy útil en adultos sin ningún tipo de patologías. Además, hoy en día, la disponibilidad de calorímetros indirectos para medir el GE, entre otras variables, es mayor.

Al comparar la calorimetría indirecta y la acelerometría, se ha observado que la primera es más fiable.



Se observó que la calorimetría indirecta era más fiable que la acelerometría y que esta fiabilidad era aún mayor cuando se evaluaba en personas sanas.

Además, se comparó en dos grupos de población:



Con patologías



Sanas



Figura 13. Infografía con el mensaje principal del estudio 1.

ESTUDIO 2: FIABILIDAD TEST-RETEST DEL DEMF PARA EL EJERCICIO DE SENTADILLAS

El objetivo de este estudio fue evaluar la fiabilidad test-retest de dos protocolos de entrenamiento de sentadillas controlados por un DEMF en un grupo de adultos jóvenes sanos.

Los principales resultados de este estudio demuestran una fiabilidad que va de "casi perfecta" a "perfecta" para todas las variables del protocolo al 50 % y 75 % de 1RM evaluadas por el DEMF.

Estos resultados muestran una repetibilidad estable en los protocolos utilizados ($CV < 10\%$) para todas las variables, excepto para el W en el protocolo del 75 % de 1RM. A pesar de esto, muestra un valor de fiabilidad "perfecto" ($ICC = 1.00$) (143).

Hipotetizamos que el protocolo que consiste en realizar 3 series de 30 repeticiones de sentadillas al 50 % de la 1RM tendría una mayor fiabilidad test-retest que el de 3 series de 12 repeticiones de sentadillas al 75 %

de la 1RM. Al calcular la relación entre los CV pudimos determinar qué variable de cada protocolo era más fiable. Si el ratio estaba por debajo de 0.85, o por encima de 1.15, se podría concluir que un protocolo era más fiable que el otro. Siguiendo esta recomendación, concluimos que: (a) no hubo diferencias entre los protocolos para ROM y W; (b) el protocolo del 50 % de la 1RM fue más fiable para MV, PV e I; y (c) el protocolo del 75 % de la 1RM fue más fiable para FDM y FDP. Esto significa que tuvimos que rechazar en gran medida nuestra hipótesis inicial.

Durante muchos años, la dinamometría isocinética angular ha sido considerada el "gold standard" para la evaluación del rendimiento muscular dinámico (81). Con el desarrollo de nuevas tecnologías, la aplicación de la dinamometría isocinética multiarticular está aumentando gradualmente (145). Dentro de estas nuevas tecnologías se incluiría la DEMF. Además, se ha demostrado que estos dispositivos pueden aplicarse válida y eficazmente para la evaluación y el acondicionamiento de patrones específicos de activación muscular (144). A pesar



de esto, existe una gran necesidad de estandarización de los protocolos de prueba y acondicionamiento, así como de investigación sobre el uso de estos métodos de entrenamiento (81).

Hoy en día, un número creciente de autores está investigando el uso de estos dispositivos y la estandarización de las pruebas y los protocolos de entrenamiento (83,179). En nuestro caso, aunque este es el primer estudio que evalúa la fiabilidad del DEMF durante la realización de una sentadilla, en los últimos años también se ha evaluado la fiabilidad de otros gestos en los diferentes modos de trabajo del DEMF. Un ejemplo de esto es el estudio de Baena-Raya et al. (2021) (180) que examinaron la fiabilidad de un DEMF para evaluar el mid thigh pull. Los resultados demostraron que las medidas de fuerza pico calculadas a partir del desempeño de este ejercicio en el DEMF eran fiables ($CV < 3\%$; $ICC > 0.90$). Paralelamente, Reyes-Ferrada et al. (2021) (84), examinaron la fiabilidad de la evaluación de la fuerza de los extensores del tronco con DEMF a diferentes V (0.15 $m \cdot s^{-1}$, 0.30 $m \cdot s^{-1}$ y 0.45 $m \cdot s^{-1}$) y rangos de movimiento (25 % cm y 50 % cm), y contracción isométrica a 90° , y concluyeron que el DEMF es un dispositivo altamente fiable para evaluar la fuerza de los extensores del tronco. El estudio de Rodríguez-Perea et al. (2021) (82) determinó la fiabilidad y validez concurrente de un DEMF para medir diferentes V isocinéticas (0.40, 0.60, 0.80, 1.00 y 1.20 $m \cdot s^{-1}$). Los resultados indicaron que la VM registrada por el DEMF proporcionó una alta o aceptable fiabilidad ($CV = 0.24\%$), así como el tiempo para alcanzar la V isocinética (rango de $CV = 1.68\% - 9.70\%$) y el tiempo pasado en la V isocinética (rango de $CV = 0.53\% - 8.94\%$). Finalmente, Jerez-Mayorga et al. (2019) (85) determinaron la fiabilidad para la fuerza y la V de movimiento de la fase concéntrica del 5 Sit-to-Stand, utilizando tres cargas incrementales medidas por un DEMF. Los hallazgos de este estudio demuestran que la DEMF es un instrumento fiable para medir los valores promedio y pico de fuerza y V durante los cinco STS en adultos jóvenes sanos ($ICC = 0.95 - 1.00$; rango de $CV: 0.79 - 4.18\%$). Con todos estos resultados, el DEMF no solo es fiable para la evaluación de la sentadilla, sino también de muchos otros gestos deportivos, tipos de contracción, V , angulaciones, etc.

Como se indicó, para evaluar una prueba o un protocolo de entrenamiento, es muy importante que el instrumento evaluado cumpla con ciertos criterios de fiabilidad (181). Se sugiere que un $ICC > 0.90$ asegura la alta fiabilidad relativa de un instrumento (143). Esto ocurre en todas las variables evaluadas en los dos protocolos de sentadilla realizados en este estudio, por lo

que, según Weir (2005) (143), se cumplió este umbral para todas nuestras variables de resultado. Estos altos valores de fiabilidad se deben a dos razones principales: (1) la alta precisión del DEMF utilizado, como se afirmó anteriormente (82,85,111,112) y (2) al proceso de familiarización realizado antes del inicio de la recolección de datos oficiales (82,84,85,180). Por otro lado, aunque no existen umbrales universalmente aceptados para clasificar el CV, los valores por debajo del 5 % generalmente se consideran aceptables (153). Esto ocurre con todas las variables analizadas en este estudio para ambos protocolos de sentadilla, excepto para el W en el protocolo de 12 repeticiones al 75 % de IRM ($CV = 14.06\%$). Este ligero aumento en el CV puede deberse a variaciones en la ventana de tiempo durante la realización del ejercicio. A pesar de esto, Buckthorpe et al. (2012) (182) encontraron una buena fiabilidad dentro de los participantes con un CV ligeramente más alto ($CV < 19\%$), por lo que se podría determinar que, a pesar de este ligero aumento en el CV, los datos para la variable W en el protocolo de 12 repeticiones al 75% de IRM son fiables.

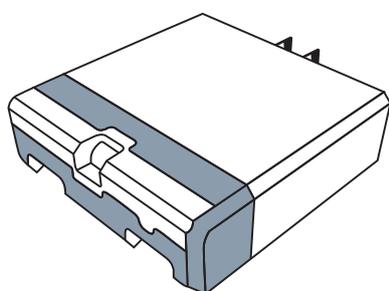
Dynasystem no es el único DEMF fiable. Además, la fiabilidad de otros DEMF se ha estudiado recientemente (112,183-185). Por ejemplo, Cerda-Vega et al. (2018) (112) estudiaron la validez y fiabilidad de un DEMF utilizando tres protocolos de fuerza isométrica en la articulación de la cadera. Los investigadores reportaron un CV de 9.80, 6.60 y 5.64 para las posiciones de decúbito lateral, de pie y decúbito supina, respectivamente. Además, Campos-Jara et al. (2014) (183) demostraron la validez y fiabilidad al medir el rango de V isocinética a 0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 $m \cdot s^{-1}$, utilizando un DEMF (Hae-fni Health System 1.0®, Granada, España) en comparación con un transductor de V lineal (T-Force System®, Murcia, España). Reportaron un ICC de 0.99 para las fases concéntrica y excéntrica, mientras que el CV fue mayor para la V de ejecución ($1.0 m \cdot s^{-1} = CV 4.38\%$). Además, Chamorro et al. (2018) (184) investigaron la fiabilidad de un DEMF en la articulación del hombro. Reportaron un valor de ICC de 0.96 para la rotación interna del hombro a 90° y de 0.94 para la rotación externa del hombro a 90° . Así como un ICC de 0.89 para la rotación interna del hombro a 40° y de 0.97 para la rotación externa del hombro a 40° .

Aunque se demuestra la alta fiabilidad del DEMF, este estudio tiene algunas limitaciones y consideraciones que deben tenerse en cuenta para futuras investigaciones. Solo se incluyeron adultos jóvenes sanos cuya IRM era inferior a 160 kg. Por lo tanto, los futuros estudios deberían considerar estudiar otras poblaciones, como

powerlifters, pacientes con sobrepeso u obesidad y otras patologías. Además, la fiabilidad del DEMF se evaluó en media sentadilla, y sería interesante conocer el comportamiento de todas las variables en sentadilla completa, de modo que la IRM de los participantes disminuiría y se podría aumentar el número de participantes. Finalmente, al igual que en la mayoría de los estudios previos, se demostró la fiabilidad del DEMF; sin embargo, no se investigó la validez, y esto debería abordarse en el futuro.

Los principales hallazgos de este estudio demuestran que la DEMF es un instrumento fiable para medir ROM, FDM, FDP, VM, VP, PM, W e I durante ambos protocolos de sentadilla (50 % y 75 % de IRM) en adultos jóvenes sanos. De esta manera, con un solo dispositivo y de manera más rápida, podemos evaluar de manera fiable todos estos parámetros. Esto permite al profesional tener una alternativa adicional para registrar diferentes variables de evaluación de la sentadilla, así como el progreso logrado a través del entrenamiento.

Resumen del artículo



Además de confirmar su fiabilidad, se han podido medir los siguiente parámetros solo con este dispositivo:

Se ha puesto a prueba la fiabilidad del DEMF dos protocolos de entrenamiento de media sentadilla:
A) 30 repeticiones, 50% IRM
B) 12 repeticiones, 75% IRM

ROM · FDM · FDP
VM · VP · PM
PP · W · I

Figura 14. Infografía con el mensaje principal del estudio 2.



ESTUDIO 3: LOS HOMBRES TIENEN UN GASTO ENERGÉTICO MAYOR QUE LAS MUJERES DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS.

Hasta la fecha, se han realizado pocos trabajos destinados a determinar si las mujeres y los hombres muestran diferencias en el GE durante el entrenamiento de fuerza. Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue determinar las diferencias en el GE según el sexo durante y después de dos protocolos diferentes de entrenamiento de sentadillas en un grupo de adultos jóvenes sanos.

Los principales resultados de este estudio demostraron que los hombres tuvieron un mayor GE en todas las sesiones e intensidades, así como una asociación significativa entre el sexo y el IMC con el GE total.

El entrenamiento de fuerza ofrece numerosos beneficios para quienes lo practican, como la mejora de la salud cardiovascular debido a un aumento en la FC y la mejora de la circulación sanguínea (186). También promueve el crecimiento muscular; lo que mejora la composición corporal y reduce el riesgo de obesidad y otras enfermedades relacionadas con el estilo de vida (187). Todo esto resulta en una mejora de la función metabólica y un aumento en el GE (188). El tejido muscular es metabólicamente activo, lo que significa que quema calorías incluso en reposo, por lo que, a medida que se desarrolla más músculo, el cuerpo quema más calorías cuando está inactivo (189). Además, estos aumentos en la función metabólica para reponer las reservas de energía y ayudar en la construcción muscular pueden llevar a un consumo excesivo de oxígeno post-ejercicio que puede persistir hasta 72 horas después del ejercicio (190), promoviendo un aumento del GE, incluso en reposo, y una mejora de la eficiencia metabólica a largo plazo (191). Afortunadamente, el entrenamiento de fuerza y el aumento subsecuente en el GE ofrecen numerosos beneficios que ayudan en la prevención o control de enfermedades crónicas como la obesidad, la diabetes, la hipertensión, las enfermedades cardíacas y ciertos tipos de cáncer (192).

En este estudio, después de realizar dos sesiones de 3 series de 12 repeticiones al 75 % de 1RM y dos sesiones más de 3 series de 30 repeticiones al 50 % de 1RM, como suponíamos, se demostró que los hombres tuvie-

ron un mayor GE que las mujeres en ambos protocolos y en todas las sesiones. Nuestros resultados también son consistentes con los indicados por Lemmer et al. (2001) (193), quienes tenían como objetivo comparar los efectos de la edad y el sexo en el entrenamiento de fuerza en relación con la tasa metabólica en reposo, el GE durante la actividad física y la composición corporal. Lemmer et al. (2001) (193) fueron los primeros en sugerir que los cambios en el GE en respuesta al entrenamiento de fuerza estaban influenciados por el sexo de los sujetos evaluados. Después de evaluar el GE, antes y después de una intervención de entrenamiento de fuerza de 24 semanas, observaron un aumento significativo en el GE en los hombres, mientras que este aumento no fue significativo en las mujeres. Hace más de 20 años, propusieron que esta diferencia se debía principalmente a un aumento en la actividad metabólica de la masa magra después del entrenamiento de fuerza, lo que está relacionado con un aumento en la actividad del sistema nervioso simpático (52).

Desde ese momento hasta el presente, tanto el entrenamiento de fuerza como el GE han sido temas candentes en la sociedad. Sin embargo, a pesar de esto, la investigación existente sobre este tema no es tan extensa. No obstante, los resultados presentados continúan alineándose con los publicados hasta la fecha. Específicamente, los hallazgos presentados corresponden con los reportados por Li et al (2019). (52), quienes midieron el GE mientras caminaban en una cinta rodante con una mochila cargada hasta la mitad y una mochila completamente llena y encontraron que las participantes femeninas, jóvenes y sanas, tenían un GE notablemente menor en comparación con los participantes masculinos durante la caminata. Ahora, con el paso del tiempo, las tecnologías han avanzado, permitiendo un análisis más profundo de los resultados obtenidos, y el aumento en el GE en los hombres puede estar relacionado con otros factores. Como se mencionó en otro párrafo, ahora se sabe que un mayor porcentaje de masa muscular conduce a un aumento en el GE (189). Esto sugiere que, en general, los hombres muestran un mayor GE en comparación con las mujeres (53). Además, los hombres también tienen una tasa metabólica basal más alta debido a la presencia de hormonas masculinas como la testosterona, que aumentan el GE (194).

En relación con esto, Trumble (2023) (195) observó que altos niveles de testosterona en los hombres estaban positivamente asociados con un alto GE, controlando la masa corporal magra y la actividad física. Esto se debe a que los efectos anabólicos de la testosterona aumentan la síntesis de proteínas (196) y promueven la proliferación de células musculares a través de la activación de células satélite (197), lo que requiere una utilización intensiva de calorías y una desviación de las reservas de energía. Además, la testosterona también mejora la captación y utilización de glucosa en el tejido muscular (198). Así, podemos explicar por qué los hombres que toman suplementos de testosterona a menudo exhiben una disminución en la masa grasa además de un aumento en la masa muscular (199). Por el contrario, Trumble (2023) (195) también observó que las mujeres tienen, en menor medida, testosterona y masa muscular magra, pero no muestran las mismas asociaciones entre GE y testosterona. Esta diferencia podría atribuirse a los costos reproductivos adicionales (gestación, lactancia) que las mujeres soportan, a los que los hombres no están expuestos (200).

Enfocándonos específicamente en las mujeres, todas fueron evaluadas durante la fase lútea de su ciclo menstrual. Esta fase se divide comúnmente en tres etapas: (a) la fase lútea temprana, que comienza después de la ovulación e involucra la transformación del folículo roto en el cuerpo lúteo, que secreta progesterona y una pequeña cantidad de estrógeno; (b) la fase lútea media, que incluye el pico de progesterona y un segundo pico más pequeño de estrógeno, preparando el endometrio para la implantación de un óvulo fertilizado; y (c) la fase lútea tardía, que termina con el embarazo si se implanta un óvulo fertilizado. Si el óvulo no es fertilizado, el cuerpo lúteo se degrada, causando una disminución en los niveles de progesterona y estrógeno durante la fase lútea tardía. Mientras tanto, el ciclo se prepara para reiniciarse y el revestimiento uterino se desprende, iniciando nuevamente la menstruación (201–203). Durante el ciclo menstrual, la tasa metabólica durante el sueño exhibe cambios cíclicos, con el punto más alto ocurriendo durante la fase lútea tardía. Sin embargo, el aumento en el GE durante un período de 24 horas no es estadísticamente significativo (147).

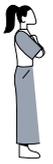
Además, los resultados presentados indican una correlación significativa entre el sexo y el IMC con el GE total en todas las sesiones e intensidades. Estos hallazgos son consistentes con los de Pardo et al. (2014) (204), quienes estudiaron la asociación del GE en condiciones de IMC extremo en un grupo de 145 mujeres adultas, incluyendo 30 con anorexia, 66 con obesidad y 49

controles sanos de peso normal. Concluyeron que los sujetos obesos exhibían una actividad física diaria estadísticamente más baja con un GE más alto en comparación con los sujetos de peso normal. Ahora se sabe que un mayor IMC se acompaña de un aumento en el GE (205). Esto se debe a que aquellos individuos con valores elevados de IMC, aunque puedan tener una mayor cantidad de masa grasa, también tienen un mayor porcentaje de masa magra, lo que, como se mencionó anteriormente, conduce a un alto GE (204).

Además, el presente estudio encontró una relación inversa entre las mujeres y el GE en todas las sesiones e intensidades. Se ha informado previamente que la ventaja masculina en el rendimiento de fuerza se atribuye a la diferencia de sexo observada en el VO₂max (206), lo que podría explicar los resultados. De hecho, hay varios factores fisiológicos que podrían impactar la variabilidad del GE y la respuesta interindividual. Estos factores incluyen elementos centrales involucrados en la entrega de oxígeno durante el ejercicio, como la difusión a través de la membrana capilar pulmonar, la ventilación pulmonar, el gasto cardíaco y la masa de hemoglobina. Además, los factores periféricos, como el flujo sanguíneo en los músculos esqueléticos y la difusión de oxígeno desde la microcirculación hacia el músculo, también juegan un papel. En las mujeres, la incapacidad para igualar el alto VO₂max de sus contrapartes masculinas a menudo se atribuye a estos factores centrales, ya que tienen pulmones, corazón y masa de hemoglobina más pequeños, lo que limita la capacidad de entregar O₂ a los músculos en funcionamiento (206,207), afectando al GE.

Después de conocer estos nuevos hallazgos, es interesante destacar las aplicaciones prácticas que pueden derivarse de ellos. Los entrenadores pueden obtener una mejor comprensión de las diferencias en el GE generado por el mismo entrenamiento en hombres y mujeres y aplicar este conocimiento en la práctica. Siempre deben considerar que los hombres generan un mayor GE que las mujeres. Por lo tanto, si el objetivo de un entrenador es entrenar a una mujer para alcanzar un nivel específico de GE, debe prescribir un mayor volumen de entrenamiento en comparación con el prescrito para un hombre. De manera similar, ocurre una situación parecida con el IMC. Una persona con un IMC más alto generará un mayor GE, lo cual es importante considerar al prescribir el entrenamiento.

A pesar de todo esto, el estudio tiene ciertas limitaciones que deben abordarse en futuras investigaciones. El estudio incluyó solo a adultos jóvenes y sanos con una 1RM inferior a 160 kg. Por lo tanto, los estudios futuros



deberían incluir diferentes poblaciones, como powerlifters, individuos con sobrepeso u obesidad y personas con otras condiciones de salud. Además, el estudio evaluó media sentadilla, y sería valioso investigar los efectos del GE sobre la sentadilla completa y otros ejercicios diferentes, para determinar si el GE cambiaría. También habría sido interesante medir el GE utilizando un acelerómetro, para comparar los resultados obtenidos entre los dos dispositivos diferentes. Finalmente, habría sido muy interesante realizar un estudio sobre hormonas sexuales como la testosterona o el estrógeno para

establecer correlaciones con los hallazgos obtenidos. Todas estas limitaciones serán consideradas para futuras investigaciones.

En conclusión, los principales hallazgos de este estudio demuestran que los hombres tuvieron un mayor GE en ambos protocolos (50 % y 75 % de IRM) y durante todas las sesiones, así como que el GE depende del sexo y del IMC en adultos jóvenes sanos. A pesar de esto, la generación de nuevos conocimientos sobre la evaluación del GE en hombres y mujeres puede ayudarnos a aclarar la razón de estas diferencias.

Resumen del artículo

Este artículo demostró que los hombres tienden a tener un mayor gasto energético que las mujeres en dos protocolos de entrenamiento de media sentadilla:

Además, se ha observado una relación recurrente entre gasto energético, sexo y IMC.

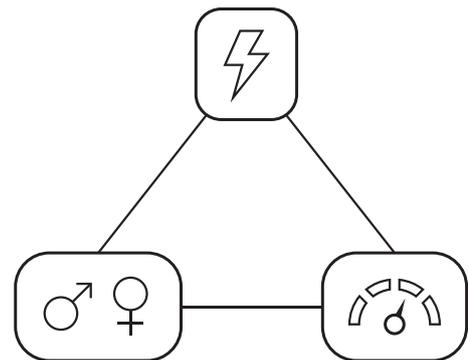
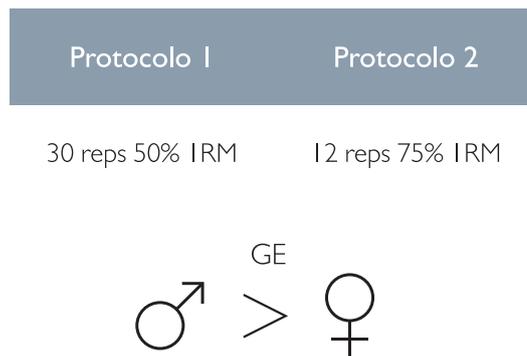


Figura 15. Infografía con el mensaje principal del estudio 3.

ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO, VO₂, FRECUENCIA CARDIACA Y VELOCIDAD.

El propósito principal de este estudio fue evaluar los cambios en las mediciones de GE, VO₂, FC y V obtenidas durante tres series de cada uno de los dos protocolos de entrenamiento de sentadillas (30 repeticiones al 50% de 1RM y 12 repeticiones al 75% de 1RM) en un grupo de adultos jóvenes saludables.

Los resultados principales indicaron que el GE, VO₂, FC y V tendieron a aumentar en ambos protocolos a medida que se realizaban las series.

Este hallazgo tiene una importancia práctica, ya que sugiere una respuesta adaptativa en el GE y la demanda cardiovascular durante el transcurso de múltiples repeticiones dentro de una serie, lo que podría influir en las estrategias de entrenamiento para mejorar la eficiencia y optimización del rendimiento.

Estos resultados afirman la importancia de considerar la progresión del esfuerzo durante una serie de repeticiones en el entrenamiento de fuerza (208). Esto puede llevar a aumentos en GE y VO₂, lo que refleja la demanda metabólica creciente a medida que los músculos se fatigan, necesitando un mayor suministro de energía y oxígeno para mantener el rendimiento (209). Simultáneamente, la elevación en FC es indicativa de la respuesta cardiovascular adaptativa del cuerpo para asegurar una entrega adecuada de sangre y oxígeno a los músculos activos (210,211). El aumento en V fue motivado por la corta duración del ejercicio, los 5 minutos de descanso entre series y las instrucciones a los participantes de siempre realizarlo a máxima V (212).

A pesar de realizar una revisión extensa de la literatura publicada sobre este tema, no encontramos estudios que evalúen GE, VO₂ y FC durante diferentes series del mismo protocolo de entrenamiento. En cambio, se han realizado estudios sobre cómo cambian estas variables después de aplicar un programa de entrenamiento específico en diferentes grupos poblacionales, lo que indica la novedad de este estudio.

En cuanto a GE y VO₂, uno de los pocos artículos que investiga el GE durante el entrenamiento de fuerza, y además en un gran grupo muscular como el realizado en este estudio, es el estudio de Farinatti et al. (2016) (213). Ellos

examinaron GE, VO₂ y utilización de sustratos durante y después de ejercicios de fuerza realizados con diferentes grupos musculares en diez participantes masculinos que realizaron cinco series de prensa de piernas horizontal y vuelo de pecho en un diseño contrabalanceado. Observaron un aumento en GE, VO₂ y oxidación de grasas para ambos ejercicios al comparar la serie 1 con la serie 5. Sin embargo, las mejoras durante el período de recuperación posterior al ejercicio fueron más significativas cuando se realizaron múltiples series de ejercicios de fuerza, particularmente aquellos que involucraban grupos musculares más grandes. Estos resultados se alinean con los hallazgos de nuestro estudio.

En cuanto a la FC, ocurre un fenómeno similar. La variación en FC después del ejercicio ha sido ampliamente estudiada, indicando que las personas adaptadas al ejercicio muestran una menor FC en reposo e hipertrofia cardíaca (214), pero no tanto durante el ejercicio. La variación de FC durante el ejercicio ha sido menos investigada. Sin embargo, la revisión de Dong (2016) (215), examinó el posible papel de FC en la fisiología del deporte, mostrando que los atletas exhiben un perfil de FC diferente al de sujetos sedentarios, con un aumento general en FC y modulación cardíaca parasimpática (216). Estos resultados se alinean con nuestro estudio, indicando el aumento de FC durante el entrenamiento de sentadillas a intensidad sostenida en participantes entrenados.

Para la V, se han investigado cómo esta variable cambia durante la ejecución de diferentes protocolos de entrenamiento de fuerza, observando y comparando su variación entre repeticiones y series. En la literatura, se observa que, durante el entrenamiento de fuerza, ocurre una pérdida significativa de V, así como de la producción de potencia (217–219). En nuestro estudio, esta disminución no ocurre debido a los descansos de 5 minutos entre series. No existen estudios que investiguen el efecto de un descanso tan largo en el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, Freitas de Salles et al. (2009) (212) encontraron que entrenar con intervalos de descanso cortos resultó en V de repetición más altas durante la acción muscular submáxima repetida. Estos resultados se alinean con los obtenidos en nuestro estudio, sugiriendo que los descansos más largos conducen a cambios aún mayores.



Estos hallazgos tienen implicaciones significativas para profesionales del ejercicio, entrenadores y atletas. En términos de entrenamiento de fuerza, comprender las variaciones en las variables estudiadas durante los ejercicios de sentadillas puede ayudar a diseñar programas de entrenamiento personalizados y efectivos. Los entrenadores pueden ajustar la intensidad y el volumen según los objetivos y capacidades individuales. Enfatizar la técnica adecuada es crucial para la eficiencia del movimiento, ya que la tendencia creciente en GE y VO₂ subraya la importancia de esto. Fomentar técnicas eficientes puede mejorar la conservación de energía y el rendimiento a largo plazo. Monitorear los cambios en FC y VO₂ durante las sesiones de entrenamiento sirve como un indicador de progreso, permitiendo ajustes regulares en las estrategias de entrenamiento para satisfacer las necesidades cambiantes del atleta.

Este estudio tiene varias limitaciones. Involucró solo a adultos jóvenes y saludables con IRM por debajo de 160 kg. Las investigaciones futuras deberían abarcar

poblaciones más diversas, incluidos levantadores de potencia, individuos con sobrepeso u obesidad y aquellos con diversas condiciones de salud. El estudio se centró únicamente en las medias sentadillas, por lo que explorar el impacto de las sentadillas completas en el GE podría proporcionar información valiosa. Incorporar mediciones de GE basadas en acelerómetros para análisis comparativos con los dispositivos de evaluación actuales hubiera sido interesante. Extender la evaluación del GE por al menos una hora después del ejercicio habría sido interesante, pero no fue factible debido a la disponibilidad limitada de los participantes.

Los hallazgos principales de este estudio mostraron que todas las variables medidas (GE, VO₂, FC y V) aumentaron durante ambos protocolos de entrenamiento de sentadillas a medida que se realizaban las series. Estos hallazgos tienen implicaciones importantes para el diseño de programas de entrenamiento de fuerza efectivos y personalizados.

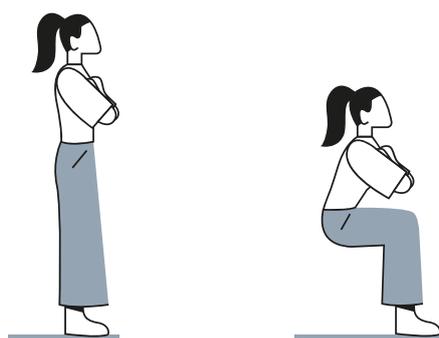
Resumen del artículo

Protocolo 1

Protocolo 2

30 reps 50% IRM

12 reps 75% IRM



En ambos entrenamientos los parámetros medidos incrementaron a lo largo de su realización:

GE · VO₂ · FC · V

Este incremento sugiere una respuesta adaptativa en GE y demanda cardiovascular

Figura 16. Infografía con el mensaje principal del estudio 4.

ESTUDIO 5: LA INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA EN LA PRODUCCIÓN DE LACTATO DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS UTILIZANDO UN DEMF.

El propósito principal de este estudio fue determinar la asociación entre los cambios en la producción de lactato y los niveles de actividad física en respuesta a dos protocolos de entrenamiento de sentadillas (30 repeticiones al 50% de 1RM y 12 repeticiones al 75% de 1RM) en un grupo de adultos jóvenes y saludables.

Los resultados obtenidos indican que

1. Los sujetos con mayor NAF reportan una menor producción de lactato durante los ejercicios de sentadillas al 50% y 75% de 1RM.

2. Las mujeres presentan una asociación con una mayor producción de lactato que los hombres en los ejercicios de sentadillas.

3. Una mayor edad se correlaciona con una mayor producción de lactato.

Antes de profundizar en los resultados obtenidos, al realizar una revisión exhaustiva de la literatura, observamos que la mayoría de los artículos que discuten la concentración de lactato en sangre o la eliminación de lactato y su comportamiento en sujetos entrenados o sedentarios datan de la década de 1970 hasta alrededor de 2010. Actualmente, hay pocos artículos que investigan este aspecto. Además, aunque la producción de lactato durante el entrenamiento ha sido investigada más extensamente en el entrenamiento de resistencia, hasta donde sabemos, también hay algunos estudios, aunque en menor medida, que la examinan durante el entrenamiento de fuerza. Sería interesante contar con más artículos actuales que evalúen esta variable en sujetos con diferentes niveles de actividad física. Sin embargo, creemos que esto es precisamente lo que le da singularidad a nuestra investigación.

Como hallazgo principal de este estudio, observamos una fuerte asociación entre el NAF autoinformado y la producción de lactato durante el ejercicio de sentadillas. Nuestros resultados se alinean con los publicados

por Hu et al. (2009) (220), quienes buscaron evaluar los efectos del entrenamiento de fuerza en la capacidad de trabajo y la modulación de la FC parasimpática durante el ejercicio en hombres físicamente inactivos. Compararon un grupo control sedentario con un grupo experimental que se sometió a 10 semanas de entrenamiento de fuerza progresivo. Se observó una disminución en los niveles de lactato en sangre a intensidades submáximas en comparación con el grupo control. Esto se debe a adaptaciones que implican una mayor eliminación y oxidación del lactato en los músculos activos (221). Se ha demostrado que el entrenamiento altera la actividad de la enzima lactato deshidrogenasa, cambiando su distribución hacia una mayor proporción de su isoenzima H-LDH (222), que es más favorable para la oxidación del lactato a piruvato que la isoenzima M-LDH. También se ha demostrado que el entrenamiento aumenta la capacidad oxidativa muscular y la oxidación de lactato mediante mejoras en la masa mitocondrial y la expresión de proteínas constituyentes de las mitocondrias (223,224).

En cuanto a la asociación del sexo con la producción de lactato, a pesar de observar que en tres de las cuatro sesiones no hay asociación entre el sexo y la producción de lactato, los hombres siguen mostrando niveles más altos de lactato. Sin embargo, encontramos una asociación significativa y positiva entre la producción de lactato y las mujeres en la segunda sesión al 50% de 1RM, pero esto no ocurre en el resto de las sesiones. La evidencia encontrada demuestra que los hombres tienen una mayor producción de lactato. Específicamente, Mochizuki et al. (2020) (225,226) informaron que la concentración de lactato en sangre inmediatamente después del ejercicio fue significativamente mayor en los hombres que en las mujeres, aunque estos resultados no fueron significativos. Por otro lado, Szivak et al. (2022) (226) indicaron que la concentración de lactato en sangre fue significativamente mayor en los hombres que en las mujeres después del entrenamiento de fuerza. Esto podría atribuirse a una función limitante de la fosforilasa en las mujeres, posiblemente debido a una menor V_{\max} o una mayor constante de Michaelis para la enzima, o niveles reducidos de activadores alternativos



como el AMP cíclico (227). Estos resultados contrastan con la asociación significativa observada en la segunda sesión al 50% de IRM obtenida en nuestro artículo, pero se alinean con los resultados obtenidos en las otras tres sesiones donde no hay asociación entre el sexo y la producción de lactato.

En cuanto a la relación entre el IMC y la producción de lactato, la investigación ha demostrado que la producción de lactato tiende a ser mayor en personas mayores. Nuestros hallazgos están respaldados por los publicados por Jansson et al. (1994) (228), quienes afirmaron hace muchos años que los niveles de lactato en hombres obesos eran significativamente más altos que en hombres delgados. Esto se debe a que los adipocitos blancos producen grandes cantidades de lactato (229). Además, en un estudio más reciente, Okano et al. (2022) (230) indicaron que, por cada aumento incremental en el índice de grasa corporal, se puede esperar un aumento de 0.157 mmol/L en el nivel de lactato en sangre ($p = 0.001$), lo que refuerza aún más la relación positiva entre el IMC y la producción de lactato.

Finalmente, los adultos mayores tienden a exhibir una mayor producción de lactato durante y después del ejercicio en comparación con sus contrapartes más jóvenes. Hasta donde sabemos, no hay artículos que comparen la producción de lactato entre jóvenes y adultos mayores durante y después del entrenamiento de fuerza. Sin embargo, a pesar de esto, hay algunos artículos que corroboran nuestros hallazgos. En primer lugar, Seals et al. (1984) (231) encontraron que el entrenamiento de fuerza resultó en adaptaciones en la respuesta del lactato en sangre al ejercicio submáximo en individuos mayores. Masuda et al. (2009) (232) sugirieron que el envejecimiento causa cambios metabólicos en el músculo esquelético que pueden reducir la acumulación de lactato durante el ejercicio y aumentar la resistencia a la fatiga. Tzankoff & Norris (1979) (233) observaron una disminución relacionada con la edad en la capacidad de difundir el lactato desde el músculo y distribuirlo en su espacio, lo que podría afectar la resistencia y la capacidad de trabajo. Finalmente, Hermansen (1971) (234) destacó la producción de lactato como un indicador de procesos anaeróbicos durante el ejercicio. Colectivamente, estos artículos sugieren que los cambios fisiológicos relacionados con la edad en el metabolismo muscular contribuyen a una mayor producción de lactato en adultos mayores durante y después del ejercicio.

A pesar de los hallazgos significativos de este estudio, es importante reconocer algunas limitaciones que pueden influir en la interpretación de los resultados. En primer lugar, la muestra consistió exclusivamente en adultos jóvenes y saludables, lo que limita la generalización de los hallazgos a poblaciones con diferentes características demográficas. Además, el estudio se centró específicamente en dos protocolos de entrenamiento de sentadillas, lo que puede no reflejar completamente la complejidad de las respuestas metabólicas en otros ejercicios o modalidades de entrenamiento.

Los resultados de este estudio tienen implicaciones prácticas para la prescripción de entrenamiento de fuerza en diferentes poblaciones. En primer lugar, sugieren que las personas con niveles más altos de actividad física pueden experimentar una mejora en la eficiencia del metabolismo del lactato, lo que puede tener un impacto positivo en el rendimiento y la recuperación. Esto respalda la importancia de incluir el entrenamiento de fuerza en los programas de actividad física para promover adaptaciones metabólicas beneficiosas. Además, la identificación de disparidades de sexo en la producción de lactato destaca la necesidad de considerar estrategias de entrenamiento diferenciadas para hombres y mujeres.

En resumen, este estudio proporciona información valiosa sobre la asociación entre la producción de lactato y los niveles de actividad física en jóvenes adultos sanos que realizan diferentes protocolos de entrenamiento de sentadillas. Los hallazgos sugieren que la actividad física intensa puede estar relacionada con una menor producción de lactato, lo que indica una mayor eficiencia metabólica. Además, se observaron diferencias en la respuesta metabólica entre sexos, lo que resalta la importancia de enfoques personalizados en el diseño de programas. Estos resultados contribuyen al creciente cuerpo de conocimiento en el campo del entrenamiento de fuerza y proporcionan información útil para optimizar el rendimiento físico en diversas poblaciones. Sin embargo, es crucial considerar las limitaciones del estudio al interpretar y aplicar estos hallazgos. La investigación futura podría abordar estas limitaciones y continuar expandiendo nuestra comprensión de las respuestas metabólicas al entrenamiento de fuerza.

Resumen del artículo



↑ NAF = ↓ Producción de ácido láctico

Tanto en ejercicios al 50% y 75% IRM

Producción de ácido láctico



↑ Edad = ↑ Producción de ácido láctico

Figura 17. Infografía con el mensaje principal del estudio 5.

08

CONCLUSIONES



La presente investigación revela varias conclusiones significativas derivadas de los estudios realizados sobre el entrenamiento de sentadillas utilizando DEMF. En primer lugar, se pretendió conocer cuál de los métodos más utilizados y accesibles para la evaluación del GE era más fiable. Una vez se supo que el más fiable era la calorimetría indirecta, se procedió a analizar la fiabilidad de la

dinamometría electromecánica funcional en el ejercicio de sentadilla. Al confirmar su fiabilidad, se pasó a utilizar la calorimetría indirecta para evaluar el GE mientras se controlaba el entrenamiento con DEMF. Tras esto, se continuó evaluando diferentes variables fisiológicas durante el ejercicio.

ESTUDIO 1: FIABILIDAD TEST-RETEST DE LA CALORIMETRÍA INDIRECTA Y LA ACELEROMETRÍA PARA EVALUAR EL GASTO ENERGÉTICO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA Y META-ANÁLISIS

La calorimetría indirecta demostró ser significativamente más fiable que la acelerometría para medir el GE durante el ejercicio físico. Asimismo, estas medidas eran más fiables cuando se realizaban en población sana. Este

hallazgo subraya la importancia de utilizar métodos de medición precisos para obtener datos fiables, especialmente en estudios que evalúan el GE en diferentes contextos de entrenamiento.

ESTUDIO 2: FIABILIDAD TEST-RETEST DEL DEMF PARA EL EJERCICIO DE SENTADILLAS

La DEMF mostró una alta fiabilidad test-retest en la medición de variables clave durante el ejercicio de sentadillas. Esto confirma que la DEMF es una herramienta fiable para evaluar la fuerza durante el entrenamiento de sentadillas, lo que facilita la obtención de datos consistentes y precisos en investigaciones y aplicaciones prácti-

cas. Así, con un único dispositivo y de forma más rápida, es posible evaluar todos estos parámetros de manera fiable. Esto proporciona al profesional una opción adicional para registrar diversas variables de la evaluación de la sentadilla, así como el progreso obtenido con el entrenamiento.

ESTUDIO 3: LOS HOMBRES TIENEN UN GASTO ENERGÉTICO MAYOR QUE LAS MUJERES DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS

Se encontraron diferencias significativas en el GE entre hombres y mujeres durante y después del entrenamiento de sentadillas, con los hombres mostrando un mayor GE. Estas diferencias están también influenciadas por el IMC, lo que sugiere que los programas de entrenamiento deben considerar estas variaciones bio-

lógicas y fisiológicas para optimizar los resultados y la eficiencia del entrenamiento en ambos sexos. De esta forma, la obtención de nuevos conocimientos sobre la evaluación del gasto energético en hombres y mujeres puede contribuir a esclarecer las razones detrás de estas diferencias.



ESTUDIO 4: EFECTOS DEL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO, VO₂, FRECUENCIA CARDIACA Y VELOCIDAD

El estudio mostró que el GE, VO₂, FC y V tienden a aumentar significativamente durante el entrenamiento de sentadillas a medida que se completan las series en ambos protocolos. Estos incrementos reflejan una mayor demanda metabólica y cardiovascular con la progresión

del ejercicio, destacando la necesidad de ajustar la intensidad y el volumen del entrenamiento para maximizar la eficiencia y efectividad. Así, Estos descubrimientos son cruciales para la creación de programas de entrenamiento de fuerza que sean efectivos y personalizados.

ESTUDIO 5: LA INFLUENCIA DE LOS NIVELES DE ACTIVIDAD FÍSICA EN LA PRODUCCIÓN DE LACTATO DURANTE EL ENTRENAMIENTO DE SENTADILLAS UTILIZANDO UN DEMF

La producción de lactato varió significativamente según el nivel de actividad física previo, con diferencias notables entre hombres y mujeres. Estos resultados sugieren que la actividad física intensa está asociada con una menor producción de lactato, indicando una mayor eficiencia metabólica. Las diferencias en las respuestas metabólicas entre sexos enfatizan la importancia de enfoques personalizados en el diseño de programas de entrenamiento para optimizar los resultados. Estos hallazgos contribu-

yen al creciente cuerpo de conocimiento en el campo del entrenamiento de fuerza y proporcionan información útil para optimizar el rendimiento físico en diversas poblaciones. Sin embargo, es crucial considerar las limitaciones del estudio al interpretar y aplicar estos hallazgos. La investigación futura podría abordar estas limitaciones y continuar expandiendo nuestra comprensión de las respuestas metabólicas al entrenamiento de fuerza.

09

LIMITACIONES



Tras el proceso de diseño, evaluación, redacción y publicación de las diferentes investigaciones de las que se compone la presente tesis doctoral, es crucial reconocer las limitaciones inherentes al estudio. Estas limitaciones, tanto metodológicas como contextuales, pueden influir en la interpretación de los resultados y en la generalización de las conclusiones. Identificar y abordar estas limitaciones de manera transparente es fundamental para mantener la integridad y la validez del estudio, así como para informar futuras investigaciones en esta área específica. A continuación, se enumeran uno a uno todos ellos:

1. Los participantes incluidos en las investigaciones podían tener una 1RM máxima de 160 kg. Esta restricción puede haber limitado la generalización de los resultados a poblaciones con mayor capacidad de fuerza. Esto podría haber excluido no solo a atletas de alto rendimiento o levantadores de potencia, sino también a deportistas aficionados con altos valores de fuerza, cuyas respuestas al trabajo de fuerza podrían diferir significativamente de los participantes incluidos en el estudio.
2. La población objeto de estudio estaba únicamente formada por jóvenes sanos con experiencia en el entrenamiento de fuerza. La exclusión de poblaciones diferentes, como adultos mayores, personas con condiciones de salud subyacentes o principiantes en el entrenamiento de fuerza, puede haber limitado la aplicabilidad de los hallazgos a una audiencia más amplia. La respuesta al entrenamiento de fuerza puede variar significativamente entre diferentes grupos demográficos y niveles de condición física.
3. Tan solo se evaluó la media sentadilla, ya que era complicado encontrar una muestra de treinta personas, dispuestas a participar; que tuvieran la movilidad y la técnica necesarias para realizar una sentadilla completa. Esto puede haber restringido la comprensión completa de los efectos del trabajo de fuerza sobre el GE. La variación en la técnica de levantamiento y la amplitud del movimiento entre la media y la sentadilla completa podría haber tenido impactos significativos en los resultados del estudio.
4. Aunque se evaluó la fiabilidad de la DEMF, la ausencia de una evaluación de su validez limita la capacidad de inferir conclusiones sólidas sobre la precisión de esta tecnología para medir el trabajo de fuerza y su impacto en el GE.
5. El GE se midió solo con un analizador de gases, pero no con otras tecnologías como la acelerometría o relojes de actividad. La exclusión de otras tecnologías de medición del GE podría haber limitado la comprensión completa de los cambios en el GE asociados con el trabajo de fuerza. La utilización de múltiples métodos de medición podría haber proporcionado una visión holística y más precisa de los resultados obtenidos.

Estas limitaciones deben ser consideradas en el contexto de la interpretación de los resultados y la planificación de investigaciones futuras en el área del trabajo de fuerza y el GE.

10

**FUTURAS
LÍNEAS DE
INVESTIGACIÓN**



Considerando las limitaciones mencionadas, es esencial delinear las futuras líneas de investigación que podrían abordar estas deficiencias y ampliar el conocimiento en el campo del trabajo de fuerza y el GE.

1. Futuras investigaciones podrían incluir participantes con una gama más amplia de capacidades de fuerza, incluidos atletas de alto rendimiento. Esto permitiría comprender mejor cómo las respuestas al trabajo de fuerza varían entre diferentes niveles de fuerza y condición física.
2. Es crucial ampliar la diversidad de la población de estudio, incluyendo adultos mayores, individuos con condiciones de salud subyacentes y aquellos que son nuevos en el entrenamiento de fuerza. Investigar cómo estas poblaciones responden al trabajo de fuerza podría proporcionar información valiosa sobre la efectividad y seguridad del entrenamiento en diferentes contextos.
3. Además de la media sentadilla, futuras investigaciones podrían evaluar una variedad de ejercicios de fuerza, incluyendo la sentadilla completa y otros movimientos compuestos. Esto permiti-

ría comprender mejor cómo diferentes patrones de movimiento afectan el GE y la respuesta fisiológica al entrenamiento de fuerza.

4. Es crucial realizar estudios que validen la precisión y fiabilidad de la tecnología utilizada para medir el trabajo de fuerza y el GE. Además de evaluar la fiabilidad de la DEMF, se deben realizar investigaciones para validar su precisión en comparación con otras herramientas de medición y métodos estándar.
5. Resulta especialmente interesante explorar la correlación entre las medidas de GE obtenidas mediante analizadores de gases y tecnologías de acelerometría. Integrar ambas metodologías podría proporcionar una comprensión más completa y precisa de los cambios en el GE asociados con el trabajo de fuerza, así como identificar posibles discrepancias o limitaciones en los métodos de medición.

Esto podría contribuir significativamente a la comprensión de los efectos del trabajo de fuerza controlado con DEMF sobre el GE, así como a informar estrategias más efectivas para el entrenamiento y la evaluación física en diferentes poblaciones.



AGRADECIMIENTOS



Al llegar a este punto, toca cerrar esta Tesis Doctoral y, con ello, poner fin a una etapa de cuatro años en la que he vivido un sinnúmero de aprendizajes, experiencias y emociones que han marcado mi vida tanto a nivel profesional como personal. No es fácil para mí describir con palabras todos los sentimientos que me vienen a la mente cuando pienso en el camino recorrido y en todas las personas que habéis formado parte de él. Aún es más difícil si tenemos en cuenta que no soy una persona a la que le resulte fácil expresar sus sentimientos, y mucho menos sabiendo que no seré yo sola quien lo lea o lo escuche. Es complicado para mí deshacerme de esa coraza de persona dura, aunque a veces inocente, que nunca se emociona y odia las “cursiladas”, pero hay ocasiones en las que la ocasión lo requiere, y este es uno de esos momentos.

Hace alrededor de cinco años, solicité al Ministerio de Universidades una Ayuda para la Formación de Profesorado Universitario (FPU) con la ilusión de quien empieza, pero con mucho escepticismo. Meses más tarde, estando en una playa con poca cobertura, recibí la noticia de que era beneficiaria de una de estas ayudas. Me costó mucho creer que era cierto; el hecho de que nunca hubiera habido un contrato FPU en el grupo y que el primero fuera para mí, me parecía increíble. Aun así, en septiembre comencé muy feliz y con ganas, pero con la incertidumbre e inexperiencia de alguien que acaba de terminar de formarse y comienza a dar sus primeros pasos en el mundo de la investigación. Y aquí estoy hoy, cuatro años más tarde, poniendo fin a una etapa que me ha hecho crecer en todos los sentidos y cuestionarme a mí misma en millones de aspectos, aunque casi siempre en silencio. Posiblemente, muchos de vosotros os estéis enterando hoy de todo el trabajo de estos cuatro años, pero nunca me ha gustado contar, para el disgusto de mi madre, ni publicar, y mucho menos alardear de lo que hago ni de lo que soy.

En primer lugar, me gustaría empezar dando las gracias a mis directores, ya que sin ellos nada de lo que hay aquí reflejado podría haber sido posible. Vuestras enseñanzas, guía y apoyo durante todos estos años me han guiado y facilitado el camino, me han hecho crecer en lo académico, y también en lo personal, pero, sobre todo, me han hecho ser consciente de la suerte que tengo y de lo importante que es rodearse de gente buena.

Luja Chiroso, durante este tiempo, como bien sabes y tan poco te gusta, he dudado muchas veces y sobre muchísimas cosas, pero hay algo de lo que nunca lo he hecho, y es que en la vida habría podido encontrar un mejor Director de Tesis que tú. Todo empezó con un correo, en el que, después de muchos intentos fallidos, te pedía que fueras mi tutor de TFG. Me respondiste afirmativamente y al instante. A partir de ahí, todo fue rodado: me abriste las puertas del grupo y del laboratorio, depositaste en mí la confianza que ni yo misma tenía, e hiciste de mí no solo una mejor investigadora, sino también una mejor persona. Para mí, hay algo que va por delante de cualquier otra cosa en la vida: muchos tendrán un gran currículum, pero nunca podrán alcanzar la bondad, la generosidad, el altruismo y, sobre todo, la humanidad que a ti te caracteriza.

Pedro Delgado, llegaste en mi peor momento para mejorarlo todo. Gracias a ti, volví a recuperar las ganas y la ilusión. Tu generosidad siempre me sorprendió; me ayudaste sin apenas conocerme, me facilitaste el camino y me guiaste en la dirección correcta, haciéndolo todo mucho más fácil cuando lo veía negro. Siempre has estado dispuesto a compartir tu tiempo y tus conocimientos. Tu ayuda ha sido fundamental para poder seguir avanzando, a pesar de que estos últimos años no hayan sido fáciles para ti. Me hubiera encantado tenerte cerca para poder trabajar mano a mano. Hicimos un súper equipo.

Además, he tenido la suerte de compartir mi día a día con compañeros que han hecho el camino mucho más ameno y que siempre han estado para ayudar en cualquier cosa que cada uno de nosotros ha necesitado:

Ignacio Chiroso, una mente brillante llena de ideas. Siempre me has transmitido calma y tranquilidad y, para una persona como yo, eso es algo muy importante.

Dani Jerez, un trabajador incansable que ha sido como un tercer director para mí, el “padre” del laboratorio, siempre dispuesto a ayudar.

Darío Martínez, una voz realista pero constructiva, de las que pone los pies en la tierra. Muchas gracias por toda tu ayuda, especialmente al inicio, y por el gran esfuerzo para sacar finalmente la revisión adelante. Eternamente agradecida por tu apoyo y dedicación.

Ángela Rodríguez, aunque no físicamente en Granada, siempre dispuesta a colaborar y ayudar. Cada conversación que hemos tenido me ha aportado perspectivas diferentes.

Claudia Miranda, gracias por recibirme en Santiago y hacer mi estancia un poquito más fácil.

Nacho Pelayo, Gustavo García, Dani Jiménez y Antonio Riego, gracias por vuestra compañía, apoyo y colaboración diaria compartiendo un mismo objetivo.

Muchas gracias por formar parte de este proceso diariamente y por acompañarme en cada paso del camino. Sin vuestra colaboración y apoyo nada hubiera sido igual.

Por último, solo queda agradecer a todas esas personas que, aunque sin ser del todo conscientes de este proceso, me han acompañado, no solo durante este periodo, sino desde mucho más atrás. Me habéis enseñado a valorar la importancia de la amistad y la familia. He tenido la suerte de rodearme de personas buenas, que me apoyan y que me empujan cada día a ser mejor. Es una suerte poder compartir este camino con vosotros.

En primer lugar, quiero agradecer a **María Maldonado**, mi primera amiga, a quien después se sumaron **Miriam Melgarejo y Cristina Villoslada**. Qué suerte he tenido de poder compartir prácticamente toda mi vida con vosotras; sabéis que siempre ocuparéis un espacio especial en mi corazón. Más tarde llegaron **Es-ther Hernández, María Pérez y Andrea Molina**, y algunos años después, **Rocío Cortés y María Arenas**, para terminar de forjar ese grupo tan especial y unido

que somos, en el que puede que pase tiempo sin vernos, pero cuando volvemos a juntarnos es como si el tiempo no hubiera pasado. Gracias por aceptarme y no dejarme atrás, aun siendo tan diferente a vosotras en tantos aspectos, respetando mis límites y entendiendo mi forma de pensar. Gracias por confiar siempre en mí. Qué suerte que tenemos de tenernos.

A mis amigos de la carrera, **Toni Aís, Patri Cabanillas y Marta Cano**. Muchas gracias por haber compartido parte de este camino conmigo; ojalá haber podido contar con vuestra compañía desde el inicio. Y, en especial, a **Marta Cano**: gracias por empujarme cada día a ser mejor; a no conformarme con lo básico, por impulsarme hacia esa perfección que tanto nos gusta a ambas y que tan difícil es de conseguir. Gracias por las innumerables horas transcribiendo apuntes, por tu ayuda siempre, y en cualquier momento. Gran parte de la culpa de que yo esté aquí hoy es tuya. Siempre agradecida.

A mis árbitros, **Ángel Córdor, Rafa Sevilla, Miguel Retamero, Emilio Nieves, Gabri Merlo y César Lupiáñez**, y a todos los que habéis ido llegando después. A **Silvia Nieto y María García**, que, aunque en la distancia, siempre os he tenido presentes. Gracias por acogerme con tanto cariño desde el primer día, por hacerme sentir en todo momento “uno más”, por enseñarme y por mostrarme esa parte tan bonita del arbitraje que tan pocos entienden. He aprendido tanto de cada uno de vosotros, tanto a nivel personal como arbitral, que, al echar la vista atrás, veo que de la Indya de casi dieciocho años que entró al comité hace diez temporadas, solo queda su esencia. Habéis conseguido una Indya más madura, que no llora ante cualquier situación, que tiene autocontrol y disciplina, que sabe darle importancia a lo realmente importante, que resuelve problemas y sabe manejar situaciones de conflicto. Y, para mí lo más importante y lo que siempre me ha costado tanto: que sepa convivir con el error y aceptarlo. Pero no solo eso, me habéis enseñado que a veces querer no es poder y que el esfuerzo y el trabajo duro (lo que yo siempre he considerado mis dos puntos fuertes) no tienen porqué dar sus frutos, que, si es para ti, ni aunque te quites, y que si no lo es, ni aunque te pongas, que no hay que tener prisa, que hay cosas que no dependen de mí y que, por lo tanto, no las puedo controlar. Y, sorpresa, no pasa nada. Todo lo que me habéis enseñado en estos años no es solo importante en el arbitraje, también lo ha sido en este camino y en la vida en general. Han sido tantas las cosas que este deporte y vosotros me habéis transmitido que nunca podré agradecerlo lo suficiente.



Hace también diez temporadas, con ese inicio en el arbitraje y toda esta gente que tan bien me trató, llegó **César**. En ese momento de rebeldía, que tan poco me caracterizaba y que traía de cabeza a mi madre, llegó para intentar calmar la ira y la rabia que me perseguían por sentirme “una fracasada” después de no haber conseguido entrar en la carrera con la que tanto había soñado en los últimos años. Pero el hecho de no haberlo conseguido hizo que nuestros caminos se cruzasen y, con el tiempo, me di cuenta de que, como antes dije, realmente no era tan importante. Y es que, volvería a “fracasar” las veces que hicieran falta si eso implica conocernos.

Siempre pienso que tengo un radar para poder rodearme de gente buena y tú, además de bueno, eres bonito. Eres mi compañero, mi amigo, mi mejor complemento. Eres calma y paz en momentos difíciles, eres confianza, eres la mente más brillante que he conocido. Gracias por caminar a mi lado desde hace ya casi diez años. Gracias por enseñarme que cada tropiezo en el camino es una oportunidad para aprender y crecer. Gracias por enseñarme y llevarme de la mano en aquello que tanto nos apasiona. Gracias por confiar en mí mucho más de lo que yo misma lo hago a veces. Gracias por dejarme pensar en voz alta, por aceptarme tal y como soy. Gracias por ser quien eres y por todo lo que haces por mí día a día. Has sido fundamental en esta etapa.

Por último, me queda agradecer al otro pilar de mi vida: mi familia. Qué suerte tengo de que el azar de la vida me pusiera en vuestro camino. En el camino de personas humildes, cariñosas y generosas por naturaleza, capaces de celebrar incluso cualquier momento triste y de acoger a cualquiera que lo necesite. Me queda todavía tanto que aprender de vosotros, que creo que, ni en una vida entera, llegaré a ser capaz de ser ni la mitad de lo que vosotros sois. Gracias, **Gustavo**, por tu rol de hermano mayor; aunque a veces nos cueste entenderlo, por ser apoyo y soporte de toda esta maravillosa familia. Gracias, **Isaac**, por tu trabajo incansable, por esa manera tan especial de demostrar el cariño a través de letras bonitas escritas con el corazón. Gracias, **Myriam**, por tu alma tan pura, tu amor incondicional, tu bondad y tu cariño, por estar siempre con tu caja de galletas bien llena tan solo siete casas más allá. Gracias, **Mayte**, por ser tú, especial como nadie más, la persona que todo el mundo querría tener en su vida, por ser ejemplo desde el veinte de octubre del noventa y seis, por tu alegría, tu ayuda y tu capacidad para ponerme en mi sitio sin una sola mala palabra. Gracias por poner a **Mario** en mi vida,

nunca sería capaz de describir lo que significa para mí. Mi corazón entero es suyo y lo tengo claro desde el día que nací. Gracias, **abuelo Germán**, por transmitirme la picardía y las ganas de chingar que tanto te caracterizaban. Gracias, **abuela Gloria**, por repartirnos tu afecto de la manera en la que mejor sabes: cocinando con amor. Gracias, **abuelo Pepe**, por enseñarme que, por muchas que esté pronunciando hoy aquí, a veces las palabras no son necesarias. Gracias, **abuela Fina**, por enseñarnos a ser fuertes y resilientes, por no ser una abuela normal, al final esa era tu esencia. Gracias, **tita Marina**, por tener el corazón más puro, noble y bondadoso que jamás haya podido conocer. No sabéis lo que os he echado de menos estos últimos meses. Gracias, **Raúl y Encarni**, por estar siempre ahí, muchas veces en la sombra, pero sabiendo perfectamente cuál era vuestro rol. Al resto de la familia: **María, Raúl, Martín, Claudia, Adriana, Encarna, familia Torres**, gracias por confiar siempre en mí y formar parte de este camino, o de cualquier otro que decida elegir.

Por último, gracias a mis padres, **Olga y Germán**, que han hecho de mí la persona que soy hoy. Dos personas muy diferentes, pero con algo en común: su gran corazón. Cada uno a su manera y desde su perspectiva me han enseñado cosas diferentes. Quiero creer que he sido capaz de quedarme con lo mejor de cada uno. Gracias, **padre**, por enseñarme que el odio no lleva a ninguna parte, por ponerme los pies en la tierra y cambiar mi perspectiva cuando todo lo veo negro, por hacer un juego de los momentos difíciles, por enseñarme que las cosas se consiguen con esfuerzo, por dejarme claro que la motivación es lo que me mueve y por no dejarme dudar en ningún momento de que, si tropiezas, hay que levantarse y seguir. Ojalá algún día llegar a ser la mitad de trabajador y de buena persona que eres tú. A ti, **madre**, gracias por cuidarme, por transmitirme la pasión por el deporte, por enseñarme la importancia del trabajo duro y de la constancia, que si tú no haces las cosas nadie las va a hacer por ti, que no hay que dejar para mañana lo que puedas hacer hoy, por darme todo lo necesario para que nunca me faltara nada, por lidiar conmigo todos los días a todas horas, por preocuparte de que todo estuviera perfecto, por regañarme cuando ha sido necesario, por no darme todo lo que pedía en cualquier momento. Muchas gracias a ambos, porque, por separado, me enseñasteis lo importante que es permanecer unidos.

Gracias a todos por llenar mi vida de unicornios y arcoíris.

12

BIBLIOGRAFÍA

1. Mielgo-Ayuso J, Maroto-Sánchez B, Luzardo-Socorro R, Palacios G, Palacios Gil-Antuñano N, González-Gross M. Evaluation of nutritional status and energy expenditure in athletes. Vol. 31, *Nutricion hospitalaria*. 2015. p. 227–36.
2. Pontzer H, Yamada Y, Sagayama H, Ainslie PN, Andersen LF, Anderson LJ, et al. Daily energy expenditure through the human life course. *Science* (1979). 2021;373(6556):808–12.
3. Westerterp KR. Control of energy expenditure in humans. *Eur J Clin Nutr*. 2017;71(3):340–4.
4. Ndahimana D, Kim EK. Measurement methods for physical activity and energy expenditure: a review. *Clin Nutr Res*. 2017;6(2):68–80.
5. DeLany JP. Measurement of energy expenditure. *Pediatr Blood Cancer*. 2012;58(1):129–34.
6. Ravelli MN, Schoeller DA. An objective measure of energy intake using the principle of energy balance. *Int J Obes*. 2021;45(4):725–32.
7. Flanagan EW, Most J, Mey JT, Redman LM. Calorie restriction and aging in humans. *Annu Rev Nutr*. 2020;40:105–33.
8. Bray GA, Bouchard C. The biology of human overfeeding: a systematic review. *Obesity reviews*. 2020;21(9):e13040.
9. Martínez-Aldao D, Diz JC, Varela S, Ayán C. Analysis of the convergent validity of the Spanish short version of the Minnesota Leisure Time Physical Activity Questionnaire (VREM) and the Spanish version of the International Physical Activity Questionnaire in elderly people (IPAQ-E). *An Sist Sanit Navar*. 2019;42(2):147–57.
10. Florindo AA, De Oliveira Latorre MDRD, Dos Santos ECM, Negrão CE, Azevedo LF, Cotrim Segurado AA. Validity and reliability of the Baecke questionnaire for the evaluation of habitual physical activity among people living with HIV/AIDS. *Cad Saude Publica*. 2006;22(3):535–41.
11. Folsom AR, Jacobs DR, Caspersen CJ, Gomez-Marín O, Knudsen J. Test-retest reliability of the Minnesota Leisure Time Physical Activity Questionnaire. *J Chronic Dis*. 1986;39(7):505–11.
12. Camões M, Severo M, Santos AC, Barros H, Lopes C. Testing an adaptation of the EPIC Physical Activity Questionnaire in Portuguese adults: A validation study that assesses the seasonal bias of self-report. *Ann Hum Biol*. 2010;37(2):186–98.
13. Anjana RM, Sudha V, Lakshmi Priya N, Subhashini S, Pradeepa R, Geetha L, et al. Reliability and validity of a new physical activity questionnaire for India. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* [Internet]. 2015;12(1). Available from: <http://dx.doi.org/10.1186/s12966-015-0196-2>
14. Bexelius C, Sandin S, Lagerros YT, Litton JE, Löf M. Estimation of physical activity levels using cell phone questionnaires: A comparison with accelerometry for evaluation of between-subject and within-subject variations. *J Med Internet Res*. 2011;13(3).
15. Garet M, Degache F, Costes F, Da-Costa A, La-cour JR, Barthélémy JC, et al. DAQIHF: Methodology and validation of a daily activity questionnaire in heart failure. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(8):1275–82.
16. Craig CL, Marshall AL, Sjöström M, Bauman AE, Booth ML, Ainsworth BE, et al. International physical activity questionnaire: 12-Country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(8):1381–95.
17. Conway JM, Seale JL, Jacobs Jr DR, Irwin ML, Ainsworth BE. Comparison of total and activity energy expenditure estimates from physical activity questionnaires and doubly labeled water: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*. 2020;(5).
18. Hustvedt BE, Svendsen M, Løvø A, Ellegård L, Hallén J, Tonstad S. Validation of ActiReg® to measure physical activity and energy expenditure against doubly labelled water in obese persons. *British Journal of Nutrition*. 2008;100(1):219–26.
19. Lamonte MJ, Ainsworth BE. Quantifying energy expenditure and physical activity in the context of dose response. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33(6 SUPPL.).
20. Nagle EF, Nagai T, Beethe AZ, Lovalekar MT, Zera JN, Connaboy C, et al. Reliability and Validity of a Pool-Based Maximal Oxygen Uptake Test to Examine High-Intensity Short-Duration Freestyle Swimming Performance. *J Strength Cond Res*. 2019;33(5):1208–15.



21. Woodman JA, Crouter SE, Bassett DR, Fitzhugh EC, Boyer WR. Accuracy of Consumer Monitors for Estimating Energy Expenditure and Activity Type. *Med Sci Sports Exerc.* 2017;49(2):371–7.
22. Pérez-Castilla A, Martínez-García D, Jerez-Mayorga D, Rodríguez-Perea Á, Chirrosa-Ríos LJ, García-Ramos A. Influence of the grip width on the reliability and magnitude of different velocity variables during the bench press exercise. *Eur J Sport Sci.* 2020;
23. Støa EM, Nyhus LK, Børresen SC, Nygaard C, Hovet ÅM, Bratland-Sanda S, et al. Day to day variability in fat oxidation and the effect after only 1 day of change in diet composition. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism.* 2016;41(4):397–404.
24. Crouter SE, Antczak A, Hudak JR, DellaValle DM, Haas JD. Accuracy and reliability of the ParvoMedics TrueOne 2400 and MedGraphics VO2000 metabolic systems. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98(2):139–51.
25. Igawa S, Sakamaki M, Miyazaki M. Examination of the reliability of the portable calorimeter. *Clin Exp Pharmacol Physiol.* 2002;29(SUPPL. 4):13–6.
26. Carr LJ, Mahar MT. Accuracy of intensity and inclinometer output of three activity monitors for identification of sedentary behavior and light-intensity activity. *J Obes.* 2012;1.
27. van Remoortel H, Raste Y, Louvaris Z, Giavedoni S, Burtin C, Langer D, et al. Validity of six activity monitors in chronic obstructive pulmonary disease: A comparison with indirect calorimetry. *PLoS One.* 2012;7(6):1–11.
28. Brazeau AS, Beaudoin N, Bélisle V, Messier V, Karelis AD, Rabasa-Lhoret R. Validation and reliability of two activity monitors for energy expenditure assessment. *J Sci Med Sport [Internet].* 2016;19(1):46–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2014.11.001>
29. Durstine JL, Gordon B, Wang Z, Luo X. Chronic disease and the link to physical activity. *J Sport Health Sci [Internet].* 2013;2(1):3–11. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2012.07.009>
30. Motonaga K, Yoshida S, Yamagami F, Kawano T, Takeda E. Estimation of total daily energy expenditure and its components by monitoring the heart rate of Japanese endurance athletes. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo).* 2006;52(5):360–7.
31. Taylor M, Nagle EF, Goss FL, Rubinstein EN, Simonson A. Evaluating energy expenditure estimated by wearable technology during variable intensity activity on female collegiate athletes. *Int J Exerc Sci.* 2018;11(7):598.
32. Foster C, Hoyos J, Earnest C, Lucia A. Regulation of energy expenditure during prolonged athletic competition. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37(4):670–5.
33. Kim JH, Kim MH, Kim GS, Park JS, Kim EK. Accuracy of predictive equations for resting metabolic rate in Korean athletic and non-athletic adolescents. *Nutr Res Pract.* 2015;9(4):370–8.
34. Singh A, Purohit B. Physical activity, sedentary lifestyle, and obesity among Indian dental professionals. *J Phys Act Health.* 2012;9(4):563–70.
35. Amati F, Barthassat V, Miganne G, Hausman I, Monnin DG, Costanza MC, et al. Enhancing regular physical activity and relapse prevention through a 1-day therapeutic patient education workshop: A pilot study. *Patient Educ Couns.* 2007;68(1):70–8.
36. Hills AP, Mokhtar N, Byrne NM. Assessment of physical activity and energy expenditure: an overview of objective measures. *Front Nutr.* 2014;1:5.
37. Anastasopoulou P, Tansella M, Stumpp J, Shamas L, Hey S. Classification of human physical activity and energy expenditure estimation by accelerometry and barometry. In: 2012 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE; 2012. p. 6451–4.
38. Ebine N, Rafamantanantsoa HH, Nayuki Y, Yamanaka K, Tashima K, Ono T, et al. Measurement of total energy expenditure by the doubly labelled water method in professional soccer players. *J Sports Sci.* 2002;20(5):391–7.
39. Coutts AJ, Kempton T, Sullivan C, Bilsborough J, Cordy J, Rampinini E. Metabolic power and energetic costs of professional Australian Football match-play. *J Sci Med Sport.* 2015;18(2):219–24.
40. Coutts A, Reaburn P, Abt G. Heart rate, blood lactate concentration and estimated energy expenditure in a semi-professional rugby league team during a match: case study. *J Sports Sci.* 2003;21(2):97–103.

41. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. Physiology of soccer: an update. *Sports medicine*. 2005;35:501–36.
42. Lemire M, Faricier R, Dieterlen A, Meyer F, Millet GP. Relationship between biomechanics and energy cost in graded treadmill running. *Sci Rep*. 2023;13(1):12244.
43. Schantz P, Salier Eriksson J, Rosdahl H. Perspectives on exercise intensity, volume and energy expenditure in habitual cycle commuting. *Front Sports Act Living*. 2020;2:65.
44. Westerterp KR. Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise. *Eur J Appl Physiol*. 2017;117(7):1277–85.
45. Sharifzadeh M, Bagheri M, Speakman JR, Djafarian K. Comparison of total and activity energy expenditure estimates from physical activity questionnaires and doubly labelled water: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Nutrition*. 2021;125(9):983–97.
46. Pontzer H, Durazo-Arvizu R, Dugas LR, Plange-Rhule J, Bovet P, Forrester TE, et al. Constrained total energy expenditure and metabolic adaptation to physical activity in adult humans. *Current Biology*. 2016;26(3):410–7.
47. Levine JA. Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutr*. 2005;8(7a):1123–32.
48. Oxendale CL, Highton J, Twist C. Energy expenditure, metabolic power and high speed activity during linear and multi-directional running. *J Sci Med Sport*. 2017;20(10):957–61.
49. Evans A, Collins GQ, Rosquist PG, Tuttle NJ, Murrin SJ, Tracy JB, et al. A novel method to characterize walking and running energy expenditure. *J Meas Phys Behav*. 2018;1(3):100–7.
50. Smith LE, Van Guilder GP, Dalleck LC, Harris NK. The Effects of a Single Session of High Intensity Functional Training on Energy Expenditure, VO₂, and Blood Lactate. *J Sports Sci Med*. 2022;21(4):545.
51. João GA, Rodriguez D, Tavares LD, Carvas Junior N, Miranda ML, Reis VM, et al. Can intensity in strength training change caloric expenditure? Systematic review and meta-analysis. Vol. 40, *Clinical Physiology and Functional Imaging*. Blackwell Publishing Ltd; 2020. p. 55–66.
52. Li SSW, Chan OHT, Ng TY, Kam LH, Ng CY, Chung WC, et al. Gender differences in energy expenditure during walking with backpack and double-pack loads. *Hum Factors*. 2019;61(2):203–13.
53. Zunzer SC, von Duvillard SP, Tschakert G, Mangus B, Hofmann P. Energy expenditure and sex differences of golf playing. *J Sports Sci*. 2013 Jun;31(10):1045–53.
54. Robergs RA, Gordon T, Reynolds J, Walker TB. Energy expenditure during bench press and squat exercises. *J Strength Cond Res*. 2007;21(1):123–30.
55. Roberts BM, Nuckols G, Krieger JW. Sex differences in resistance training: a systematic review and meta-analysis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020;34(5):1448–60.
56. Zazulak BT, Ponce PL, Straub SJ, Medvecky MJ, Avedisian L, Hewett TE. Gender comparison of hip muscle activity during single-leg landing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2005;35(5):292–9.
57. Mehls K, Grubbs B, Jin Y, Coons J. Electromyography comparison of sex differences during the back squat. *J Strength Cond Res*. 2022;36(2):310–3.
58. Nuzzo JL. Narrative review of sex differences in muscle strength, endurance, activation, size, fiber type, and strength training participation rates, preferences, motivations, injuries, and neuromuscular adaptations. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2022;10–1519.
59. Brentano MA, Umpierre D, Santos LP, Lopes AL, Kruegel LFM. Supersets do not change energy expenditure during strength training sessions in physically active individuals. *J Exerc Sci Fit*. 2016;14(2):41–6.
60. Bompa TO. Entrenamiento de la potencia aplicado a los deportes: la pliometría para el desarrollo de la máxima potencia. Vol. 310. Inde; 2004.
61. Grimby G, Thomeé R. Strength and endurance. *Rehabilitation of Sports Injuries: Scientific Basis*. 2003;258–73.
62. Collucci AB, Campoi EG, Campoi HG. Analysis of muscle force in cycling and soccer athletes and regular gym participants: case-study. *Int Phys Med Rehab J*. 2018;3(3):224–32.



63. Bouchard CE, Shephard RJ, Stephens TE. Physical activity, fitness, and health: international proceedings and consensus statement. In: International Consensus Symposium on Physical Activity, Fitness, and Health, 2nd, May, 1992, Toronto, ON, Canada. Human Kinetics Publishers; 1994.
64. Palacios Le Blé G, Pedrero Chamizo R, Palacios Gil Antuñano N, Maroto Sanchez B, Aznar S, Gonzalez Gross MM. Biomarkers of physical activity and exercise. *Nutr Hosp*. 2015;31(Supl. 3):237–44.
65. Staunton CA, Abt G, Weaving D, Wundersitz DWT. Misuse of the term 'load' in sport and exercise science. *J Sci Med Sport*. 2022;25(5):439–44.
66. Kuo IY, Ehrlich BE. Signaling in muscle contraction. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2015;7(2):a006023.
67. Sweeney HL, Hammers DW. Muscle contraction. *Cold Spring Harb Perspect Biol*. 2018;10(2):a023200.
68. Kay AD, Blazeovich AJ. Concentric muscle contractions before static stretching minimize, but do not remove, stretch-induced force deficits. *J Appl Physiol*. 2010;108(3):637–45.
69. Lindstedt SL, Reich TE, Keim P, LaStayo PC. Do muscles function as adaptable locomotor springs? *Journal of Experimental Biology*. 2002;205(15):2211–6.
70. Hody S, Croisier JL, Bury T, Rogister B, Leprince P. Eccentric muscle contractions: risks and benefits. *Front Physiol*. 2019;536.
71. Lum D, Barbosa TM. Brief review: effects of isometric strength training on strength and dynamic performance. *Int J Sports Med*. 2019;40(06):363–75.
72. Paul DJ, Nassis GP. Testing strength and power in soccer players: the application of conventional and traditional methods of assessment. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(6):1748–58.
73. Thorborg K, Petersen J, Magnusson SP, Hölmich P. Clinical assessment of hip strength using a hand-held dynamometer is reliable. *Scand J Med Sci Sports*. 2010;20(3):493–501.
74. Malliaras P, Hogan A, Nawrocki A, Crossley K, Schache A. Hip flexibility and strength measures: reliability and association with athletic groin pain. *Br J Sports Med*. 2009;43(10):739–44.
75. Abernethy P, Wilson G, Logan P. Strength and power assessment: issues, controversies and challenges. *Sports medicine*. 1995;19:401–17.
76. Grgic J, Lazinica B, Schoenfeld BJ, Pedisic Z. Test-retest reliability of the one-repetition maximum (1RM) strength assessment: a systematic review. *Sports medicine-open*. 2020;6(1):1–16.
77. Gleeson NP, Mercer TH. The utility of isokinetic dynamometry in the assessment of human muscle function. *Sports medicine*. 1996;21:18–34.
78. De Ste Croix MBA, Deighan MA, Armstrong N. Assessment and interpretation of isokinetic muscle strength during growth and maturation. *Sports medicine*. 2003;33:727–43.
79. Iossifidou A, Baltzopoulos V, Giakas G. Isokinetic knee extension and vertical jumping: are they related? *J Sports Sci*. 2005;23(10):1121–7.
80. Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, Maffulli N. Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med*. 2001;22(01):45–51.
81. Dvir Z, Müller S. Multiple-joint isokinetic dynamometry: a critical review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020;34(2):587–601.
82. Rodriguez-Perea A, Jerez-Mayorga D, García-Ramos A, Martínez-García D, Chiroso Rios LJ. Reliability and concurrent validity of a functional electromechanical dynamometer device for the assessment of movement velocity. *Proc Inst Mech Eng P J Sport Eng Technol*. 2021;235(3):176–81.
83. Martínez-García D, Rodríguez-Perea A, Barboza P, Ulloa-Díaz D, Jerez-Mayorga D, Chiroso I, et al. Reliability of a standing isokinetic shoulder rotators strength test using a functional electromechanical dynamometer: Effects of velocity. *PeerJ*. 2020;8:1–15.

84. Reyes-Ferrada W, Chiroso-Ríos L, Chiroso-Ríos I, Martínez-García D, Barboza-Gonzalez P, Ulloa-Díaz D, et al. A New Reliable Device to Assess Trunk Extensors Strength. *Acta Bioeng Biomech.* 2021;24(1).
85. Jerez-Mayorga D, Huerta-Ojeda Á, Chiroso-Ríos LJ, Guede-Rojas F, Guzmán-Guzmán IP, Intelangelo L, et al. Test–retest reliability of functional electromechanical dynamometer on five sit-to-stand measures in healthy young adults. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(13):6829–940.
86. del-Cuerpo I, Jerez-Mayorga D, Delgado-Floody P, Morenas-Aguilar MD, Chiroso-Ríos LJ. Test–Retest Reliability of the Functional Electromechanical Dynamometer for Squat Exercise. *Int J Environ Res Public Health.* 2023;20(2):1289.
87. Jones AM, Carter H. The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports medicine.* 2000;29:373–86.
88. Beneke R, Leithäuser RM, Ochentel O. Blood lactate diagnostics in exercise testing and training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2011;6(1):8–24.
89. Davis JA. Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17(1):6–21.
90. Domínguez R, Maté-Muñoz JL, Serra-Paya N, Garnacho-Castaño MV. Lactate threshold as a measure of aerobic metabolism in resistance exercise. *Int J Sports Med.* 2018;39(03):163–72.
91. Garnacho-Castaño M V, Domínguez R, Maté-Muñoz JL. Understanding the meaning of lactate threshold in resistance exercises. *Int J Sports Med.* 2015;36(5):371–7.
92. Lee S, Choi Y, Jeong E, Park J, Kim J, Tanaka M, et al. Physiological significance of elevated levels of lactate by exercise training in the brain and body. *J Biosci Bioeng.* 2023;135(3):167–75.
93. Kantanista A, Kusy K, Pospieszna B, Korman P, Wieliński D, Zieliński J. Combined analysis of blood ammonia and lactate levels as a practical tool to assess the metabolic response to training sessions in male and female sprinters. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2021;35(9):2591–8.
94. Messias LHD, Gobatto CA, Beck WR, Manchado-Gobatto FB. The lactate minimum test: Concept, methodological aspects and insights for future investigations in human and animal models. *Front Physiol.* 2017;8:389.
95. Lopes FAS, Panissa VLG, Julio UF, Menegon EM, Franchini E. The effect of active recovery on power performance during the bench press exercise. *J Hum Kinet.* 2014;40:161.
96. Saunders TJ, Mclsaac T, Douillette K, Gaulton N, Hunter S, Rhodes RE, et al. Sedentary behaviour and health in adults: an overview of systematic reviews. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism.* 2020;45(10):197–217.
97. Lavie CJ, Ozemek C, Carbone S, Katzmarzyk PT, Blair SN. Sedentary behavior, exercise, and cardiovascular health. *Circ Res.* 2019;124(5):799–815.
98. Park JH, Moon JH, Kim HJ, Kong MH, Oh YH. Sedentary lifestyle: overview of updated evidence of potential health risks. *Korean J Fam Med.* 2020;41(6):365.
99. Brugnara L, Murillo S, Novials A, Rojo-Martínez G, Soriguer F, Goday A, et al. Low physical activity and its association with diabetes and other cardiovascular risk factors: a nationwide, population-based study. *PLoS One.* 2016;11(8):e0160959.
100. Grasdalsmoen M, Eriksen HR, Lønning KJ, Sivertsen B. Physical exercise, mental health problems, and suicide attempts in university students. *BMC Psychiatry.* 2020;20:1–11.
101. Cao B, Zhao Y, Ren Z, McIntyre RS, Teopiz KM, Gao X, et al. Are physical activities associated with perceived stress? The evidence from the China Health and Nutrition Survey. *Front Public Health.* 2021;9:697484.
102. Groessl EJ, Kaplan RM, Rejeski WJ, Katula JA, Glynn NW, King AC, et al. Physical activity and performance impact long-term quality of life in older adults at risk for major mobility disability. *Am J Prev Med.* 2019;56(1):141–6.
103. Warburton DER, Bredin SSD. Health benefits of physical activity: a systematic review of current systematic reviews. *Curr Opin Cardiol.* 2017;32(5):541–56.



104. Klass M, Faoro V, Carpentier A. Assessment of energy expenditure during high intensity cycling and running using a heart rate and activity monitor in young active adults. *PLoS One*. 2019;14(11):e0224948.
105. Adeel M, Lai CH, Wu CW, Kang JH, Liou JC, Chen HC, et al. Energy expenditure during acute weight training exercises in healthy participants: A preliminary study. *Applied Sciences*. 2021;11(15):6687.
106. Marquez DX, Aguiñaga S, Vázquez PM, Conroy DE, Erickson KI, Hillman C, et al. A systematic review of physical activity and quality of life and well-being. *Transl Behav Med*. 2020;10(5):1098–109.
107. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation*. 2007;116(9):1081.
108. Dunn JK. Establishing reliability and validity in evaluation instruments. *J Park Recreat Admi*. 1987;5(4).
109. Kimberlin CL, Winterstein AG. Validity and reliability of measurement instruments used in research. *American Journal of Health-System Pharmacy*. 2008;65(23):2276–84.
110. Carvajal A, Centeno C, Watson R, Martínez M, Sanz Rubiales Á. How is an instrument for measuring health to be validated? *An Sist Sanit Navar*. 2011;34(1):63–72.
111. Sánchez-Sánchez AJ, Chiroso-Ríos LJ, Chiroso-Ríos IJ, García-Vega AJ, Jerez-Mayorga D. Test-retest reliability of a functional electromechanical dynamometer on swing eccentric hamstring exercise measures in soccer players. *PeerJ*. 2021;9:1–13.
112. Cerda-Vega E, Jerez-Mayorga D, Machado Payer R, Campos Jara C, Guzman-Guzman I, Reyes Ponce A, et al. Validity and reliability of evaluating hip abductor strength using different normalization methods in a functional electromechanical device. *PLoS One*. 2018;13(8):1–12.
113. Lombardi VP. *Beginning weight training: the safe and effective way*. WCB/McGraw-Hill; 1989.
114. Comfort P, Kasim P. Optimizing squat technique. *Strength Cond J*. 2007;29(6):10–3.
115. Argaud S, Pairet de Fontenay B, Blache Y, Monteil K. Does aging cause joint mechanics redistribution during squat jumping? *Comput Methods Biomech Biomed Engin*. 2020;23(1):S12–4.
116. Soares BA, Lacerda ACR, Nonato LF, Corrêa FG, da Silva Lage VK, Camargos ACR, et al. Cardiopulmonary responses during dynamic squatting exercise with and without whole-body vibration in adolescents. *Revista Pesquisa em Fisioterapia*. 2021;11(1):190–7.
117. Fanchamps MHJ, Horemans HLD, Ribbers GM, Stam HJ, Bussmann JBJ. The accuracy of the detection of body postures and movements using a physical activity monitor in people after a stroke. *Sensors*. 2018;18(7):2167–78.
118. Garatachea N, Jiménez A, Bresciani G, Marino NA, Gonzalez-Gallego J, De Paz JA. The effects of movement velocity during squatting on energy expenditure and substrate utilization in whole-body vibration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2007;21(2):594–8.
119. Goldring N, Wiles JD, Coleman D. The effects of isometric wall squat exercise on heart rate and blood pressure in a normotensive population. *J Sports Sci*. 2014;32(2):129–36.
120. Rodríguez-Rosell D, Yáñez-García JM, Sánchez-Medina L, Mora-Custodio R, González-Badillo JJ. Relationship between velocity loss and repetitions in reserve in the bench press and back squat exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2020;34(9):2537–47.
121. Eijssvogels TMH, Thompson PD. Exercise is medicine: at any dose? *JAMA*. 2015;314(18):1915–6.
122. Reilly T, Morris T, Whyte G. The specificity of training prescription and physiological assessment: A review. *J Sports Sci*. 2009;27(6):575–89.
123. Liberati A, Altman DG, Tetzlaff J, Mulrow C, Gøtzsche PC, Ioannidis JPA, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol*. 2009;62(10):1–34.

124. R Core Team. A Language and Environment for Statistical Computing. Industrial and Commercial Training [Internet]. 2017;10(1):11–8. Available from: <http://www.r-project.org/>
125. Warnes GR, Bolker B, Gorjanc G, Grothendieck G, Korosec A, Lumley T, et al. gdata: Various R programming tools for data manipulation. R package version 2133. 2017;
126. Viechtbauer W. Conducting meta-analyses in R with the metafor. *J Stat Softw*. 2010;36(3):1–48.
127. Noble S, Scheinost D, Constable RT. A decade of test-retest reliability of functional connectivity: A systematic review and meta-analysis. *Neuroimage*. 2019;203.
128. Shoukri MM, Al-Hassan T, DeNiro M, El Dali A, Al-Mohanna F. Bias and Mean Square Error of Reliability Estimators under the One and Two Random Effects Models: The Effect of Non-Normality. *Open J Stat*. 2016;06(02):254–73.
129. Baldew SSM, Avila A, Claes J, Toelsie JR, Vanhees L, Cornelissen V. The test-retest reliability and criterion validity of the Sensewear mini and Actiheart in two climatologically different countries. *Health Technol (Berl)*. 2019;9(4):647–56.
130. Blagrove RC, Howatson G, Hayes PR. Test-retest reliability of physiological parameters in elite junior distance runners following allometric scaling. *Eur J Sport Sci* [Internet]. 2017;17(10):1231–40. Available from: <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1364301>
131. Brazeau AS, Karelis AD, Mignault D, Lacroix MJ, Prud'homme D, Rémi RL. Test-retest reliability of a portable monitor to assess energy expenditure. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism* [Internet]. 2011 [cited 2024 Aug 8];36(3):339–43. Available from: <https://doi.org/10.1139/h11-016>
132. Cai Y, Wang Z, Zhang W, Kong W, Jiang J, Zhao R, et al. Estimation of heart rate and energy expenditure using a smart bracelet during different exercise intensities: a reliability and validity study. *Sensors*. 2022;22(13):4661.
133. da Cunha-Filho IT, Henson H, Wankadia S, Protas EJ. Reliability of measures of gait performance and oxygen consumption with stroke survivors. *J Rehabil Res Dev*. 2003;40(1):19–26.
134. Teixeira Da Cunha-Filho I, Henson H, Protas EJ. Reliability of a portable gas analyzer during a 5-min walk test. *Am J Phys Med Rehabil*. 2007;86(6):469–73.
135. DeBlois JP, White LE, Barreira TV. Reliability and validity of the COSMED K5 portable metabolic system during walking. *Eur J Appl Physiol*. 2021;121:209–17.
136. Harrison SL, Horton EJ, Smith R, Sandland CJ, Steiner MC, Morgan MDL, et al. Physical activity monitoring: Addressing the difficulties of accurately detecting slow walking speeds. *Heart and Lung: Journal of Acute and Critical Care*. 2013;42(5):361–364.e1.
137. Kempen JCE, Harlaar J, van der Kooij AJ, de Groot IJM, van den Bergen JC, Niks EH, et al. Reliability of the walking energy cost test and the six-minute walk test in boys with Duchenne muscular dystrophy. *Neuromuscular Disorders*. 2014;24(3):216–21.
138. Munguía-Izquierdo D, Santalla A, Legaz-Arrese A. Evaluation of a wearable body monitoring device during treadmill walking and jogging in patients with fibromyalgia syndrome. *Arch Phys Med Rehabil*. 2012;93(1):115–22.
139. Sloomaker SM, Chin A Paw MJM, Schuit AJ, Van Mechelen W, Koppes LLJ. Concurrent validity of the PAM accelerometer relative to the MTI Actigraph using oxygen consumption as a reference. *Scand J Med Sci Sports*. 2009;19(1):36–43.
140. Swan PD, Byrnes WC, Haymes EM. Energy expenditure estimates of the Caltrac accelerometer for running, race walking, and stepping. *Br J Sports Med*. 1997;31(3):235–9.
141. Troutman SR, Allor KM, Hartmann DC, Pivarnik JM. Mini-LOGGER® reliability and validity for estimating energy expenditure and heart rate in adolescents. *Res Q Exerc Sport*. 1999;70(1):70–4.
142. Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *J Chiropr Med*. 2016;15(2):155–63.
143. Weir JP. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2005;19(1):231–40.



144. Whinton AK, Thompson KMA, Power GA, Burr JF. Testing a novel isokinetic dynamometer constructed using a 1080 Quantum. *PLoS One*. 2018 Jul 1;13(7):1–11.
145. Boehringer S, Whyte DG. Validity and test-retest reliability of the 1080 quantum system for bench press exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2019;33(12):3242–51.
146. Hopkins WG. Spreadsheets for analysis of validity and reliability. *Sportscience*. 2017;21:36–44.
147. Bisdee JT, James WPT, Shaw MA. Changes in energy expenditure during the menstrual cycle. *British Journal of Nutrition*. 1989;61(2):187–99.
148. Vaquero-Cristóbal R, Albaladejo-Saura M, Luna-Badachi AE, Esparza-Ros F. Differences in fat mass estimation formulas in physically active adult population and relationship with sums of skinfolds. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(21):7777.
149. Roman-Viñas B, Serra-Majem L, Hagströmer M, Ribas-Barba L, Sjöström M, Segura-Cardona R. International physical activity questionnaire: reliability and validity in a Spanish population. *Eur J Sport Sci*. 2010;10(5):297–304.
150. Chmielewska A, Kujawa K, Regulska-Ilow B. Accuracy of Resting Metabolic Rate Prediction Equations in Sport Climbers. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20(5):4216.
151. Rodríguez-Perea A, Ríos LJC, Martínez-García D, Ulloa-Díaz D, Rojas FG, Jerez-Mayorga D, et al. Reliability of isometric and isokinetic trunk flexor strength using a functional electromechanical dynamometer. *PeerJ*. 2019;7:1–17.
152. Del-Cuerpo I, Jerez-Mayorga D, Chirisa-Ríos LJ, Morenas-Aguilar MD, Mariscal-Arcas M, López-Moro A, et al. Males Have a Higher Energy Expenditure than Females during Squat Training. *Nutrients*. 2023;15(15):3455.
153. Campbell MJ, Machin D. *Medical statistics: a commonsense approach*. J. Wiley; 1999.
154. Westcott WL. Resistance training is medicine: effects of strength training on health. *Curr Sports Med Rep*. 2012;11(4):209–16.
155. Nieman DC, Austin MD, Benezra L, Pearce S, McInnis T, Unick J, et al. Validation of Cosmed's FitMate™ in measuring oxygen consumption and estimating resting metabolic rate. *Research in Sports Medicine*. 2006;14(2):89–96.
156. Brisswalter J, Tartaruga MP. Comparison of COSMED'S FitMate™ and K4b2 metabolic systems reliability during graded cycling exercise. *Scand J Clin Lab Invest*. 2014;74(8):722–4.
157. Campbell B, Zito G, Colquhoun R, Martinez N, St Louis C, Johnson M, et al. Inter-and intra-day test-retest reliability of the Cosmed Fitmate Pro™ indirect calorimeter for resting metabolic rate. *J Int Soc Sports Nutr*. 2014;11(1):1–2.
158. Hernando D, Garatachea N, Almeida R, Casajus JA, Bailón R. Validation of heart rate monitor Polar RS800 for heart rate variability analysis during exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2018;32(3):716–25.
159. Crotty NM, Boland M, Mahony N, Donne B, Fleming N. Reliability and validity of the Lactate Pro 2 Analyzer. *Meas Phys Educ Exerc Sci*. 2021;25(3):202–11.
160. Salimi Z, Ferguson-Pell M. Investigating the Reliability and Validity of Three Novel Virtual Reality Environments with Different Approaches to Simulate Wheelchair Maneuvers. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*. 2019;27(3):514–22.
161. Vogler AJ, Rice AJ, Gore CJ. Validity and reliability of the Cortex MetaMax3B portable metabolic system. *J Sports Sci*. 2010;28(7):733–42.
162. Wong DP, Carling C, Chaouachi A, Dellal A, Castagna C, Chamari K, et al. Estimation of oxygen uptake from heart rate and RPE in young soccer players. *J Strength Cond Res*. 2011;25(7):1983–8.
163. Blatter T, Outermans J, Punt M, Wittink H. Reproducibility of Different Methodologies to Calculate Oxygen Consumption and Oxygen Cost During Walking in Chronic Stroke Survivors. *Journal of Stroke and Cerebrovascular Diseases [Internet]*. 2020;29(4):104637. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104637>

164. Blessinger J, Sawyer B, Davis C, Irving BA, Weltman A, Gaesser G. Reliability of the VmaxST portable metabolic measurement system. *Int J Sports Med*. 2009;30(1):22–6.
165. Waldron M, Worsfold P, Twist C, Lamb K. Concurrent validity and test–retest reliability of a global positioning system (gps) and timing gates to assess sprint performance variables. *J Sports Sci*. 2011;29(15):1613–9.
166. Silva P, Mota J, Eslinger D, Welk G. Technical reliability assessment of the actigraph GT1M accelerometer. *Meas Phys Educ Exerc Sci*. 2010;14(2):79–91.
167. Hansen MT, Rømer T, Frandsen J, Larsen S, Dela F, Helge JW. Determination and validation of peak fat oxidation in endurance-trained men using an upper body graded exercise test. *Scand J Med Sci Sports*. 2019;29(11):1677–90.
168. Ozemek C, Kirschner MM, Wilkerson BS, Byun W, Kaminsky LA. Intermonitor reliability of the GT3X+ accelerometer at hip, wrist and ankle sites during activities of daily living. *Physiol Meas*. 2014;35(2):129–38.
169. Mtaweh H, Tuira L, Floh AA, Parshuram CS. Indirect calorimetry: History, technology, and application. *Front Pediatr*. 2018;6:1–8.
170. D'Angelo MG, Bresolin N. Cognitive impairment in neuromuscular disorders. *Muscle Nerve*. 2006;34(1):16–33.
171. Glass JM. Fibromyalgia and Cognition. *Journal of Clinical Psychiatry*. 2008;69(SUPPL. 2):20–4.
172. Park DC, Glass JM, Minear M, Crofford LJ. Cognitive Function in Fibromyalgia Patients. *Arthritis Rheum*. 2001;44(9):2125–33.
173. Garcia-Aymerich J, Lange P, Benet M, Schnohr P, Antó JM. Regular physical activity modifies smoking-related lung function decline and reduces risk of chronic obstructive pulmonary disease: A population-based cohort study. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;175(5):458–63.
174. Lyristakis P, Ball N, McKune AJ. Reliability of methods to measure energy expenditure during and after resistance exercise. *Applied Physiology, Nutrition and Metabolism*. 2019;44(12):1276–82.
175. Heden T, Lox C, Rose P, Reid S, Kirk EP. One-set resistance training elevates energy expenditure for 72 h similar to three sets. *Eur J Appl Physiol*. 2011;111(3):477–84.
176. Hunter GR, Fisher G, Neumeier WH, Carter SJ, Plaisance EP. Exercise Training and Energy Expenditure following Weight Loss. *Medical Science of Sport Exercise*. 2015;47(9):1950–1957.
177. Kirk EP, Donnelly JE, Smith BK, Honas J, Lecheminant JD, Bailey BW, et al. Minimal resistance training improves daily energy expenditure and fat oxidation. *Medical Science of Sport Exercise*. 2009;41(5):1122–9.
178. Ades PA, Savage PD, Brochu M, Tischler MD, Lee NM, Poehlman ET. Resistance training increases total daily energy expenditure in disabled older women with coronary heart disease. *J Appl Physiol*. 2005;98(4):1280–5.
179. Reyes-Ferrada W, Rodríguez-Perea Á, Chiro-sa-Ríos L, Martínez-García D, Jerez-Mayorga D. Muscle Quality and Functional and Conventional Ratios of Trunk Strength in Young Healthy Subjects: A Pilot Study. *Int J Environ Res Public Health*. 2022 Oct 1;19(19).
180. Baena-Raya A, Díez-Fernández DM, García-Ramos A, Soriano-Maldonado A, Rodríguez-Pérez MA. Concurrent validity and reliability of a functional electromechanical dynamometer to assess isometric mid-thigh pull performance. *Proc Inst Mech Eng P J Sport Eng Technol*. 2021;237(3):197–204.
181. Morrow JR, Jackson AW. How “significant” is your reliability? *Res Q Exerc Sport*. 1993;64(3):352–5.
182. Buckthorpe MW, Hannah R, Pain TG, Folland JP. Reliability of neuromuscular measurements during explosive isometric contractions, with special reference to electromyography normalization techniques. *Muscle Nerve*. 2012 Oct;46(4):566–76.
183. Campos-Jara C, Bautista-González I, Chiro-sa-Ríos I, Martín-Tamayo I. Validity and Reliability of the Haefni Health System 1.0 device in the measurement of the isokinetic velocity range. *Cuadernos de Psicología del Deporte [Internet]*. 2014;14(2):91–8. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/262913999>
184. Chamorro C, De La Fuente C, Jerez D, Campos C, Chiro-sa LJ. Reliability of shoulder rotators isometric



- strength test using a novel pulley electromechanical dynamometer. Influence of the assessment position. *Asian J Sports Med.* 2018 Jun 1;9(2).
185. Chamorro C, De La Fuente C, Rubio J, Campos C, Chiroso LJ. Absolute reliability and concurrent validity of a novel electromechanical pulley dynamometer for measuring shoulder rotation isometric strength in asymptomatic subjects. 2019.
186. Jones LM, Stoner L, Baldi JC, McLaren B. Circuit resistance training and cardiovascular health in breast cancer survivors. *Eur J Cancer Care (Engl).* 2020;29(4):e13231.
187. Benito PJ, Cupeiro R, Ramos-Campo DJ, Alcaraz PE, Rubio-Arias JA. A systematic review with meta-analysis of the effect of resistance training on whole-body muscle growth in healthy adult males. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(4):1285.
188. Bea JW, Blew RM, Howe C, Hetherington-Rauth M, Going SB. Resistance training effects on metabolic function among youth: a systematic review. *Pediatr Exerc Sci.* 2017;29(3):297–315.
189. Zurlo F, Larson K, Bogardus C, Ravussin E. Skeletal muscle metabolism is a major determinant of resting energy expenditure. *J Clin Invest.* 1990;86(5):1423–7.
190. Hackney KJ, Engels HJ, Gretebeck RJ. Resting energy expenditure and delayed-onset muscle soreness after full-body resistance training with an eccentric concentration. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2008;22(5):1602–9.
191. Abboud GJ, Greer BK, Campbell SC, Panton LB. Effects of load-volume on EPOC after acute bouts of resistance training in resistance-trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research.* 2013;27(7):1936–41.
192. Ciccolo JT, Carr LJ, Krupel KL, Longval JL. The role of resistance training in the prevention and treatment of chronic disease. *Am J Lifestyle Med.* 2010;4(4):293–308.
193. Lemmer JT, Ivey FM, Ryan AS, Martel GF, Hurlbut DE, Metter JE, et al. Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Apr;33(4):532–41.
194. Bi X, Forde CG, Goh AT, Henry CJ. Basal metabolic rate and body composition predict habitual food and macronutrient intakes: gender differences. *Nutrients.* 2019;11(11):2653.
195. Trumble BC, Pontzer H, Stieglitz J, Cummings DK, Wood B, Emery Thompson M, et al. Energetic costs of testosterone in two subsistence populations. *American Journal of Human Biology.* 2023;35(11):e23949.
196. Brodsky IG, Balagopal P, Nair KS. Effects of testosterone replacement on muscle mass and muscle protein synthesis in hypogonadal men—a clinical research center study. *J Clin Endocrinol Metab.* 1996;81(10):3469–75.
197. Sinha-Hikim I, Cornford M, Gaytan H, Lee ML, Bhasin S. Effects of testosterone supplementation on skeletal muscle fiber hypertrophy and satellite cells in community-dwelling older men. *J Clin Endocrinol Metab.* 2006;91(8):3024–33.
198. Tsai LW, Sapolsky RM. Rapid stimulatory effects of testosterone upon myotubule metabolism and sugar transport, as assessed by silicon microphysiometry. *Aggressive Behavior: Official Journal of the International Society for Research on Aggression.* 1996;22(5):357–64.
199. Emmelot-Vonk MH, Verhaar HJJ, Nakhai Pour HR, Aleman A, Lock TMT. Effect of testosterone supplementation on functional mobility, cognition, and other parameters in older men. *J Am Med Assoc.* 2008;299(1):39–52.
200. Gurven M, Costa M, Trumble B, Stieglitz J, Beheim B, Eid Rodriguez D, et al. Health costs of reproduction are minimal despite high fertility, mortality and subsistence lifestyle. *Sci Rep.* 2016;6(1):30056.
201. Holesh JE, Bass AN, Lord M. *Physiology, Ovulation.* Treasure Island (FL): StatPearls Publishing: StatPearls [Internet]; 2017.
202. Barriga-Pooley P, Brantes-Glavic S. Normal Menstrual Cycle. In: *Menstrual Cycle.* IntechOpen; 2019.
203. Reed BG, Carr BR. *The Normal Menstrual Cycle and the Control of Ovulation.* South Dartmouth (MA): MDText.com: Endotext; 2018.
204. Pardo M, Crujeiras AB, Amil M, Aguera Z, Jiménez-Murcia S, Baños R, et al. Association of irisin with

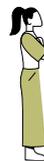
- fat mass, resting energy expenditure, and daily activity in conditions of extreme body mass index. *Int J Endocrinol*. 2014;2014.
205. Bandini LG, Must A, Phillips SM, Naumova EN, Dietz WH. Relation of body mass index and body fatness to energy expenditure: longitudinal changes from preadolescence through adolescence. *Am J Clin Nutr*. 2004;80(5):1262–9.
206. Bassett Jr DR. Scientific contributions of AV Hill: exercise physiology pioneer. *J Appl Physiol*. 2002;93(5):1567–82.
207. Joyner MJ, Dominelli PB. Central cardiovascular system limits to aerobic capacity. *Exp Physiol*. 2021;106(12):2299–303.
208. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The importance of muscular strength: training considerations. *Sports medicine*. 2018;48:765–85.
209. Emberts T, Porcari J, Doherty S, Steffen J, Foster C. Exercise intensity and energy expenditure of a tabata workout. *J Sports Sci Med*. 2013;12(3):612.
210. Laughlin MH. Cardiovascular response to exercise. *Adv Physiol Educ*. 1999;27(6):S244.
211. Fortunato AK, Pontes WM, De Souza DMS, Prazeres JSF, Marcucci-Barbosa LS, Santos JMM, et al. Strength Training Session Induces Important Changes on Physiological, Immunological, and Inflammatory Biomarkers. *J Immunol Res*. 2018 Jun 26;2018:1–12.
212. Freitas de Salles B, Simao R, Miranda F, da Silva Novaes J, Lemos A, Willardson JM. Rest interval between sets in strength training. *Sports medicine*. 2009;39:765–77.
213. Farinatti P, Neto AGC, Amorim PRS. Oxygen consumption and substrate utilization during and after resistance exercises performed with different muscle mass. *Int J Exerc Sci*. 2016;9(1):77.
214. Reimers AK, Knapp G, Reimers CD. Effects of exercise on the resting heart rate: a systematic review and meta-analysis of interventional studies. *J Clin Med*. 2018;7(12):503.
215. Dong J. The role of heart rate variability in sports physiology. *Exp Ther Med*. 2016;11(5):1531–6.
216. Mourot L, Bouhaddi M, Tordi N, Rouillon JD, Regnard J. Short-and long-term effects of a single bout of exercise on heart rate variability: comparison between constant and interval training exercises. *Eur J Appl Physiol*. 2004;92(4–5):508–17.
217. Dos Santos WDN, Vieira CA, Bottaro M, Nunes VA, Ramirez-Campillo R, Steele J, et al. Resistance training performed to failure or not to failure results in similar total volume, but with different fatigue and discomfort levels. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2021;35(5):1372–9.
218. Pareja-Blanco F, Sánchez-Medina L, Suárez-Arroñes L, González-Badillo JJ. Effects of velocity loss during resistance training on performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2017;12(4):512–9.
219. Sanchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(9):1725–34.
220. Hu M, Finni T, Zou L, Perhonen M, Sedliak M, Alen M, et al. Effects of strength training on work capacity and parasympathetic heart rate modulation during exercise in physically inactive men. *Int J Sports Med*. 2009;719–24.
221. Messonnier LA, Emhoff CAW, Fattor JA, Horning MA, Carlson TJ, Brooks GA. Lactate kinetics at the lactate threshold in trained and untrained men. *J Appl Physiol*. 2013;114(11):1593–602.
222. Messonnier L, Freund H, Féasson L, Prieur F, Castells J, Denis C, et al. Blood lactate exchange and removal abilities after relative high-intensity exercise: effects of training in normoxia and hypoxia. *Eur J Appl Physiol*. 2001;84:403–12.
223. Hood MS, Little JP, Tarnopolsky MA, Myslik F, Gibala MJ. Low-volume interval training improves muscle oxidative capacity in sedentary adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(10):1849–56.
224. Pesta D, Hoppel F, Macek C, Messner H, Faulhaber M, Kobel C, et al. Similar qualitative and quantitative changes of mitochondrial respiration following strength and endurance training in normoxia and hypoxia in sedentary humans. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*. 2011;301(4):R1078–87.



225. Mochizuki Y, Saito M, Homma H, Inoguchi T, Naito T, Sakamaki-Sunaga M, et al. Sex differences in lifting velocity and blood lactate concentration during resistance exercise using different rest intervals. 2022;
226. Szivak TK, Hooper DR, Dunn-Lewis C, Comstock BA, Kupchak BR, Apicella JM, et al. Adrenal cortical responses to high-intensity, short rest, resistance exercise in men and women. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2013;27(3):748–60.
227. Esbjornsson-Liljedahl M, Sundberg CJ, Norman B, Jansson E. Metabolic response in type I and type II muscle fibers during a 30-s cycle sprint in men and women. *J Appl Physiol*. 1999;87(4):1326–32.
228. Jansson PA, Larsson A, Smith U, Lönnroth P. Lactate release from the subcutaneous tissue in lean and obese men. *J Clin Invest*. 1994;93(1):240–6.
229. Petersen C, Nielsen MD, Andersen ES, Basse AL, Isidor MS, Markussen LK, et al. MCT1 and MCT4 expression and lactate flux activity increase during white and brown adipogenesis and impact adipocyte metabolism. *Sci Rep*. 2017;7(1):13101.
230. Okano S, Nishizawa H, Yui J, Nakamura A. Impact of body fat, body water content, and skeletal muscle mass index on peak salivary lactate levels after squat jump exercise in healthy non-athlete adult males. *BMC Sports Sci Med Rehabil*. 2022;14(1):91.
231. Seals DR, Hurley BF, Schultz J, Hagberg JM. Endurance training in older men and women II. Blood lactate response to submaximal exercise. *J Appl Physiol*. 1984;57(4):1030–3.
232. Masuda S, Hayashi T, Egawa T, Taguchi S. Evidence for differential regulation of lactate metabolic properties in aged and unloaded rat skeletal muscle. *Exp Gerontol*. 2009;44(4):280–8.
233. Tzankoff SP, Norris AH. Age-related differences in lactate distribution kinetics following maximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1979;42:35–40.
234. Hermansen L. Lactate production during exercise. In: *Muscle Metabolism During Exercise: Proceedings of a Karolinska Institutet Symposium held in Stockholm, Sweden, September 6–9, 1970* Honorary guest: E Hohwü Christensen. Springer; 1971. p. 401–7.

13

ANEXOS



ANEXO I



UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Vicerrectorado de Investigación y Transferencia

COMITE DE ETICA EN INVESTIGACION DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA

La Comisión de Ética en Investigación de la Universidad de Granada, visto el informe preceptivo emitido por la Presidenta del Comité en Investigación Humana, tras la valoración colegiada del Comité en sesión plenaria, en el que se hace constar que la investigación propuesta respeta los principios establecidos en la legislación internacional y nacional en el ámbito de la biomedicina, la biotecnología y la bioética, así como los derechos derivados de la protección de datos de carácter personal,

Emite un Informe Favorable en relación a la investigación titulada: 'EFECTO DEL TRABAJO DE FUERZA CONTROLADO CON DINAMOMETRÍA ELECTROMECAÁNICA FUNCIONAL SOBRE EL GASTO ENERGÉTICO.' que dirige D./Dña. INDYA DEL CUERPO RODRÍGUEZ, con NIF 75.573.801-X, quedando registrada con el nº: 2182/CEIH/2021.

Granada, a 07 de Junio de 2021.

HERRERA
VIEDMA
ENRIQUE -
26478489S

Firmado digitalmente
por HERRERA VIEDMA
ENRIQUE - 26478489S
Fecha: 2021.06.08
08:43:01 +02'00'

EL PRESIDENTE
Fdo: Enrique Herrera Viedma

EL SECRETARIO
Fdo: Francisco Javier O'Valle Ravassa



ANEXO 2

Este documento constituye su aceptación formal para colaborar voluntaria y libremente en este proyecto de investigación y firmarlo es requisito indispensable para que pueda participar en él.

Comprendiendo todo lo anterior:

D. _____, con DNI. _____, acepto participar en el estudio titulado "MEDICIÓN DEL GASTO ENERGÉTICO EN SENTADILLA CON CALORIMETRÍA INDIRECTA Y ACELEROMETRÍA" que se va a llevar a cabo en la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Granada.

Si decido participar en el estudio, comprendo que durante el proceso me comprometo a:

1. Indicar cualquier problema, síntoma o condición que sea relevante de mi estado de salud que pueda afectar directamente mi seguridad durante el entrenamiento, ayuno o durante las mediciones de las diferentes variables a analizar.
2. Permitir la utilización de mis datos para la elaboración de dicho proyecto.
3. Permitir la realización de cada una de las mediciones de las variables que se plantean en el estudio.

Certifico haber recibido información clara sobre la participación en este proyecto, pudiendo consultar y aclarar todas las dudas y preguntas que me han surgido o me surjan acerca del mismo. Doy mi consentimiento para que mis datos sean empleados para el desarrollo de este estudio, garantizándose en todo momento la confidencialidad de los mismos y no siendo empleados para otros fines.

Igualmente he sido informado, que, de requerir algún tipo de aclaración o mayor información sobre los resultados u otras inquietudes, puedo ponerme en contacto con los profesionales responsables de este proyecto y que vienen expuestos en la página anterior.

Por último, soy consciente de que la participación es totalmente voluntaria y que podré dejar de participar en el estudio en cualquier momento.

Firma

Granada, a _____ de _____ del 2024



UNIVERSIDAD
DE GRANADA