

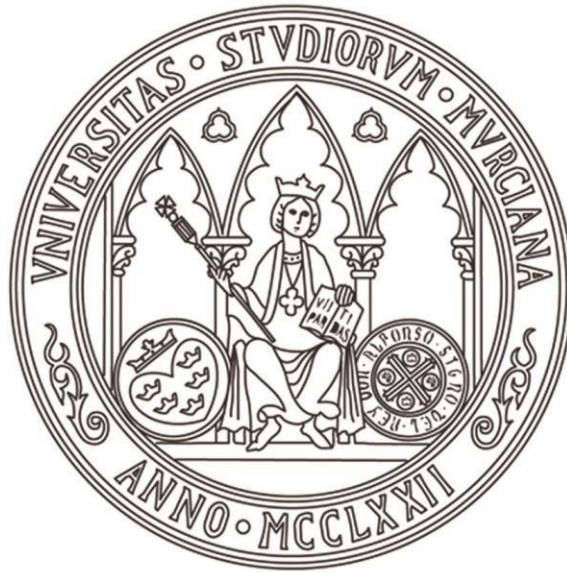


**UNIVERSIDAD DE MURCIA**  
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
TESIS DOCTORAL

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA CARGA INTERNA Y  
EXTERNA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA FATIGA  
DURANTE LA PRETEMPORADA EN DEPORTISTAS DE ÉLITE  
DE DEPORTES COLECTIVOS INDOOR

**D. Adrián Moreno Villanueva**  
**2022**





**UNIVERSIDAD DE MURCIA**  
ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO  
TESIS DOCTORAL

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA CARGA INTERNA Y  
EXTERNA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA FATIGA DURANTE  
LA PRETEMPORADA EN DEPORTISTAS DE ÉLITE DE DEPORTES  
COLECTIVOS INDOOR

Autor: D. Adrián Moreno Villanueva

Director/es: D. José Pino Ortega

D. Markel Rico Gonzalez





**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD  
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

*Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022*

D./Dña. Adrián Moreno Villanueva

doctorando del Programa de Doctorado en

Ciencias de la Actividad Física y el Deporte

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

Evaluación y seguimiento de la carga interna y externa para la monitorización de la fatiga durante la pretemporada en deportistas de élite de deportes colectivos indoor

y dirigida por,

D./Dña. José Pino Ortega

D./Dña. Markel Rico González

D./Dña.

**DECLARO QUE:**

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

*Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:*

- *La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- *En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 26 de octubre de 2022

Fdo.: Adrián Moreno Villanueva

*Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.*

Información básica sobre protección de sus datos personales aportados	
Responsable:	Universidad de Murcia. Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia. Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es
Legitimación:	La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos
Finalidad:	Gestionar su declaración de autoría y originalidad
Destinatarios:	No se prevén comunicaciones de datos
Derechos:	Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia





# UNIVERSIDAD DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA CARGA INTERNA Y  
EXTERNA PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA FATIGA DURANTE  
LA PRETEMPORADA EN DEPORTISTAS DE ÉLITE DE DEPORTES  
COLECTIVOS INDOOR

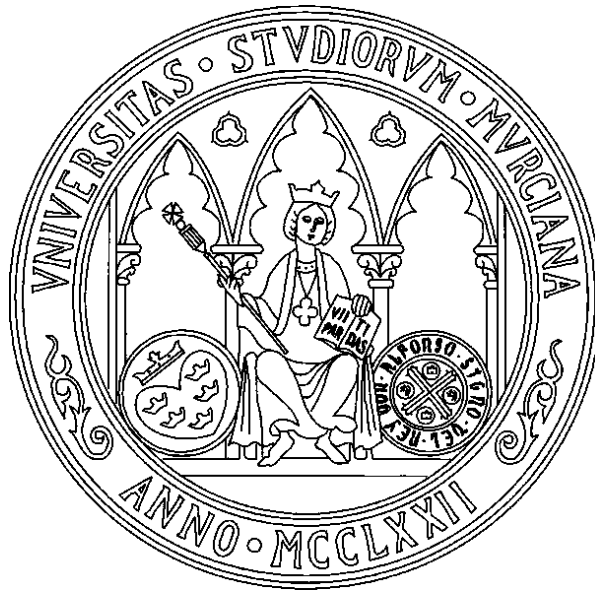
**D. Adrián Moreno Villanueva**

**2022**









# UNIVERSIDAD DE MURCIA

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y DEPORTE

**Evaluación y seguimiento de la carga interna y externa para  
la monitorización de la fatiga durante la pretemporada en  
deportistas de élite de deportes colectivos indoor**

Tesis para optar al grado de doctor presentada por:

**D. Adrián Moreno Villanueva**

Dirigida por

**Dr. José Pino Ortega**

**Dr. Markel Rico González**

**San Javier, Septiembre 2022**





*Dedicado a mi familia, tanto personal como profesional y académica, así como a todas aquellas personas que buscan sus límites e intentan superarlos con tenacidad y valentía.*



## AGRADECIMIENTOS

En un proceso tan extenso en el tiempo como supone la elaboración de una Tesis Doctoral, existen una serie de personas pasadas y presentes que ineludiblemente han contribuido, ya sea de forma directa e indirecta, tangible o intangible, en la materialización de dicho documento. Por tanto, mi obligación moral me invita a agradecer a todos aquellos que han hecho posible que este proyecto haya visto finalmente la luz, y a disculparme por aquellos de los que me haya olvidado:

A mi director de Tesis, José Pino Ortega, que me acogió y apostó por mí sin conocerme absolutamente de nada, tratándome como a uno más de su familia desde el primer momento. Gracias Jose, por ayudarme de forma totalmente desinteresada, aportando tu experiencia, implicación, apoyo y consejos (tanto en lo personal como en lo académico y profesional) con esa humildad y sinceridad que tanto te caracteriza. Nunca olvidaré el apoyo diario y constante que me ofreciste en los momentos más complicados de la investigación práctica. Te guardo en mi vida no sólo como un tutor, sino como un amigo y, por qué no, un padre académico.

A mi co-director de tesis, Markel Rico González, por la energía, motivación e implicación que me transmitió y ofreció desde el mismo comienzo del programa de Doctorado. Agradecerte también las posibilidades académicas y profesionales en las que has contado conmigo de forma altruista y siempre con la mejor de tus intenciones. Tu carácter, determinación y transparencia es algo que siempre tendré como referente en mi vida.

A mis padres Arancha y Antonio, porque sin las facilidades, educación y carácter que me han aportado a lo largo de mi vida, la consecución de este proyecto no habría sido posible en las condiciones en las que se ha materializado. A mi hermana Jessica, porque su capacidad de adaptación ante las adversidades de la vida, así como su consejo y apoyo incondicional hacia las decisiones que he ido tomando a lo largo de la mía, han hecho que sea la persona que soy.

A mis caseros de Portugal, David, Zinda, Carolina y Gabriela y sus allegados, los cuáles me acogieron como uno más de la familia desde el primer día. Gracias por abrirme las puertas de

vuestra casa y compartir vuestras experiencias conmigo sin conocerme de nada. Vuestra empatía, bondad, positividad y honradez me han levantado en los momentos más complicados. Siempre os guardaré un hueco en mi corazón.

A todo el personal de la Universidad de Maia, desde el Coordinador principal (Fabio Yuzo Nakamura), hasta el personal de administración y gestión del pabellón deportivo, pasando por todo el cuerpo técnico del ADCR Caxinas Futsal y sus jugadores. Sin alguno de todos estos agentes involucrados, el proyecto no habría tenido la calidad que finalmente tuvo.

A mi otra gran familia en el ámbito personal. Clara Herrero y Gregorio Antolín, muchas gracias por todo el apoyo anímico, sincero, constante y desinteresado que me habéis aportado en los momentos personales más difíciles y desestabilizadores. Muchas gracias a Noelia Movilla, porque me hiciste concebir, vivir e interpretar la vida de una forma que hasta entonces desconocía, con todas las implicaciones positivas que ello conlleva. A Celia Ortiz, porque aunque te haya conocido al final de todo este proceso, me has descubierto y despertado sentimientos imposibles de comprender y describir, asumiéndote como una compañera de vida. Gracias Óscar Ezquerro, porque más allá de mi jefe, has demostrado ser mi hermano, apoyándome y apostando por mí con una fe ciega y una humildad que poca gente tiene. Os estaré eternamente agradecido.

Al resto del personal de la Universidad de Murcia que ha hecho posible la consecución de un proyecto de investigación con unas dificultades logísticas sin precedentes en mi experiencia académica. Mencionar especialmente a Ana Gutierrez, por la implicación y apuesta (tanto material como intangible) otorgada al proyecto de investigación, por mostrar sus conocimientos y abrirnos todo un camino de posibilidades, guiándonos en un terreno conceptual desconocido para nosotros. Gracias también a Alejandro Soler, porque pese a haberte conocido en la etapa final de este proceso, espero que pueda ayudarte con la misma energía y motivación que me has ofrecido desde el primer momento, con la humildad y la constancia que creo que te caracteriza.

Sinceramente... ¡MUCHAS GRACIAS A TODOS!





## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>ÍNDICE DE ABREVIATURAS</b> .....	15
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	17
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	18
<b>PRÓLOGO</b> .....	19
<b>PARTE I. MARCO TEÓRICO.</b>	
1. Fatiga: Marco conceptual y clasificaciones de fatiga.....	23
2. De la monitorización de la carga a los indicadores de fatiga.....	26
2.1. Monitorización de variables de carga externa e indicadores de fatiga .....	26
2.1.1.Sistemas de seguimiento electrónico para la identificación de episodios de fatiga	
2.1.2.Test de rendimiento físico orientados a identificación de episodios de fatiga.	
2.1.2.1. Utilización de encoders para monitorización de carga externa e identificación de episodios de fatiga.	
2.2. Monitorización de variables de carga interna e indicadores de fatiga.....	34
2.2.1.VARIABLES subjetivas de carga interna.	
2.2.2.VARIABLES objetivas de carga interna.	
2.2.2.1. Variables fisiológicas.	
2.2.2.2. Variables bioquímicas, hormonales e inmunológicas.	
<b>PARTE II. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	
1. Objetivos generales.....	42
<b>PARTE III. ESTUDIO 1</b> .....	
1. Introducción	
2. Métodos	
3. Resultados	

4. Discusión	
5. Limitaciones del estudio y direcciones futuras	
6. Aplicaciones prácticas	
<b>PARTE IV. ESTUDIO 2</b> .....	<b>79</b>
1. Introducción	
2. Métodos	
3. Resultados	
4. Discusión e implicaciones	
5. Conclusiones	
<b>PARTE V. ESTUDIO 3</b> .....	<b>130</b>
1. Introducción	
2. Métodos	
3. Resultados	
4. Discusión	
5. Conclusiones	
6. Aplicaciones prácticas	
<b>PARTE VI. ESTUDIO 4</b> .....	<b>163</b>
1. Introducción	
2. Material y Métodos	
3. Resultados	
4. Discusión	
5. Conclusiones	
<b>PARTE VII. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>179</b>
<b>PARTE VIII. CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS</b> .....	<b>210</b>
<b>PARTE IX. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	<b>215</b>



## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

Teniendo en cuenta que el idioma más extendido entre la literatura científica en el ámbito de ciencias del deporte es el inglés, y que los tres estudios publicados en revistas de investigación se realizaron en dicho idioma, en la presente Tesis Doctoral se ha optado por mantener los anglicismos y siglas en inglés más determinantes en nuestro campo de conocimiento. Por tanto, a continuación se expone el índice de abreviaturas, con sus términos equivalentes en español.

<b>Término inglés (Abreviatura)</b>	<b>Término en español</b>
Autocorrelation function (ACF)	Funcion de autocorrelación
Acute and chronic workload ratio (ACWR)	Relación de carga de trabajo aguda y crónica
Athlete self-report measures (ASRM)	Medidas de autoinforme del atleta
Advanced oxidation of protein products (AOPP)	Oxidación avanzada de productos proteicos
Bench press (BP)	Press banca
Cortisol (C)	Cortisol
Cross correlation function (CCF)	Funcion de correlación cruzada
Creatine kinase (CK)	Creatina quinasa
Countermovement jump (CMJ)	Salto con contramovimiento
Coefficient of variation (CV)	Coefficiente de variación
Daily analysis of life demands for athletes (DALDA)	Análisis diario de las demandas de vida de los atletas
Effect size (ES)	Tamaño del efecto
Force-Velocity (F-V)	Fuerza-Velocidad
Reduced glutathione (GSH)	Glutación reducido
Oxidized glutathione (GSSG)	Glutación oxidado
Heart rate recovery index (HRR)	Índice de recuperación de la frecuencia cardiaca

Heart rate variability (HRV)	Variabilidad de la frecuencia cardiaca
Hertz (Hz)	Hercios
Intraclass correlation coefficient (ICC)	Coefficiente de correlación intraclase
Ischemia-modified albumin (IMA)	Albúmina modificada por isquemia
Lactate dehydrogenase (LDH)	Lactato deshidrogenasa
Local positioning systems (LPS)	Sistemas de posicionamiento local
Lineal position transducers (LPT)	Transductores de posición lineal
Linear transducers (LT)	Transductores lineares
Lineal velocity transducers (LVT)	Transductores de velocidad lineal
Minimal detectable change (MDC)	Cambio mínimo detectable
Mean propulsive velocity (MPV)	Velocidad propulsiva media
Mean velocity (MV)	Velocidad media
Neuromuscular status (NMS)	Estado neuromuscular
Profile of mood states (POMS)	Perfil de estados de ánimo
Recovery-Stress questionnaire (REST-Q)	Cuestionario de Recuperación-Estrés
Repetition maximum (RM)	Repetición máxima
Rate of perceived exertion (RPE)	Índice de esfuerzo percibido
Least squares regression (R2)	Regresión de mínimos cuadrados
Standard error of measurement (SEM)	Error estándar de medición
Salivary immunoglobulin A (S-IgA)	Inmunoglobulina salival A
Testosterone (T)	Testosterona
Typical error of measurement (TEM)	Error típico de medición
Total Recovery Scale (TQR)	Escala de recuperación total
Ultra-wave band (UWB)	Banda ultra ancha
Velocity based training (VBT)	Entrenamiento basado en la velocidad

## ÍNDICE DE TABLAS

### ESTUDIO I

**Tabla 1.** Informe de la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos. *Extraído y adaptado de Moreno-Villanueva et al (2022)*

**Tabla 2.** Evaluación metodológica del riesgo de sesgo mediante la lista de verificación MINORS. *Extraído y adaptado de Moreno-Villanueva et al (2022)*

**Tabla 3.** Características de los estudios que monitorearon las cargas de trabajo en deportistas profesionales o de élite de deportes colectivos de interior. *Extraído y adaptado de Moreno-Villanueva et al (2022)*

### ESTUDIO II

**Tabla 1.** Criterios de inclusión/exclusión. *Adaptado y extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

**Tabla 2.** Evaluación metodológica de los estudios incluidos. *Adaptado y extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

**Tabla 3.** Características de los estudios. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

**Tabla 4.** Validez de los transductores lineales para la medida de la velocidad de movimiento de la barra, potencia y fuerza. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

**Tabla 5.** Fiabilidad de los transductores lineales para la medida de la velocidad de movimiento de la barra, potencia y fuerza. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

### ESTUDIO III

**Tabla 1.** Confiabilidad entre dispositivos del codificador ADR para la prueba de press banca en la máquina Smith, medida a través de MPV en protocolo de pausa y sin pausa. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

**Tabla 2.** Nivel de concordancia de los datos MPV del codificador ADR con respecto a T-Force, tanto en el protocolo de pausa como en el de no pausa, en la realización de press de banca en máquina Smith. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

### ESTUDIO IV

**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas (media y desviación estándar) para las variables CMJ, MV y MPV durante las medidas previas y posteriores.

**Tabla 2.** Resultados de la serie temporal para cada jugador y todos los jugadores utilizando la función de autocorrelación (ACF) para cada variable y la función de correlación cruzada (CCF) que relaciona las medidas pre y post.

## ÍNDICE DE FIGURAS

### ESTUDIO I

**Figure 1.** Preferred reporting item for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) flow diagram. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

### ESTUDIO II

**Figure 1.** PRISMA flow diagram. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

### ESTUDIO III

**Figura 1.** Protocolo de ejecución del ejercicio de press de banca en Máquina Smith. A la izquierda, inicio del ejercicio de press de banca. A la derecha, final del ejercicio de press de banca. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

**Figura 2.** Distribución de los codificadores ADR y dispositivos T-Force en la barra. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

**Figura 3.** Concordancia entre dispositivos en la velocidad propulsiva media (MPV) para press de banca con pausa (protocolo de pausa). La comparación entre los dispositivos ADR y T-Force se indica a la izquierda de cada línea de regresión (paneles de la izquierda). Las líneas rojas en los gráficos de Bland-Altman (paneles de la derecha) indican la delimitación de los límites de acuerdo (LoA). *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

**Figura 4.** Concordancia entre dispositivos en la velocidad propulsiva media (MPV) para press de banca sin pausa (protocolo sin pausa). La comparación entre los dispositivos ADR y T-Force se indica a la izquierda de cada línea de regresión (paneles de la izquierda). Las líneas rojas en los gráficos de Bland-Altman (paneles de la derecha) indican la delimitación de los límites de acuerdo (LoA). *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*



# PRÓLOGO

La monitorización de cargas de trabajo en deportes colectivos constituye uno de los pilares de investigación fundamentales para la optimización del rendimiento de los deportistas, procurando maximizar las adaptaciones positivas al mismo tiempo que se minimiza el riesgo de sufrir lesiones derivadas de la fatiga. Actualmente, el aumento del número de competiciones y el consiguiente número de partidos oficiales promueve un incremento significativo en el volumen y la intensidad de carga de trabajo exigida a los deportistas. Este hecho limita la capacidad de recuperación entre competiciones, aumentando la probabilidad de sufrir lesiones por sobrecarga no funcional y enfermedades, con la fatiga como principal desencadenante. Pese a que el control de cargas de trabajo ha sido ampliamente desarrollado en deportes colectivos practicados en el exterior, el análisis y la monitorización de cargas de trabajo en deportes colectivos de interior como el fútbol sala, no ha experimentado un auge significativo hasta hace un par de décadas, posibilitado por un desarrollo tecnológico en los sistemas de seguimiento electrónicos. Por consiguiente, la literatura científica sobre cómo y con qué variables identificar episodios de fatiga a corto, medio y largo plazo todavía es escasa al respecto.

Para responder esta problemática, la presente Tesis Doctoral se ha diseñado en base a cuatro estudios interrelacionados. El objetivo principal del Estudio I es analizar y conocer de forma sistemática, objetiva y rigurosa, el estado del arte acerca de las variables de monitorización de carga de trabajo interna y externa utilizadas para la identificación de episodios de fatiga en deportes colectivos de interior. El segundo de los estudios, Estudio II, pretende analizar la confiabilidad y validez de los transductores lineales (LT, por sus siglas en inglés), dispositivos que se utilizarán en el estudio de investigación práctica de la tesis (Estudio IV), en diferentes situaciones y protocolos de ejecución. Por otro lado, debido a que el transductor lineal utilizado en el trabajo de investigación práctica de la tesis (Estudio IV) fue de reciente aparición, el objetivo del Estudio III es evaluar la

confiabilidad y el nivel de concordancia del transductor ADR para medir la velocidad propulsiva media (MPV, por sus siglas en inglés) respecto a un transductor de velocidad lineal T-Force, considerado como dispositivo “estándar de oro”. Finalmente, el estudio IV tiene como objetivo determinar cuál de las pruebas de monitorización del estado neuromuscular (NMS) (salto con contramovimiento (CMJ) o sentadilla trasera con carga adicional) es la más sensible y eficaz para evaluar el estado de fatiga en jugadores de fútbol sala de nivel élite durante la pretemporada, de cara a optimizar los recursos de tiempo y dinero empleados en el control de la fatiga de los deportistas. El Estudio I, Estudio II y el Estudio III fueron publicados en revistas científicas de alto impacto, indexadas en el listado JCR (Journal Citation Reports). Las referencias de los mencionados estudios se facilitan a continuación:

Objetivo	Descripción	Estudio	Indexado	Cuartil
1, 2, 3	Revisión sistemática	Moreno-Villanueva, A., Rico-González, M., & Pino-Ortega, J. (2022). Monitoring of internal and external loads to interpret acute and chronic fatigue in indoor team sports: A systematic review. <i>International Journal of Sports Science &amp; Coaching</i> . <a href="https://doi.org/10.1177/17479541221096396">https://doi.org/10.1177/17479541221096396</a>	JCR	Q3
4, 5	Revisión sistemática	Moreno-Villanueva, A., Pino-Ortega, J., & Rico-González, M. (2021). Validity and reliability of linear position transducers and linear velocity transducers: a systematic review. <i>Sports biomechanics</i> , 1–30. Advance online publication. <a href="https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1988136">https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1988136</a>	JCR	Q2
6	Validación dispositivo de transductor de posición lineal	Moreno-Villanueva, A., Rico-González, M., Pérez-Caballero, C. E., Rodríguez-Valero, G., & Pino-Ortega, J. (2022). Level of agreement and reliability of ADR encoder to monitor mean propulsive velocity during the bench press exercise. <i>Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology</i> . <a href="https://doi.org/10.1177/17543371221100395">https://doi.org/10.1177/17543371221100395</a>	JCR	Q4
7	Análisis de test de evaluación de estado neuromuscular para identificar episodios de fatiga	-	-	-

**PARTE I.**  
**MARCO TEÓRICO**

## 1. Fatiga: Marco conceptual y clasificaciones de fatiga.

Durante las últimas décadas, la monitorización de la carga de entrenamiento en deportes colectivos ha constituido un pilar fundamental para la investigación en el control y optimización de las respuestas al entrenamiento, así como en la preparación de los deportistas para la competición (Cunniffe et al., 2010; McLellan et al., 2011a). No obstante, el desarrollo de un calendario competitivo cada vez más congestionado por el número de competiciones existentes, hace que los datos provenientes de variables de monitorización de carga física, psicológica, fisiológica y bioquímica no sólo se analicen con el fin de aumentar el rendimiento físico como hasta ahora, sino también para identificar y prevenir episodios de fatiga (Hader et al., 2019; Silva et al., 2013, 2018).

Existe terminología y taxonomía diversa sobre la definición de fatiga, debido a su dificultad de contextualizar y profundizar un parámetro tan complejo e interdependiente. Una de las definiciones más globales y contextualizadoras del concepto de fatiga puede ser la descrita por Cairó y Barbany (1990) como “un estado funcional de significación protectora, transitorio y reversible, expresión de una respuesta de índole homeostática, a través de la cual se impone de manera ineludible la necesidad de cesar o, cuanto menos, reducir la magnitud del esfuerzo o la potencia del trabajo que se está efectuando” (Cairó & Barbany, 1990). Con un grado mayor de concreción en el espectro temporal, Meeusen et al (Meeusen et al., 2013) distinguen principalmente dos tipos de fatiga patológica:

1. **Sobrecarga no funcional.** Se percibe como un estado de fatiga muy intensa, seguido de una disminución del rendimiento deportivo importante durante menos de un mes. Tras la finalización de este periodo, no existe una supercompensación del rendimiento deportivo.

**2. Sobreentrenamiento.** Es un estado muy intenso de fatiga, con una disminución en el rendimiento deportivo mayor a un mes.

Por otro lado, algunos autores distinguieron con mayor profundidad temporal la fatiga, dividiéndola en tres tipos definidos como (Hader et al., 2019; Silva et al., 2018):

- 1. Fatiga aguda.** Ocurre durante y/o después de una sesión intensa de ejercicios, entrenamiento o competición que excede el nivel de tolerancia al esfuerzo de un músculo. Suele estar acompañada de lesión del tejido muscular, afectando solamente a los músculos involucrados en el ejercicio. Dependiendo de la intensidad, puede manifestarse entre las 8 y 72 horas siguientes.
- 2. Fatiga residual.** Ocurre después de uno o varios microciclos de carga, cuando el esfuerzo se ha producido a una intensidad más elevada a lo adaptado por el sujeto, con relativamente pocas sesiones de regeneración.
- 3. Fatiga crónica.** Se produce como resultado de un largo e intenso proceso de entrenamiento que ocasiona un estado permanente de fatiga, que lleva al sobreentrenamiento. Aparece transcurridos varios microciclos en los que la relación entrenamiento-competición y recuperación se va desequilibrando, ocasionando un cuadro sistémico de fatiga que siempre conlleva la caída del rendimiento. A diferencia de la fatiga residual, este tipo de fatiga siempre es global, con una duración y gravedad de los síntomas mucho mayor.

Debido a la multidimensionalidad de la fatiga, otros autores han centrado sus esfuerzos en definir la fatiga dependiendo el lugar de aparición (Ascensão et al., 2003; Mesa, 2020). De este modo, la fatiga puede clasificarse en:

- 1. Fatiga central.** Cuando la causa del deterioro de la contracción muscular está por encima de la placa motora, afectando a una o varias de las estructuras nerviosas involucradas en la producción, mantenimiento o control de la contracción muscular.
- 2. Fatiga periférica.** Los mecanismos que deterioran la contracción muscular afectan a las distintas estructuras contráctiles, situadas por debajo de la placa motora.

En definitiva, la fatiga es un fenómeno complejo y multifacético que tiene una variedad de posibles mecanismos desencadenantes (Halson, 2014). Esto se hace especialmente relevante en deportes colectivos de interior como el fútbol sala, donde tanto la naturaleza del deporte (esfuerzos de alta intensidad repetidos en poco espacio de tiempo, tales como sprints máximos) como la congestión del calendario competitivo en circunstancias ocasionales (2-3 encuentros por semana) generan acumulación excesiva de cargas de trabajo. Este hecho puede llegar a provocar desajustes funcionales a nivel físico, psicológico, fisiológico, neuromuscular y bioquímico. Por lo tanto, se requiere un análisis multidisciplinario que involucre la integración de diferentes mecanismos de monitoreo y control de carga, tanto de carácter externo como interno, que contribuya a identificar y/o prevenir la aparición de cuadros de fatiga perjudiciales para los deportistas. En este sentido, existen dos grupos principales de clasificación de la carga de trabajo, que serán definidos en la siguiente sección (Vanrenterghem et al., 2017): Carga de trabajo externa e interna.

## **2. De la monitorización de la carga a los indicadores de fatiga**

### **2.1. Monitorización de variables de carga externa e indicadores de fatiga**

#### **2.1.1. Sistemas de seguimiento electrónico para la identificación de episodios de fatiga.**

La carga externa manifiesta las demandas físicas derivadas de un estímulo externo sobre el deportista (Ferreira et al., 2021). Tradicionalmente, se han utilizado dispositivos de seguimiento electrónico para evaluar parámetros de rendimiento externo mecánicos (aceleraciones, desaceleraciones, saltos...) y cinemáticos (sprints, velocidad máxima, distancia recorrida...) derivados de los resultados de competición (Ribeiro et al., 2020). Inicialmente, estos parámetros se obtenían a través de sistemas de grabación en vídeo (también denominado “videotracking”), permitiendo una creación de perfiles de actividad de los jugadores, así como actividades de partido como tiros y pases exitosos y posesión del balón (Bangsbo et al., 1991; Dođramaci et al., 2015; Rebelo et al., 2011). Posteriormente, con el fin de optimizar el análisis en términos de tiempo y eficacia (eliminando posibles errores humanos), se han ido desarrollando sistemas de reconocimiento por procesamiento de imágenes semi-automáticos (Morais et al., 2014). Estos sistemas utilizan algoritmos para detectar jugadores en cada cámara y, con retroproyección mapean su posición en las coordenadas de la cancha, realizando el seguimiento de los jugadores mediante el análisis de grabaciones de video (Morais et al., 2014; Vieira et al., 2017). No obstante, la complejidad de una modalidad deportiva altamente dinámica, en un espacio de juego pequeño acorde al número de jugadores implicados, hace que el seguimiento de los jugadores sea todavía un desafío para los algoritmos desarrollados hasta el momento, limitando la automatización completa de este tipo de sistemas de seguimiento (Morais et al., 2014). Teniendo en cuenta esta problemática, en la última década se han desarrollado sistemas de posicionamiento local



(LPS, por sus siglas en inglés). Estos sistemas, dotados de un sistema de antenas que se colocan en la instalación deportiva, determinan la posición de los jugadores en el terreno de juego. La tecnología mas empleada es la banda ultra ancha (UWB, por sus siglas en inglés) (Bastida-Castillo et al., 2019; Rico-González, Los Arcos, Rojas-Valverde, et al., 2020), que permite analizar variables cinemáticas y tácticas de los jugadores en deportes de interior como fútbol sala (Ribeiro et al., 2020; Serpiello et al., 2018), con una validez y precisión ampliamente demostrada (Bastida-Castillo et al., 2019). Así mismo, a estos dispositivos también se les puede complementar con el registro de datos mediante la integración de sensores externos, y mediante tecnología inalámbrica se envían al dispositivo, sincronizándose con el resto de datos. Un ejemplo sería el registro de la frecuencia cardiaca (García-Santos et al., 2019; Poureghbali et al., 2020; Reina Román et al., 2018).

Sin embargo, pese al considerable avance tecnológico de los sistemas de seguimiento electrónico, todavía no es posible establecer un sistema de detección de fatiga casi instantáneo que permita tomar decisiones relevantes durante un partido de fútbol sala, caracterizado por un gran dinamismo en el número de sustituciones y ritmo de juego. Además, los pocos resultados de rendimiento externo al respecto suelen utilizarse para análisis del rendimiento de los deportistas y posterior planificación de las cargas de entrenamiento, no tanto para la identificación y predicción de episodios de fatiga. Por lo tanto, la identificación de la fatiga debería desarrollarse a través de test de rendimiento físico adaptados a las condiciones físicas y fisiológicas de cada modalidad deportiva, a través de dispositivos altamente válidos y confiables para tal fin.

### **2.1.2. Test de rendimiento físico orientados a identificación de episodios de fatiga.**

Paralelamente, el desarrollo y realización de test de rendimiento físico para analizar el estado neuromuscular (NMS, por sus siglas en inglés) de los deportistas supone una alternativa más aproximada a las exigencias físicas de un deporte en concreto, pudiendo identificar con mayor precisión y eficacia el grado de fatiga de los jugadores, sin necesidad de consumir grandes periodos de tiempo. En el caso del fútbol sala, la altura de salto con contramovimiento (CMJ, por sus siglas en inglés) ha sido una variable ampliamente utilizada para monitorizar el NMS de los deportistas, dada su validez (Claudino et al., 2017) y fiabilidad (Cormack et al., 2008) asociadas con la aplicación de acciones explosivas propias del fútbol sala, tales como sprints, cambios de dirección y saltos (Gathercole et al., 2015). Comúnmente, la altura de salto de CMJ suele medirse a través de las plataformas de salto, consideradas como uno de los dispositivos “estándar de oro”, o por plataformas de contacto, dispositivos a priori más económicos, fácilmente transportables, con una validez y fiabilidad ampliamente demostrada (Mundy et al., 2016; Petridis et al., 2019; Tsolakis & Bogdanis, 2012). Sin embargo, las pruebas de CMJ requieren la aplicación de protocolos de actuación que pueden consumir mucho tiempo para el entrenamiento, ya que no están integrados en ningún programa de entrenamiento específico (Twist et al., 2012). Por tanto, la búsqueda de un método alternativo de monitorización del NMS que pueda integrarse en una sesión de entrenamiento (p. ej., dentro de una sesión de entrenamiento de fuerza específica) puede redundar en una mayor optimización de dicha sesión, tanto en términos de tiempo como de calidad de la misma. En este sentido, la realización de una sentadilla trasera cargada está constituyendo una alternativa práctica, fácil de materializar y económica respecto al CMJ.

Estudios previos han reportado una fuerte correlación negativa entre la velocidad de ejecución de sentadilla trasera cargada y las cargas relativas basadas en una repetición máxima (1RM) (Banyard, Nosaka, & Haff, 2017; García-Ramos, Torrejón, Feriche, Morales-Artacho, Pérez-Castilla, et al., 2018). Además, al conocer el perfil de fuerza-velocidad de un atleta, es posible determinar la pérdida de velocidad asociada con una carga dada (entre 60-90% de 1RM) (Mora-Custodio et al., 2018; Sánchez-Medina et al., 2017) después del entrenamiento o eventos competitivos (Callaghan et al., 2021). Por lo tanto, la pérdida de MPV de la barra durante la realización de una sentadilla trasera cargada se puede utilizar para evaluar los cambios en el NMS después de los episodios de fatiga (Sánchez-Medina et al., 2017; Vernon et al., 2020). Además, investigaciones previas han sugerido que la realización de una sentadilla trasera cargada puede constituir un test de rendimiento físico que refleja de forma más aproximada las exigencias neuromusculares derivadas de la práctica del fútbol sala respecto al CMJ. En este sentido, la naturaleza biomecánica de la sentadilla trasera con carga hace posible que las demandas físicas se centren en los músculos cuádriceps y gastrocnemio (Choe et al., 2021), los principales músculos fatigados en fútbol sala (Hewit et al., 2011), mientras que en la realización del CMJ, los participantes pueden adaptar la profundidad de flexión de la rodilla para ayudarse de otros grupos musculares de la cadena posterior (Callaghan et al., 2021; Linthorne, 2021).

### **2.1.3. Utilización de encoders para monitorización de carga externa e identificación de episodios de fatiga.**

El análisis y monitorización de la MPV de desplazamiento de la barra en sentadilla trasera cargada puede llevarse a cabo a través de LT o encoders. En las dos últimas décadas, estos dispositivos han sido objeto de estudio para verificar su validez y fiabilidad para la medición de la velocidad de desplazamiento en ejercicios de resistencia, demostrando ser una alternativa práctica y asequible a las plataformas de fuerza y los sistemas de captura de movimiento tridimensional (3D). Dentro de los LT, los transductores de posición lineal (LPT, por sus siglas en inglés) consisten en un dinamómetro isoinercial con un cable que generalmente está conectado a la barra y mide directamente el desplazamiento vertical del cable, derivando el tiempo de desplazamiento utilizando el enfoque de dinámica inversa para obtener la velocidad (Harris et al., 2010; Pérez-Castilla et al., 2019).

No obstante, existen ciertos factores limitantes de naturaleza tecnológica y biológica de los LT que pueden alterar los datos de velocidad resultantes, y que conviene tener presentes (Moreno-Villanueva et al., 2021; J. Weakley et al., 2021). De este modo, se aumenta la probabilidad de minimizar los errores de medición derivados de los factores limitantes de origen biológico, al mismo tiempo que se favorece una interpretación y análisis de los datos de la manera más cautelosa, precisa y rigurosa posible.

Parece que la naturaleza de acción de los LT, que implica el desplazamiento de un cable cuya velocidad se mide a través de un rayo láser, puede limitar este tipo de dispositivos a la hora de detectar el inicio real de la fase concéntrica del movimiento, comúnmente utilizada para seguimiento y prescripción de entrenamiento basado en la velocidad (VBT, por sus siglas en inglés) (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017;

Swinton et al., 2011, 2012). Este factor aumenta el riesgo de sumar puntos temporales anteriores al inicio real de la fase concéntrica en el cálculo de los datos de velocidad, obteniendo resultados ligeramente alterados (Hori et al., 2006; Linthorne, 2001). Como consecuencia directa, parecen registrarse mayores errores en la variación y la medición de los resultados en las variables que trataron los valores de velocidad media (MV, por sus siglas en inglés) con respecto a los valores pico, como refleja una amplia gama de investigaciones previas (Courel-Ibáñez et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Grgic et al., 2020; Martínez-Cava et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2017; Thompson et al., 2020). Por lo tanto, se recomienda utilizar los valores máximos para la prescripción de VBT a través de LT, ya que son menos dependientes de la suma de puntos de tiempo anteriores (Hori et al., 2006; Linthorne, 2001). Además, la frecuencia de muestreo (la cantidad de datos reportados por segundo y expresados en Hercios (Hz) (Rico-González, Los Arcos, Nakamura, et al., 2020)) puede actuar como un factor catalizador, incrementando los errores derivados de la detección del inicio de la fase concéntrica del movimiento. En este sentido, parece que cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo, más puntos de tiempo previos al inicio real de la fase concéntrica se incluirán en los cálculos de velocidad y, por lo tanto, aumentarán los errores de medición (Hori et al., 2006; Linthorne, 2001). Por otro lado, los métodos utilizados por cada dispositivo según su naturaleza (es decir, LPT o LVT) para el cálculo de las variables de velocidad y parámetros derivados pueden constituir un factor diferencial en la calidad de los resultados obtenidos (Courel-Ibáñez et al., 2019; Harris et al., 2010; McMaster et al., 2014; Sánchez-Medina et al., 2017). Diversos autores han determinado que cuantos más cálculos matemáticos se deban realizar para calcular algunas variables de manera indirecta, mayor será la pérdida de datos, con su consecuente impacto en la precisión de los resultados (Pérez-Castilla et al., 2019; Sánchez-Medina et al., 2017). En este sentido, parece que los LVT, que ofrecen un

cálculo de velocidad directamente, pueden proporcionar datos más precisos que los dispositivos LPT, con un cálculo de velocidad indirecto (por proceso de derivación de datos de desplazamiento de cable) (Moreno-Villanueva et al., 2021). Como consecuencia directa, la calidad del resto de las variables derivadas de los datos de velocidad (es decir, fuerza y potencia) también se verá afectada dependiendo de la naturaleza del LT.

En cuanto a los factores limitantes de naturaleza biológica, el modo de ejecución de los ejercicios de fuerza dentro del protocolo de intervención de VBT parece ser un factor determinante en la obtención de resultados válidos y fiables. En este sentido, aquellos protocolos de ejecución técnica precedidos de una pausa isométrica de 0,5 - 1,5 segundos previo al inicio de la fase muscular concéntrica ofrecen valores de validez y fiabilidad superiores (Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Garnacho-Castaño et al., 2015; McGrath, 2018; Mitter et al., 2019) frente a ejercicios sin presencia de pausa isométrica previa (Askow et al., 2018; Fernandes et al., 2018; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020). Además, el plano en el que se realizan los ejercicios también es un factor que influye de manera crucial en los resultados de velocidad obtenidos (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017; Swinton et al., 2011, 2012). Por ejemplo, Thompson et al (Thompson et al., 2020) y Orange et al (Orange et al., 2020) registraron mayores variaciones y márgenes de error ( $CV = 2,9 - 22\%$ ;  $SEM = 0,03 - 0,09$  m/s;  $TEM = 0,02 - 0,15$  m/s) durante la realización de una sentadilla trasera en el plano 3D (es decir, peso libre) que el estudio de Fernandes et al (Fernandes et al., 2018) ( $CV = 1,6 - 11,2\%$ ), donde el mismo ejercicio fue desarrollado con un protocolo de ejecución idéntico, pero realizado en el plano 2D (es decir, máquina Smith) para el mismo ejercicio con un protocolo de ejecución idéntico a los anteriores. Estas mayores variaciones pueden deberse a la alteración de los momentos articulares y velocidades angulares inducidos por la aplicación de una carga (Kellis et al., 2005; Kristiansen et al.,

2019; Thompson et al., 2020), que junto con la dependencia de un cable que debe mantenerse alineado con el plano vertical, produce un aumento en los errores de medición (Moreno-Villanueva et al., 2021). Por otro lado, algunos estudios sugieren que el carácter explosivo en la ejecución de los ejercicios pliométricos, así como la realización de ejercicios por debajo del 30% de 1RM, puede maximizar los errores de medición de los parámetros de velocidad en cuanto a la capacidad de detectar el inicio real de la fase concéntrica (Crewther et al., 2011; Jennings et al., 2005; Orange et al., 2020). Sin embargo, existe escasez de literatura científica al respecto, por lo que futuras investigaciones deberían analizar y corroborar esta idea. En definitiva, parece que la realización de ejercicios no pliométricos, desarrollados en el plano 2D, con la presencia de una pausa isométrica previa al inicio de la contracción concéntrica a analizar, puede ayudar a minimizar considerablemente los errores de medición derivados de factores de naturaleza biológica (Moreno-Villanueva et al., 2021).

## **2.2. Monitorización de variables de carga interna e indicadores de fatiga**

### **2.2.1. Variables subjetivas de carga interna.**

La carga interna constituye la respuesta psicobiológica a los estímulos impuestos por la carga externa, y puede cuantificarse tanto objetiva como subjetivamente (Buchheit et al., 2012). El índice del esfuerzo percibido (RPE, por sus siglas en inglés) es uno de los medios más comunes para evaluar la carga interna y, por tanto, puede ser un elemento interesante para interpretar estados de fatiga. No obstante, un metaanálisis de la literatura concluyó que, si bien el RPE es un medio válido para evaluar la intensidad del ejercicio, la validez puede no ser tan alta como se pensaba anteriormente en ejercicios acíclicos de alta intensidad y corta duración, como el fútbol sala (Chen et al., 2002). Como alternativa, encuestas recientes sobre el control de la fatiga en el deporte de alto rendimiento demuestran que las medidas de autoinforme del atleta (ASRM, por sus siglas en inglés) se utilizan ampliamente para evaluar el bienestar general de los atletas de deportes de equipo. (Thorpe et al., 2017). Una revisión reciente destacó que ASRM demuestra una mayor sensibilidad a las cargas de entrenamiento agudas y crónicas que las medidas objetivas comúnmente utilizadas, aunque esta hipótesis debería corroborarse con mayor rigurosidad en el ámbito del fútbol sala (Saw et al., 2016). Actualmente existe una plétora de ASRM, como el POMS (Profile of Mood States, por su terminología en inglés) (Buchheit, 2015; Raglin & Morgan, 1994), DALDA (Daily Analysis of Life Demands for Athletes, por su terminología en inglés) (A. J. Coutts, Slattery, et al., 2007), TQR (Total Recovery Scale, por su terminología en inglés) (Kenttä & Hassmén, 1998), y REST-Q (Recovery-Stress Questionnaire, por su terminología en inglés) (A. J. Coutts & Reaburn, 2008; Kellmann, 2010) que han sido ampliamente documentados en la literatura. Sin embargo, muchos de estos cuestionarios son a menudo extensos y requieren



mucho tiempo para evitar su uso diario con un gran número de atletas de equipo. Además, el carácter subjetivo de los diarios hace necesario corroborar con datos fisiológicos (Borresen & Lambert, 2009), ya que es posible que los atletas manipulen los datos y/o sobreestimen o subestimen la carga de entrenamiento.

## **2.2.2. Variables objetivas de carga interna.**

### **2.2.2.1. Variables fisiológicas.**

En cuanto a los índices de monitorización de la carga interna de carácter objetivo, las variables derivadas de la frecuencia cardiaca, como la frecuencia cardiaca submáxima, la variabilidad de la frecuencia cardiaca (HRV, por sus siglas en inglés) y el índice de recuperación de la frecuencia cardiaca (HRR, por sus siglas en inglés) son las más ampliamente utilizadas para el análisis del estado de fatiga en jugadores de deportes de equipo. Las disminuciones en la frecuencia cardiaca submáxima durante series de ejercicios estandarizados se han asociado tradicionalmente con aumentos en la capacidad aeróbica, aunque también pueden constituir un síntoma de sobreentrenamiento derivado por episodios sucesivos de fatiga excesiva (Billat et al., 1999; Kiss et al., 2016). No obstante, estas conclusiones son inconsistentes y poco claras por sí solas, ya que estos resultados también pueden darse por otros factores, como cambios en el volumen plasmático derivados de condiciones ambientales (Buchheit, 2014; Le Meur, Hausswirth, et al., 2013; Le Meur, Pichon, et al., 2013), hiperactivación del sistema nervioso parasimpático (Buchheit, 2014; Le Meur, Hausswirth, et al., 2013; Le Meur, Pichon, et al., 2013) o debido a adaptaciones positivas al entrenamiento (Thorpe et al., 2016). Por otro lado, los parámetros vagales de la HRV han recibido una atención creciente debido a su mayor confiabilidad y captura de evaluación en períodos cortos de tiempo respecto

a la frecuencia cardiaca submáxima (Al Haddad et al., 2011; Esco & Flatt, 2014). Se ha sugerido que la medición de la HRV en reposo o después del ejercicio indica adaptaciones tanto positivas como negativas al entrenamiento (Plews et al., 2013). Sin embargo, la escasez de literatura en deportes colectivos, los diversos enfoques metodológicos empleados, así como la alta variabilidad día a día en los factores ambientales y homeostáticos, han resultado en hallazgos inconsistentes en la literatura científica (Plews et al., 2013). Para superar algunas de estas inconsistencias, se ha sugerido que los promedios móviles semanales y de 7 días tienen mayor validez que las mediciones de un solo día (Plews et al., 2012). Por último, hallazgos recientes en deportes de resistencia han demostrado que la HRR puede servir como un marcador sensible de la alteración de la carga de entrenamiento aguda (Portier et al., 2001; Shetler et al., 2001), aunque esta asociación aún no se ha visto en los deportes colectivos de interior (Plews et al., 2012; Snyder et al., 1993).

#### **2.2.2.2. Variables bioquímicas, hormonales e inmunológicas.**

Se ha llevado a cabo una cantidad relativamente grande de investigaciones que examinan una variedad de respuestas bioquímicas, hormonales e inmunológicas al ejercicio, principalmente en un intento por monitorear la fatiga, así como minimizar la fatiga excesiva y la enfermedad (Halsón, 2014).

La actividad de la creatina quinasa (CK, por sus siglas en inglés) sérica y la lactato deshidrogenasa (LDH, por sus siglas en inglés) son a menudo medidas populares como marcadores de daño muscular debido a la simplicidad de la recolección y el análisis de muestras (Halsón, 2014). Investigaciones previas sugieren que los niveles de CK entre 200 y 250 u/l se consideran valores normales (Hartmann & Mester, 2000), mientras que valores superiores a 500 u/l pueden indicar la presencia de daño muscular (Martínez-

Amat et al., 2005). Por el contrario, actualmente no hay rangos de estimación para los valores de LDH. En una revisión sistemática sobre monitorización de cargas de entrenamiento en deportes colectivos indoor, los valores de CK y LDH se mostraron capaces de identificar períodos de alta carga física, como el final de la pretemporada y el periodo competitivo (PC) (Barcelos et al., 2017; Horta et al., 2019; Marin et al., 2013; Miloski et al., 2016). Estos datos están respaldados por las correlaciones encontradas entre CK y RPE semanal ( $r = 32$ ), aunque se requiere más investigación para confirmar este hallazgo. Sin embargo, los valores de CK y LDH deben interpretarse con cautela, ya que se ha demostrado que la CK alcanza su estado pico a los 5-7 días del esfuerzo físico a medir, por lo que la magnitud de los datos depende de una relación muy estrecha con el momento en el que se tomaron las muestras, así como la periodización de la carga realizada en la semana anterior (Clarkson & Hubal, 2002). Además, la variabilidad de estas medidas es muy alta y existe una pobre relación temporal con la recuperación muscular (Twist & Highton, 2013).

Por otro lado, se ha demostrado que las medidas de cortisol (C) y testosterona (T) salival tienen alguna relación con el rendimiento en el atleta sobrecargado. La variabilidad de los resultados reportados por una revisión sistemática reciente (Moreno-Villanueva et al., 2022) refuerza las hipótesis formuladas por investigaciones previas, que indicaban la variedad en los valores de los marcadores de T, C y la ratio T/C según el período analizado y el tipo de modalidad deportiva (A. Coutts et al., 2007; Filaire et al., 2001; Freitas et al., 2014). Mientras que algunos autores postulan la T y el C como indicadores de fatiga en deportes colectivos de forma individual (Córdova et al., 2004; Hoffman et al., 1999; Maso et al., 2004; Miloski et al., 2016), la multitud de factores implicados en la respuesta de estas hormonas hace imprescindible investigar la relación entre ambos parámetros a través de la ratio T/C (Martínez et al., 2010; Vervoorn et al., 1991; Viru

et al., 2001). De esta forma, se permite una interpretación más precisa y completa de los datos, sabiendo si existe un equilibrio entre los procesos anabólicos y catabólicos, y en caso de localizar desequilibrios, en qué dirección se producen (Martínez et al., 2010; Vervoorn et al., 1991; Viru et al., 2001). Sin embargo, este parámetro no debe interpretarse de forma aislada, ya que la información que proporciona por sí sola es incompleta. Por ejemplo, un balance positivo puede estar determinado por un mayor aumento de los niveles de T, una disminución de los niveles de C o ambos, lo que puede indicar una adecuada recuperación post esfuerzo, pero también una carga de entrenamiento insuficiente o incluso un estado de sobreentrenamiento, respectivamente (Brownlee et al., 2005; Hoffman et al., 1999). Por lo tanto, la interpretación de los datos de estas variables debe estar respaldada por otros parámetros de monitoreo de carga.

Como alternativa a los parámetros anteriores, la inmunoglobulina A salival (S-IgA, por sus siglas en inglés) se ha convertido en un medio popular para evaluar la inmunidad de la mucosa en los atletas mediante el uso de dispositivos de flujo lateral en tiempo real (Rico-González, Clemente, et al., 2021). La IgA es uno de los principales anticuerpos activos en la defensa contra agentes infecciosos. La IgA actúa como primera línea de defensa, inhibiendo la adhesión bacteriana y viral a las células epiteliales y neutralizando las toxinas bacterianas y los virus (Lamm, 1997). En particular, la IgA secretora juega un papel determinante en las superficies mucosas (por ejemplo, el tracto respiratorio), lo que es determinante para combatir la entrada de muchos patógenos (Lamm et al., 1995; Underdown & Schiff, 1986). A pesar de la gran variabilidad intra e interindividual de los niveles de IgA en atletas (Neville et al., 2008), la SIgA parece ser un resultado efectivo para controlar el riesgo de desarrollar infecciones del tracto respiratorio en atletas (Keaney et al., 2018). Se ha sugerido que la disminución de la concentración de SIgA puede actuar como un marcador de entrenamiento excesivo (Rico-

González, Clemente, et al., 2021; Rico-González, Pino-Ortega, Clemente, & Bustamante-Hernández, 2021). No obstante, los valores de SIgA son altamente sensibles al tipo de ejercicio realizado, la carga de entrenamiento y el estado nutricional de los sujetos (Moreira et al., 2011). En este sentido, la escasa literatura de SIgA en el ámbito del fútbol sala hace que se deban interpretar los resultados derivados de dicho parámetro con cautela.

Por último, está bien establecido que el ejercicio intenso aumenta la producción de radicales libres, lo que puede conducir a una condición fisiopatológica conocida como estrés oxidativo (Nikolaidis et al., 2006; Veskoukis et al., 2008) que se ha implicado en el daño oxidativo de las macromoléculas (p. Ej., lípidos, proteínas y ADN) (Mylonas & Kouretas, 1999), disfunción inmunológica (Schneider & Tiidus, 2007), daño muscular (Nikolaidis et al., 2007) y fatiga (Meeus et al., 2013). Además, otros estudios han indicado la inducción de estrés oxidativo en atletas de deportes colectivos de élite como el fútbol sala durante el transcurso de una temporada deportiva, particularmente en períodos de competencia intensa (Finaud et al., 2006; Schippinger et al., 2009). En esta línea, se han estudiado nuevos y específicos marcadores de estrés oxidativo e inflamación en escenarios deportivos, como la albúmina modificada por isquemia sérica (IMA, por sus siglas en inglés), un marcador de isquemia y necrosis miocárdica relacionada con la inflamación (Apple et al., 2002; Lippi et al., 2008; Scharhag et al., 2008), y oxidación avanzada de productos proteicos (AOPP, por sus siglas en inglés), un potente marcador sistémico del estrés oxidativo (Farinha et al., 2015; Martinovic et al., 2009; Pialoux et al., 2010). También se ha demostrado que el sobreentrenamiento da como resultado una respuesta significativa de marcadores de estrés oxidativo, como concentraciones de glutatión reducido (GSH, por sus siglas en inglés) y oxidado (GSSG, por sus siglas en inglés) (Margonis et al., 2007).

La naturaleza poco práctica y el costo de las muestras individuales pueden explicar los datos limitados que evalúan las medidas bioquímicas, hormonales e inmunológicas durante períodos prolongados de entrenamiento y competencia en deportes colectivos. No obstante, la proliferación de este tipo de estudios puede ayudar a comprender de forma más completa, precisa y rigurosa los diferentes estados de fatiga de los deportistas, pudiendo desarrollar las medidas de mitigación y prevención oportunas más adecuadas a la condición de cada sujeto.

La importancia de un seguimiento adecuado de las cargas de entrenamiento y competición es destacable, teniendo en cuenta que las temporadas de deportes colectivos de interior a menudo se componen de semanas congestionadas con dos o tres partidos oficiales (Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019; Thorpe et al., 2017). Por tanto, una adecuada interpretación de los resultados de la carga de trabajo es fundamental para ayudar a conocer el nivel de adaptación de los deportistas, minimizando el riesgo de excesos no funcionales, lesiones o enfermedades, promovidas por la acumulación de fatiga (Halson, 2014). Hasta la fecha, no existe una revisión sistemática que analice los parámetros de carga interna y externa como herramienta para monitorear la fatiga, y las únicas revisiones que existen son aplicadas al fútbol (Miguel et al., 2021; Teixeira et al., 2021), con demandas físicas y fisiológicas diferentes a las presentes en deportes de equipo de interior (de Alcaraz et al., 2017; Ribeiro et al., 2020; Scanlan et al., 2015; Wik et al., 2017).

**PARTE II**

**OBJETIVOS DE LA**

**INVESTIGACIÓN**

## **OBJETIVOS GENERALES**

Ante esta problemática, los objetivos de esta Tesis Doctoral son múltiples, y se abordan en diferentes estudios, de naturaleza tanto teórica como práctica y complementarios entre sí, favoreciendo una progresión del proyecto lógica, objetiva y rigurosa.

Las revisiones sistemáticas (Estudio I y Estudio II) se realizaron con el fin de dotar a los investigadores y profesionales de la actividad física y el deporte de unos conocimientos científicos y técnicos organizados de forma sistemática y objetiva, para aplicarlos de la forma más adecuada posible a los objetivos de una determinada dimensión práctica. De este modo, el Estudio I se centra en analizar qué variables son las más empleadas para la monitorización de cargas de trabajo internas y externas, y cómo se utilizan para identificar episodios de fatiga a corto, medio y largo plazo. Por su parte, el Estudio II trata de organizar y simplificar toda la información referente a los LT, tratando de analizar el grado de validez y fiabilidad ante diferentes protocolos de ejecución.

Por otro lado, el Estudio III analizará la calidad del dato, en términos de grado de acuerdo y fiabilidad, del LPT ADR encoder que se utilizará posteriormente en la investigación práctica (Estudio IV), tomando como dispositivo “estándar de oro” el LVT T-Force. Dicho análisis se realizó minimizando al máximo los factores limitantes de origen biológico en el protocolo de intervención, atendiendo a las conclusiones previas extraídas del Estudio II.

Una vez conocida la calidad de las mediciones del ADR encoder, en el estudio IV se realizarán dos test de rendimiento: (1) un test de CMJ (ampliamente utilizado en el control de la fatiga) medido a través de una plataforma de salto y (2) un test de sentadilla trasera cargada medido a través del ADR encoder. El objetivo será analizar cual de los



dos test es más sensible y eficaz para evaluar el estado de fatiga, específicamente en los jugadores de fútbol sala de nivel élite durante la pretemporada. Las conclusiones extraídas de este estudio puede ayudar a los entrenadores de fuerza y acondicionamiento a monitorear el NMS e identificar episodios de fatiga aguda y crónica en atletas de una forma válida y confiable, a través de un procedimiento no invasivo y excesivamente fatigante, a través de LTs, fácilmente transportables y más baratos que las plataformas de fuerza y de salto comúnmente utilizadas.

Estos objetivos se presentan a continuación de forma más concreta.

- i. Analizar cómo la periodización de cargas de trabajo puede inducir estados de fatiga aguda, sub-aguda y/o crónica en deportes colectivos de interior.
- ii. Identificar los periodos de la temporada potencialmente más fatigantes en deportistas de nivel élite de deportes colectivos de interior.
- iii. Identificar estos períodos de fatiga a través de la interpretación de variables de rendimiento internas y externas.
- iv. Conocer y analizar el grado de validez y fiabilidad de los LT en ejercicios de diferente naturaleza, en diferentes modos y planos de ejecución.
- v. Sintetizar y analizar críticamente los factores tecnológicos y biológicos que influyen en los errores de medición de los dispositivos LT, para la monitorización de VBT.
- vi. Evaluar la confiabilidad y el nivel de concordancia del LPT ADR encoder para medir la MPV de la barra en la máquina Smith, con pausa isométrica previa al inicio de la máxima velocidad concéntrica.

- vii. Determinar cuál de las pruebas de monitorización del NMS (CMJ o sentadilla trasera con carga adicional) es la más sensible y eficaz para evaluar el estado de fatiga en los jugadores de fútbol sala durante la pretemporada.

**PARTE III**  
**(ESTUDIO 1)**

## ESTUDIO I

### *Monitoreo de cargas internas y externas para interpretar la fatiga aguda y crónica en deportes de equipo bajo techo: una revisión sistemática.*

Los objetivos de este estudio fueron: (1) analizar cómo la periodización de cargas de trabajo puede inducir estados de fatiga acumulada a corto, medio y largo plazo en deportes colectivos de interior y (2) identificar estos períodos de fatiga a través de variables de control de carga de trabajo internas y externas. Esta revisión sistemática se llevó a cabo bajo las directrices PRISMA. Se realizaron búsquedas en las bases de datos de Web of Science, PubMed y Scopus en busca de estudios publicados relevantes entre el 1 de enero de 2010 y el 25 de abril de 2021. Se utilizaron la escala STROBE y la lista de verificación MINORS para evaluar el riesgo de sesgo metodológico y de informe, respectivamente. De los 2219 estudios identificados inicialmente, 20 fueron seleccionados para una revisión completa. Las principales conclusiones fueron que es necesaria una evaluación periódica e integradora de variables de seguimiento de diferente naturaleza para identificar estados de fatiga con precisión y rigurosidad. El final de los periodos preparatorios (PPs) y la segunda fase de los periodos competitivos (PCs) parecen ser los momentos más agotadores de la temporada (valores elevados de RPE, CK, LDH y marcadores de estrés oxidativo, y disminución de la ratio T/C). Específicamente, las semanas congestionadas promueven el desarrollo de altos niveles de fatiga aguda y subaguda (altos niveles de DOMS y fatiga junto con bajos niveles de RPE). Por ello, se recomienda extender la duración de la pretemporada y la implementación de días de recuperación más activos durante las semanas congestionadas, con el fin de mejorar la resistencia a la fatiga aguda y subaguda, y así evitar llegar a un estado de sobreentrenamiento.

## STUDY I

### *Monitoring of internal and external loads to interpret acute and chronic fatigue in indoor team sports: A systematic review*

The aims of this study were: (1) to analyze how the periodization of workloads can induce states of accumulated fatigue in the short, medium and long term in indoor team sports and (2) to identify these periods of fatigue through the interpretation internal and external performance variables. This systematic review was carried out under PRISMA guidelines. The Web of Science, PubMed and Scopus databases were searched for relevant published studies between 1st January 2010 and 25th April 2021. The STROBE scale and MINORS checklist were used to assess the reporting and methodological risk of bias, respectively. Of the 2219 studies initially identified, 20 were selected for a full review. The main conclusions were that a periodic and integrative evaluation of monitoring variables of a different nature is needed to identify states of fatigue accurately and rigorously. The end of the preparatory periods (PPs) and the second phase of the competitive periods (CPs) seem to be the most exhausting moments of the season (high values of RPE, CK, LDH, and oxidative stress markers, and decrease in the T/C ratio). Specifically, congested weeks promote the development of high levels of acute and subacute fatigue (high levels of DOMS and fatigue along with low levels of RPE). Therefore, it is recommended to extend the duration of the preseason and the implementation of more active recovery days during congested weeks, in order to improve resistance to acute and subacute fatigue, and therefore avoid reaching a state of overtraining.

## INTRODUCCIÓN

El estrés derivado del entrenamiento y la competición puede provocar disminuciones temporales del rendimiento físico debido a la acumulación de fatiga (Cunniffe et al., 2010; McLellan et al., 2011a), entendiendo fatiga como la disminución de la función psicológica y fisiológica previa al partido/línea de base del deportista (Allen et al., 2008). Como consecuencia, estas disminuciones pueden conducir a un aumento del daño muscular (McLellan et al., 2011b), deterioro del sistema inmunológico (Cunniffe et al., 2010), desequilibrios en la homeostasis catabólica/anabólica (McLellan et al., 2010), estado de ánimo alterado (Cunniffe et al., 2009; West et al., 2014) y función neuromuscular reducida (McLellan et al., 2011a; West et al., 2014). Dependiendo del grado de fatiga acumulada resultante (fatiga aguda (menos de 3h post-esfuerzo), subaguda (todavía evidente entre 1 y 4 semanas) o fatiga crónica (todavía evidente hasta 4 semanas después del esfuerzo) (Hader et al., 2019; Silva et al., 2013, 2018), el tiempo de recuperación necesario para restaurar los valores de referencia después de una carga de trabajo puede ser de hasta 5 días (Gill et al., 2006). Además, en el caso de deportes con una, dos o incluso más competiciones semanales, como en el caso de los deportes colectivos de interior, la fatiga puede acumularse con mayor frecuencia e intensidad (Chiu & Barnes, 2003). Por otro lado, la carga de trabajo derivada del entrenamiento y desarrollo de las cualidades físicas que son decisivas para el desempeño del deporte en cuestión, también puede inducir niveles adicionales de fatiga (Gamble, 2006). Por lo tanto, monitorear el estado de fatiga de los jugadores en deportes colectivos es un tema de creciente interés en la actualidad (Mendes et al., 2018; Thorpe et al., 2017).

En un fenómeno tan complejo como la fatiga, con un elevado número de variables interdependientes de diversa naturaleza (Chiu & Barnes, 2003; Noakes, 2012), así como respuestas individualizadas ante una misma carga de entrenamiento (Mann et al., 2014),

hace que la monitorización de la fatiga deba comprender un amplio espectro de parámetros (mentales, físicos y emocionales), para minimizar lesiones y enfermedades (Gill et al., 2006; Williams et al., 2013). Las herramientas de monitoreo se han utilizado ampliamente como indicadores válidos y confiables para monitorear el estado de recuperación de los atletas de élite (Halsón, 2014), lo que permite una mayor eficacia en la prevención de lesiones/enfermedades mediante la prescripción de cargas de entrenamiento y recuperación más precisa e individualizada. Existe una amplia variedad de medidas subjetivas y objetivas para monitorear la carga de trabajo (índice de esfuerzo percibido (RPE, por sus siglas en inglés)(Halsón, 2014), RPE de sesión (sRPE, por sus siglas en inglés)(Halsón, 2014), relación de carga de trabajo aguda y crónica (ACWR, por sus siglas en inglés) (Gabbett, 2016), (Bowen et al., 2017)) y fatiga (escalas de bienestar subjetivo y cantidad/calidad del sueño, estado neuromuscular, marcadores inmunológicos, parámetros fisiológicos (A. J. Coutts, Reaburn, et al., 2007) y bioquímicos) (Freitas et al., 2014; Halsón, 2014; Vervoorn et al., 1991; Viru et al., 2001).

Con frecuencia, la mayoría de las investigaciones sobre el seguimiento de las cargas de trabajo dirigidas al control de la fatiga han centrado sus análisis en las adaptaciones agudas asociadas a las variables de rendimiento de cada modalidad deportiva, producidas por diferentes metodologías de recuperación (Gill et al., 2006; Taylor et al., 2015). Por el contrario, el control longitudinal a medio-largo plazo de las variables de carga de trabajo y fatiga, y su relación con la aparición de lesiones y enfermedades, ha sido escasamente investigado, y las únicas revisiones que existen son aplicadas al fútbol (Hagstrom & Shorter, 2018; Miguel et al., 2021; Teixeira et al., 2021), con demandas físicas y fisiológicas diferentes a las presentes en los deportes colectivos de interior (de Alcaraz et al., 2017; Ribeiro et al., 2020; Scanlan et al., 2015; Wik et al., 2017). El seguimiento a largo plazo permite identificar tendencias positivas o negativas en la adaptación de los

deportistas a una determinada carga, y en un determinado momento de la temporada, pudiendo planificar bloques de entrenamiento con mayor precisión, evitando la aparición de un estado de sobreentrenamiento (Halson, 2014). Esto es especialmente importante en aquellos periodos de la temporada con alta concentración de cargas de entrenamiento y/o competición, lo que puede provocar un aumento del número de jugadores lesionados en momentos clave de la temporada (Brooks et al., 2005; Gamble, 2006), con su posible repercusión en los resultados de la competición (Podlog et al., 2015; Raysmith & Drew, 2016).

Por lo tanto, el propósito de esta revisión sistemática es (1) analizar cómo la periodización de las cargas de trabajo puede inducir estados de fatiga acumulada a corto, medio y largo plazo en deportes colectivos de interior y (2) identificar estos períodos de fatiga a través de la interpretación de variables de desempeño internas y externas. Este estudio puede ayudar a los entrenadores a desarrollar las estrategias necesarias para minimizar los periodos de acumulación excesiva de fatiga a lo largo de la temporada, mejorando la calidad de las adaptaciones de los deportistas y reduciendo la probabilidad de sufrir sobrecargas no funcionales, lesiones y enfermedades.

## **MÉTODOS**

### ***Diseño del estudio y estrategia de búsqueda***

Este manuscrito es una revisión sistemática (Ato et al., 2013) sobre artículos científicos revisados por pares, relacionados con el monitoreo de la carga de trabajo interna y externa para interpretar los episodios de fatiga en los deportes colectivos de interior. El 25 de noviembre de 2021 se realizaron búsquedas en las bases de datos electrónicas de Web of Science (Web of Science Core Collection, MEDLINE, Current



Contents Connect, Derwent Innovations Index, KCI-Korean Journal Database, Russian Science Citation Index y Scielo Citation Index), PubMed y Scopus en busca de artículos relevantes publicados entre el 1 de enero de 2010 y el 25 de abril de 2021 utilizando las palabras clave “elite” or “professional” and “handball” or “volleyball” or “futsal” or “indoor-soccer” or “basketball” and “acute” or “chronic” or “residual” or “increase” or “decrease” or “depletion” or “loss” and “fatigue” or “performance” or “recovery”. Se escanearon las listas de referencias de los artículos incluidos para identificar estudios relevantes. Además, se realizaron búsquedas manuales en las listas de referencias de los estudios recuperados para identificar estudios potencialmente elegibles no capturados por las búsquedas electrónicas. Cualquier desacuerdo se resolvió por consenso entre dos investigadores y el arbitraje de un tercer investigador.

Un investigador realizó búsquedas electrónicas, identificó estudios relevantes y extrajo datos de una manera estandarizada y no combinada. La búsqueda en la base de datos se limitó a artículos de revistas revisadas por pares publicados en inglés. Se realizó una revisión sistemática de acuerdo con las pautas PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses) (Page et al., 2021) y las pautas para realizar revisiones sistemáticas en ciencias del deporte (Rico-González, Pino-Ortega, Clemente, & Arcos, 2021) (Fig 1).

En la presente revisión, los criterios de inclusión de estos artículos fueron: (1) estudios transversales y longitudinales escritos en inglés, (2) los participantes eran atletas adultos sanos, que practican modalidades colectivas de deportes de interior, a nivel profesional y/o de élite, y (3) estudios relacionados con el seguimiento agudo o crónico de la actividad física (sprint, salto vertical, valores de rendimiento) y/o psicológicas (RPE, bienestar, recuperación, estado de ánimo, cuestionarios de burnout) y/o fatiga fisiológica (marcadores de daño muscular, estrés oxidativo, hormonal, estado redox, inflamación,

sangre), de forma objetiva y/o subjetiva , a lo largo de una pretemporada y/o temporada, o un mesociclo igual o superior a 4 semanas. Se consideró que todos los estudios incluidos habían tenido la aprobación ética adecuada de un comité de revisión competente.

Se excluyeron los estudios si (1) el tipo de documento era reseñas, cartas a los editores, registros de ensayos, propuestas de protocolos, editoriales, capítulos de libros y resúmenes de conferencias, (2) solo seguimiento de partidos o sesiones de entrenamiento específicas, o sesiones de entrenamiento fuera de temporada y pretemporada, y (3) no describe las pruebas utilizadas y/o no refleja la frecuencia de seguimiento.

### ***Extracción de datos y análisis de variables***

Se utilizó el protocolo de extracción de datos del Grupo Cochrane de Consumidores y Comunicación (Moher et al., 2015) para extraer la siguiente información sobre los estudios que monitorearon la carga de trabajo interna y externa para interpretar los episodios de fatiga en los deportes colectivos de interior: (1) autores y fecha, (2) datos de los participantes (incluidos el sexo y el tamaño de la muestra), (3) descripción del deporte, (4) tipo de sesión o contexto deportivo (pretemporada, en temporada o ambos), (5) tipo y naturaleza de las variables de seguimiento de la carga de trabajo, (6) metodología de extracción e interpretación de datos, (7) principales resultados y (8) valores referenciales. Este proceso fue desarrollado y probado con 12 estudios seleccionados al azar. Primero, un investigador extrajo los datos de los estudios incluidos y luego un segundo investigador verificó los datos extraídos. Los desacuerdos fueron resueltos por consenso.

### *Calidad de los estudios*

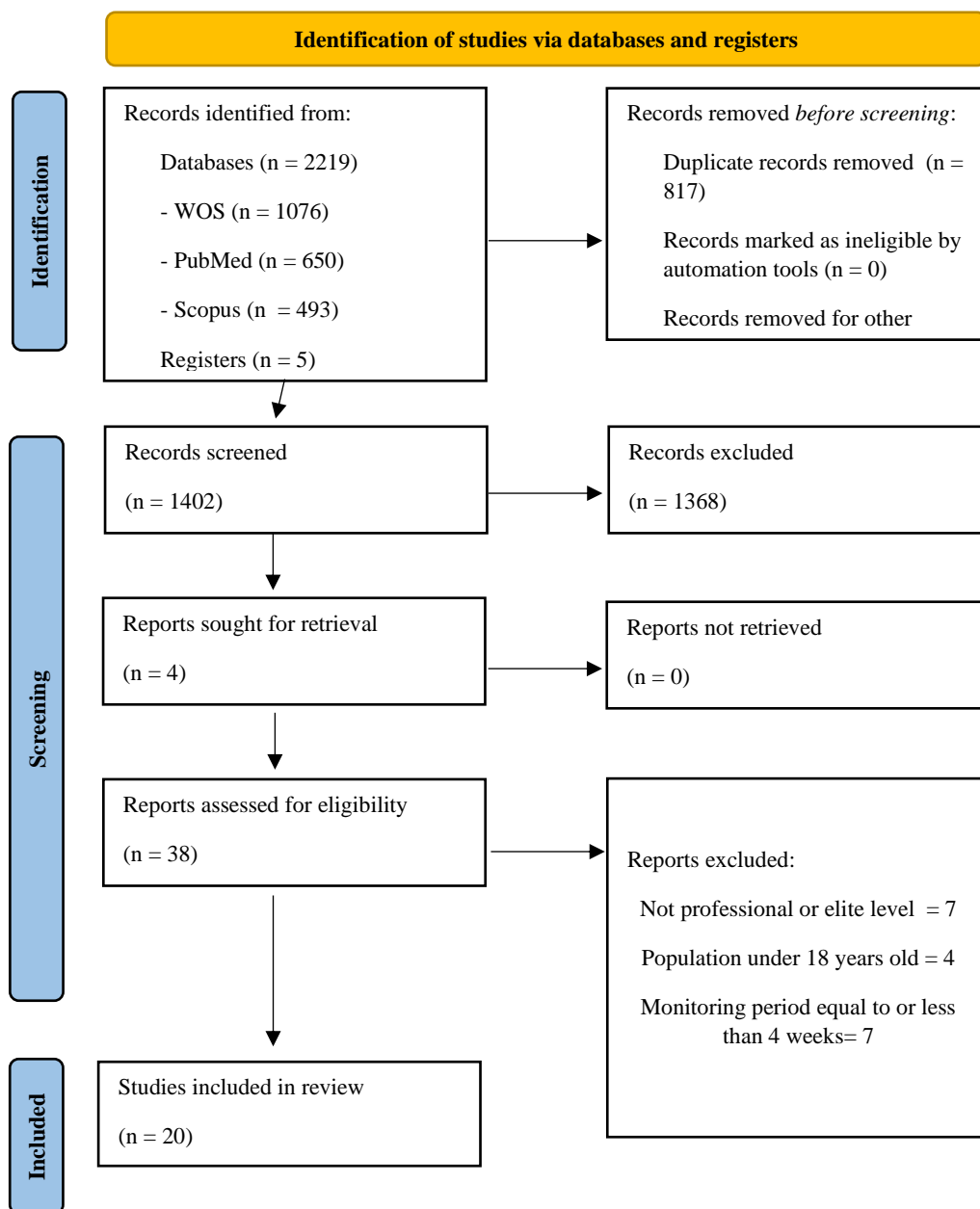
Dos autores (AMV y MRG) evaluaron el riesgo de sesgo de notificación de los estudios elegibles para la inclusión mediante una versión adaptada de los criterios de evaluación STROBE, como se utiliza en O'Reilly et al. (O'Reilly et al., 2018). Por lo tanto, cada artículo fue evaluado utilizando 10 criterios específicos. De presentarse algún desacuerdo, se discutió y resolvió por decisión consensuada. La calificación del estudio se interpretó cualitativamente siguiendo a O'Reilly et al. (O'Reilly et al., 2018): de 0 a 7 puntos, el estudio fue considerado de baja calidad; mientras que, si el estudio fue calificado de 8 a 10 puntos, se consideró de alta calidad.

El riesgo metodológico de sesgo se evaluó mediante el índice metodológico para estudios no aleatorizados (MINORS) por dos autores (A.M.V. y M.R.G.) (Slim et al., 2003). MINORS consta de doce ítems, cuatro de los cuales solo son aplicables a estudios comparativos, lo que no fue el caso de los estudios incluidos. Así, sólo se aplicaron ocho ítems. Cada ítem se califica con 0 cuando el criterio no se reporta en el artículo, 1 si se reporta pero no se cumple suficientemente, o 2 cuando se cumple adecuadamente. Las puntuaciones más altas indican una buena calidad metodológica del artículo y un bajo riesgo de sesgo. La puntuación más alta posible es 16 para estudios no comparativos. MINORS ha producido una confiabilidad inter e intra evaluador, consistencia interna, validez de contenido y validez discriminativa aceptables (Kim et al., 2013; Slim et al., 2003).

## **RESULTADOS**

### **Identificación y selección de estudios**

Inicialmente se recuperaron un total de 2219 (PubMed: 650; WoK: 1076; Scopus: 493) artículos originales de las bases de datos mencionadas, de los cuales 817 eran duplicados. Así, se encontraron un total de 1402 artículos originales. Después de esto, se excluyeron un total de 1368 artículos revisados por título y resumen. Los 34 artículos restantes fueron revisados a texto completo, por lo que se excluyeron 11 artículos según el criterio n° 2 (Nivel profesional ni élite = 7; Población menor de 18 años = 4), y 7 artículos según el criterio n° 3 (período de seguimiento igual o inferior a 4 semanas = 7). Además, se incluyeron 4 artículos de fuentes adicionales. Un total de 20 artículos cumplieron con todos los criterios de inclusión y finalmente fueron incluidos en la síntesis cualitativa. Todos los pasos seguidos para la selección de los artículos están disponibles en la Figura 1.



**Figure 1.** Preferred reporting item for systematic reviews and meta-analyses (PRISMA) flow diagram.

*Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

## Calidad metodológica

El riesgo general de informe de sesgo de los estudios transversales se puede encontrar en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Informe de la evaluación del riesgo de sesgo de los estudios incluidos. *Extraído y adaptado de Moreno-Villanueva et al (2022)*

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Calidad
Barcelos et al (Barcelos et al., 2017)	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	Baja
Bresciani et al (Bresciani et al., 2010)	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	Alta
Clemente et al (Clemente, Martinho, et al., 2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	Alta
Clemente et al (Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	Baja
Clemente et al (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
Clemente et al (Clemente, Oliveira, et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	Alta
Clemente et al (Clemente et al., 2020)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
Cordova-Martinez et al (Martínez et al., 2010)	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	Baja
Debien et al (Debien et al., 2018)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
Duarte et al (Duarte et al., 2019)	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	Baja
Ferreira et al (Ferreira et al., 2021)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	Alta
Horta et al (Horta et al., 2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	Alta
Marin et al (Marin et al., 2013)	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	Alta
Mendes et al (Mendes et al., 2018)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	Alta
Milanez et al (Milanez et al., 2014)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
Miloski et al (Miloski et al., 2016)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
Nakamura et al (Nakamura et al., 2016)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	Baja
Paulauskas et al (Paulauskas et al., 2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	Alta
Schelling et al (Schelling et al., 2009)	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	Baja
Spanidis et al (Spanidis et al., 2016)	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	Baja

Note: proporciona en el resumen un resumen informativo y equilibrado de lo que se hizo y lo que se encontró (ítem 1); establece objetivos específicos, incluida cualquier hipótesis preespecificada (ítem 2); Indica los criterios de elegibilidad y las fuentes y métodos de selección de los participantes (ítem 3); para cada variable de interés, proporciona 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); da 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 de posibles sesgos o imprecisiones. Discute tanto la dirección como la magnitud de cualquier sesgo potencial (ítem 8); da una interpretación general cautelosa de los resultados teniendo en cuenta los objetivos, las limitaciones, la multiplicidad de análisis, los resultados de estudios similares y otra evidencia relevante (ítem 9); indica la fuente de financiación y el papel de los financiadores del presente estudio y, si procede, del estudio original en el que se basa el presente artículo (ítem 10).

Los resultados del riesgo metodológico de sesgo de los artículos incluidos en esta revisión se pueden encontrar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Evaluación metodológica del riesgo de sesgo mediante la lista de verificación MINORS. *Extraído y adaptado de Moreno-Villanueva et al (2022)*

Estudio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Puntuación
Barcelos et al (Barcelos et al., 2017)	2	2	1	1	0	2	2	0	2	2	1	2	17/24
Bresciani et al (Bresciani et al., 2010)	2	2	2	2	1	2	2	-	-	-	-	2	15/16
Clemente et al (Clemente, Martinho, et al., 2019)	2	2	2	2	1	1	2	0	2	2	2	2	20/24
Clemente et al (Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019)	2	2	2	2	1	2	2	0	2	1	2	2	20/24
Clemente et al (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019)	2	2	2	2	1	2	2	-	-	-	-	1	14/16
Clemente et al (Clemente, Oliveira, et al., 2019)	2	2	2	2	0	2	2	0	2	0	1	1	16/24
Clemente et al (Clemente et al., 2020)	1	2	2	1	2	1	2	-	-	-	-	1	12/16
Cordova-Martinez et al (Martínez et al., 2010)	2	2	2	2	1	1	2	0	2	2	1	1	18/24
Debien et al (Debien et al., 2018)	2	2	2	2	1	2	2	-	-	-	-	2	15/16
Duarte et al (Duarte et al., 2019)	2	2	2	2	1	2	2	-	-	-	-	2	15/16
Ferreira et al (Ferreira et al., 2021)	2	2	2	2	0	1	2	-	-	-	-	2	13/16
Horta et al (Horta et al., 2019)	2	2	2	2	1	2	2	-	-	-	-	2	15/16
Marin et al (Marin et al., 2013)	1	2	1	1	2	1	2	0	2	1	0	1	14/24
Mendes et al (Mendes et al., 2018)	2	2	2	2	1	0	2	-	-	-	-	1	12/16
Milanez et al (Milanez et al., 2014)	2	2	2	2	1	1	2	-	-	-	-	1	13/16
Miloski et al (Miloski et al., 2016)	2	2	2	1	0	2	2	-	-	-	-	2	13/16
Nakamura et al (Nakamura et al., 2016)	1	2	2	2	0	1	2	-	-	-	-	1	11/16
Paulauskas et al (Paulauskas et al., 2019)	2	2	2	2	1	2	2	-	-	-	-	1	14/16
Schelling et al (Schelling et al., 2009)	2	2	1	2	2	2	2	-	-	-	-	1	14/16
Spanidis et al (Spanidis et al., 2016)	2	2	1	2	2	2	2	-	-	-	-	1	14/16

Note: \*La lista de verificación MINORS solicita la siguiente información (2 = Calidad alta; 1 = Calidad media; 0 = Calidad baja): (1) Define claramente el objetivo, (2) Inclusión de pacientes consecutivamente, (3) Información recogida retrospectivamente, (4) Evaluaciones ajustadas al objetivo, (5) Evaluaciones llevadas a cabo en un ámbito neutral, (6) Fase de seguimiento coherente con el objetivo, (7) Tasa de abandono durante el seguimiento inferior al 5%, (8) El grupo control tuvo una intervención con gold estandar, (9) Grupos contemporáneo, (10), Equivalencia basal de grupos, (11) Cálculo prospectivo del tamaño de la muestra, (12) Análisis estadístico adecuado.

## Características de los estudios

De los 20 estudios evaluados, 7 analizaron fatiga aguda y subaguda (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019; Duarte et al., 2019; Mendes et al., 2018; Milanez et al., 2014), 6 artículos la fatiga crónica (Barcelos et al., 2017; Bresciani et al., 2010; Marin et al., 2013; Martínez et al., 2010; Schelling et al., 2009.; Spanidis et al., 2016) y los 7 artículos restantes la fatiga aguda, subaguda y crónica (Clemente et al., 2020; Debien et al., 2018; Ferreira et al., 2021; Horta et al., 2019; Miloski et al., 2016; Nakamura et al., 2016; Paulauskas et al., 2019). Del total de estudios analizados, 14 utilizaron variables de monitorización de carga interna de carácter subjetivo (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019; Clemente et al., 2020; Debien et al., 2018; Duarte et al., 2019; Ferreira et al., 2021; Horta et al., 2019; Mendes et al., 2018; Milanez et al., 2014; Miloski et al., 2016; Paulauskas et al., 2019), ya sea a través de RPE (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019; Clemente et al., 2020; Debien et al., 2018; Duarte et al., 2019; Ferreira et al., 2021; Horta et al., 2019; Mendes et al., 2018; Milanez et al., 2014; Miloski et al., 2016; Nakamura et al., 2016; Paulauskas et al., 2019), s-RPE (Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019; Ferreira et al., 2021; Mendes et al., 2018; Milanez et al., 2014), y/o cuestionarios de bienestar (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019; Clemente et al., 2020; Duarte et al., 2019; Ferreira et al., 2021; Mendes et al., 2018). En cuanto a los estudios que analizaron la fatiga a través de variables de carga interna y objetiva, cuatro utilizaron variables de carácter hormonal como



testosterona y cortisol (Horta et al., 2019; Martínez et al., 2010; Miloski et al., 2016; Schelling et al., 2009), cuatro variables de carácter bioquímico como marcadores de estrés oxidativo (Barcelos et al., 2017; Bresciani et al., 2010; Marin et al., 2013; Spanidis et al., 2016) y cuatro marcadores de daño muscular como creatin kinasa (CK por sus siglas en inglés) y lactate-deshidrogenasa (LDH por sus siglas en inglés) (Barcelos et al., 2017; Horta et al., 2019; Marin et al., 2013; Miloski et al., 2016). Solo 4 estudios utilizaron variables de carga de trabajo externas para el control de la fatiga (Debien et al., 2018; Horta et al., 2019; Miloski et al., 2016; Nakamura et al., 2016), principalmente a través de pruebas de salto con contramovimiento (Debien et al., 2018; Horta et al., 2019; Miloski et al., 2016; Nakamura et al., 2016) y sprint (Miloski et al., 2016; Nakamura et al., 2016).

Las características de los estudios que monitorizaron las cargas de trabajo en deportes colectivos de interior, así como los resultados y conclusiones extraídas de los mismos, están disponibles en la Tabla 3.

Estudio	Muestra	Periodo	Tipo	Test	Frecuencia de evaluación	Resultados		Conclusiones
						Fatiga aguda	Fatiga crónica	
<b>Baloncesto</b>								
Clemente et al (Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019)	15 hombres (Edad: 27,1 ± 5,2 años; 1,95 ± 0,1 m; 97,2 ± 13,1 kg)	Pretemporada y temporada	Interna (subjativa)	RPE Bienestar	Diaria y semanal	Mayores valores de w-RPE en RW respect a CW (ES = 2.15).  Mayores valores de fatiga (ES = 1.40) en CW comparado con RW.  Disminuciones en valores de s-RPE en MD-1 en RW y CW, asumiendo un incremento en valores de bienestar el dia de partido (ES = 1.77 - 2.52).  Diferencias*** entre valores de RPE de sesiones de entrenamiento (MD0, MD-1 and MD-4) y partidos, tanto en CW como en RW.	-	Diferencias mínimas en DOMS y estrés entre CW y RW.  Un menor bienestar en CW puede estar asociado con un efecto acumulativo de las cargas de entrenamiento y partido. .  La reducción de cargas en PP parece jugar un papel importante en la mejora del bienestar de los deportistas y en la prevención del sobreentrenamiento.
Cordova-Martinez et al (Martínez et al., 2010)	12 hombres (Edad: 25,3 ± 4,4 años; 1,98 ± 0,10m ; 96,8 ± 13 kg)	Pretemporada y temporada	Interna (objetiva)	Testosterona Cortisol	En 4 momentos: Pretemporada (T1)  Final de 2º mesociclo (T2)  Copa del Rey (T3)  Final de session regular y Eurocopa (T4)	-	Equilibrio catabólico/anabólico durante toda la temporada:  - Disminución* en niveles de cortisol en T2 y T4. - Incremento* de ratio T/C en T2 y disminución * en T3.	Aumento de testosterona y disminución o mantenimiento de cortisol, puede contribuir a una buena recuperación.  Útil para monitorizar el cortisol, la testosterona y el nivel de entrenamiento para prevenir el estrés y controlar los periodos de recuperación durante la temporada.
Ferreira et al (Ferreira et al., 2021)	15 hombres (Edad: 27,1 ± 5,2 años; 1,95 ± 0,09 m; 97,2 ± 13,1 kg)	Pretemporada y temporada	Interna (subjativa)	RPE Bienestar  ACWR	Diaria y semanal  Semanal	Mayores valores de w-RPE (4578.99 AU; p. <0.05), DOMS (13.51 AU; p.> 0.05) y fatiga (14.43 AU; p.> 0.05) durante el comienzo de la temporada.  Mientras que el w-RPE disminuyó* a lo largo de la temporada, los valores de DOMS y fatiga (p.> 0,05) se mantuvieron altos.  Grandes correlaciones de w-RPE con DOMS (r = 0,60) y fatiga (r = 0,62).	Valores ACWR más altos (0,8 - 1,3; p.> 0,05) en el segundo periodo.	Es imperativo monitorear la falta de variación en el estado de bienestar durante el período de temporada, ya que puede causar disminuciones significativas en el rendimiento del equipo.  Valores ACWR constantes durante toda la temporada. Se mantuvo un equilibrio entre las cargas agudas y crónicas a lo largo de la temporada, lo que redujo los riesgos de lesiones.

Correlación de ACWR con fatiga (r = 0.55) y DOMS (r = 0.45)								
Paulauskas et al (Paulauskas et al., 2019)	29 mujeres (Edad: 21 ± 5 años; 1,81 ± 0,07 m; 71 ± 7 kg)	Temporada	Interna (subjetiva)	RPE (tanto entrenamiento como partido) y TT  ACWR	Semanal	Fluctuaciones irregulares en w-RPE y TT: - Mayores cambios en w RPE registrados en la semana 13 (47%).  - Mayores cambios de TT registrados en las semanas 17 y 15 (34% y 59%, respectivamente).  Diferencia significativa* en los valores de RPE del partido entre jugadores con tiempo de juego bajo (720 AU) y alto (903 AU).	Fluctuaciones irregulares (0.7 - 1.3) pero menos del 10% en ACWR .  Mayores cambios ACWR registrados en la semana 13 (49%).	El W-RPE debe monitorearse durante toda la temporada para identificar las semanas que pueden predisponer a picos no deseados.  La carga de trabajo debe ajustarse de acuerdo con el tiempo de juego de cada jugador (> tiempo de juego, <prescripción de carga de entrenamiento).  El ACWR debe monitorearse durante toda la temporada para identificar las semanas que pueden predisponer a picos no deseados.
Schelling et al (Schelling et al., 2009)	8 hombres (Edad: 27,8 ± 4,8 años; 1,97 ± 0,07 m; 97 ± 9,5 kg)	Temporada	Interna (objetiva)	Testosterona  Cortisol  Ratio T/C	4-6 semanas (8 muestras)	-	Aumento de cortisol en pretemporada (+33%) y mantenido durante toda la temporada (0,393 - 0,516 mmol/l).  Aumento* de testosterona tras 3,5 días de descanso y descenso** al final de la temporada (20,6 - 24,9 vs 18,0 mmol/l).  La relación T / C disminuye * al final de la temporada (48.0 - 61.7 vs 35.4).	La relación T/C y/o la testosterona podrían utilizarse como indicadores del estado de recuperación, y ayudar a optimizar las cargas de entrenamiento individualizadas para evitar episodios de fatiga excesiva.
Spanidis et al (Spanidis et al., 2016)	14 hombres (Edad: 26,8 ± 1,2 años; 1,99 ± 0,02 m; 101,6 ± 2,6 kg)	Temporada	Interna (objetiva)	Marcadores de estrés oxidativo (TAC, TBARS, GSH, CARB y sORP)	Inicio y final de temporada	-	Aumento de los valores de sORP* (200 vs 220 mV; 9,6%) y TAC* (0,8 vs 1,0 mmol/l; 12,9%) al final de la temporada.  Disminución* de GSH (3,7 vs 2,5 mmol/g; 35%) al final de la temporada.  Gran variación interindividual en valores de TBARS, CARB, TAC.  Alta correlación *** entre sORP y CARB (r = 0.798)	El sORP puede ayudar a monitorear el estado redox de un grupo de atletas, con mayor integridad que el TAC.  Se requiere un examen individualizado del estado redox a través de TBARS, CARB y TAC, con el fin de identificar periodos críticos de recuperación en cada atleta.

Fútbol sala							
Barcelos et al (Barcelos et al., 2017)	8 hombres (Edad: 25,5 ± 5,4 años)	Pretemporada y temporada	Interna (objetiva)	Marcadores de daño muscular (CK y LDH)  Marcadores de estrés oxidativo (IMA y AOPP)	En 3 momentos:  Final de pretemporada (T1) Dos semanas antes de copa intercontinental (T2) Final de temporada (T3)	T2 vs T1 y T3:  - Menores valores * de CK (271 - 413 vs 446 - 777 u/l) y LDH (175-232 vs 359 - 441 u/l).  Valores estacionales de IMA* y AOPP*.	Los marcadores bioquímicos pueden ser útiles como medio de control del entrenamiento.  Una semana de puesta a punto previa al campeonato principal (T2) parece tener éxito para lograr un estado óptimo de recuperación.
Clemente et al (Clemente, Martinho, et al., 2019)	20 hombres (Edad: 27,8 ± 5,7 años; 1,73 ± 0,05 m; 71,5 ± 7,9 kg)	Pretemporada y temporada	Interna (subjativa)	RPE  Bienestar	Diaria y semanal	CW vs RW:  - ↓ s-RPE en MD-3 (544 vs 693 AU; -27,7%) y MD-2 (605 vs 645 AU; -9,9%). - ↓ DOMS en MD-3 (2,91 vs 3,48 AU; -21,2%) y MD-1 (3,42 vs 3,91 AU; -17,3%). - ↓ Fatiga en MD-3 (2,99 vs 3,75 AU; -23,5%) y MD-1 (3,54 vs 4,03 AU; -16,6%).  RW: ↑ s-RPE en MD-3 (693 AU; 106,7%) y MD-2 (645 AU; 93,4%) comparado con MD-1 (338 AU).  Incrementos en w-RPE (1.4 - 27.7%; ES = 0.10 - 2.32), DOMS (17.3 - 21.2%; ES = 2.21 - 3.14) y fatigue (16.6-23.5%; ES = 2.31-3.97) en RW comparado con CW.	Se deben controlar los cambios semanales en la carga de entrenamiento para evitar cambios significativos en el estado de bienestar que puedan limitar el rendimiento.

Milanez et al (Milanez et al., 2014)	13 mujeres (Edad: 22,1 ± 4,2 años; 1,65 ± 0,5 m; 60,7 ± 5,9 kg)	Periodo preparatorio y temporada (5 semanas)	Interna (subjetiva)	RPE TT SIgA	Diaria y semanal  Semanal	La semana 3 registró valores medios más altos* de w-RPE (450 AU) y TT (4000 AU), con la consiguiente disminución* de la concentración (-15,0%) y secreción (-10,7%) de SIgA.  Relación no lineal entre w-RPE, síntomas de estrés y SIgA.  Rango óptimo de s-RPE de 343 - 419 AU y TT entre 2639 - 3060 AU. Fuera de rango, ↑ síntomas de estrés.  Rango > 435 y 3160 AU de w-RPE y TT, respectivamente, ↓ SIgA		El w-RPE interno varió de acuerdo con las cargas de entrenamiento externas planificadas.  Los puntajes altos de TT son el resultado de una baja variabilidad de w-RPE.  El aumento de w-RPE y TT puede estar asociado con alteraciones en los niveles de SIgA y síntomas de estrés.
Miloski et al (Miloski et al., 2016)	12 hombres (Edad: 24,3 ± 4,7 años; 1,73 ± 0,04 m; 75,5 ± 7,7 kg)	Pretemporada y parcialmente (mitad) de temporada	Interna (subjetiva)  Interna (objetiva)  Externa (objetiva)	RPE  Testosterona Cortisol Ratio T/C  CK  CMJ, 5 y 20m sprint, T test	Semanal  Cada 2 semanas (pretemporada) y cada 4 semanas (temporada)  En 4 momentos: Antes pretemporada Final pretemporada Mitad de temporada Final de temporada	Valores *** más altos de w-RPE en pretemporada que en temporada (3843.3 vs 2921 AU, respectivamente).  Aumento de CK* (266 u/l) y ratio T/C*** (2,0) al final de la pretemporada.  Aumento de cortisol*** (+3,9 mg/dl) y descenso del ratio T:C*** (-0,5) de BS4 a BS5.  Mayores valores de rendimiento físico en PT3 y PT4 en comparación con PT1.		Las grandes variaciones interindividuales entre w-RPE resaltan la necesidad de individualizar la prescripción de cargas.  Importancia de una pretemporada bien diseñada para mejorar la forma física, porque no se esperan adaptaciones adicionales durante la temporada (excepto en CMJ).
Nakamura et al (Nakamura et al., 2016)	10 hombres (Edad: 19,1 ± 0,8 años; 1,74 ± 0,06 m; 71,3 ± 6,6 kg)	Pretemporada (9 semanas)	Interna (subjetiva)  Externa (objetiva)	RPE  SJ, CMJ, JS (cargado) y 20m sprint	Semanal  Pre y post-intervención	Mayor CV en valores de w-RPE las dos primeras semanas (32-37%) en comparación con las semanas restantes (8-18%).  Descenso de los valores de SJ (ES = 20,64), CMJ (ES = 20,49) y en la prueba de sprint de 20 m (ES = 20,92), y aumento de los valores de JS (ES = 0,42)  Mayores pérdidas de velocidad en jugadores más rápidos (r = 20,90).		Se recomienda evaluar el rendimiento de sprint individualmente al inicio de la pretemporada, y ver si se mantienen las correlaciones de sprint con el RPE en caso de individualizar las cargas de entrenamiento de velocidad.

El entrenamiento de pretemporada parece homogeneizar la velocidad de los jugadores a un nivel inferior. Esto puede dar lugar a adaptaciones negativas en deportistas con mayor aptitud física inicial y aumentar la probabilidad de sobrecarga no funcional.

Gran correlación entre el sprint de 20 m y el RPE-w las dos primeras semanas ( $r = 0,66$ ;  $p. <0,05$ )

### Balonmano

Importante seguimiento de estos marcadores durante una temporada para ajustar las cargas de entrenamiento y los periodos de recuperación.

Posibles adaptaciones fisiológicas a lo largo de la temporada, maximizadas por PP.

Los entrenadores cambian la periodización del entrenamiento en CW para ofrecer a los jugadores un período de recuperación después del partido.

Bresciani et al (Bresciani et al., 2010) 14 hombres (Edad:  $20,1 \pm 2,5$  años) Pretemporada y temporada Interna (objetiva) Marcadores de estrés oxidativo (GSSG, GSH y ratio GSH/GSSG) En 5 momentos: Antes pretemporada Final pretemporada Después 1er CP Después 2º CP 7 semanas después de temporada

Periodos de elevada carga:  
-  $\uparrow$  GSSG ( $21,6 - 38,6$  mmol/l).  
-  $\downarrow$  \* Ratio GSH / GSSG ( $18,8 - 28,9$ )

Correlación positiva de GSSG ( $r = 0,65$ ), ratio GSH / GSSG ( $r = 0,63$ ) con s-RPE.

Clemente et al (Clemente, Oliveira, et al., 2019) 20 hombres (Edad:  $26,5 \pm 4,9$  años;  $1,89 \pm 0,08$  m;  $91,1 \pm 12,0$  kg) Temporada Interna (subjativa) RPE Bienestar Diaria y semanal CW vs RW:

- Menores valores de DOMS ( $3,42$  vs  $3,91$  AU;  $-13,3\%$ ) y fatiga ( $3,54$  vs  $4,03$  AU;  $-16,6\%$ ) en MD-1

- Menores valores de DOMS ( $3,36$  vs  $3,89$  AU;  $-19,9\%$ ), fatiga ( $3,53$  vs  $4,13$  AU;  $-19,7\%$ ) y HI ( $11,65$  vs  $13,21$  AU;  $-16,7\%$ ) en MD-2.

Mayores valores de s-RPE en MD-3 y MD-2 en RW ( $693,38 - 645,10$  AU) y CW ( $544,77 - 605,67$  AU), respectivamente.

Mayores valores de fatiga en MD-1 ( $3,54 - 4,03$  AU) en comparación con MD-3 ( $2,99 - 3,75$  AU) en RW y CW.

Marin et al (Marin et al., 2013) 10 hombres (Edad:  $25 \pm 4,5$  años;  $1,87 \pm 0,06$  m;  $95,3 \pm 9,8$  kg) Pretemporada y temporada (hasta los play-offs en la semana 24) Interna (objetiva) CK LDH TBARS Thiols En 4 momentos (cada 8 semanas)

Aumento del estrés oxidativo\* ( $\uparrow$  TBARS y  $\downarrow$  tioles) y daño muscular\* (CK =  $147 - 188$  u/l; LDH;  $208 - 224$  u/l; aspartato aminotransferasa =  $17,14 - 19,97$  u/l) en periodos más intensos (T3 y T4).

El estrés oxidativo y los biomarcadores antioxidantes pueden cambiar a lo largo de la temporada, lo que refleja el estrés físico y el daño muscular que se produce.

						Aspartato aminotransferasa	Aumento de la actividad de las enzimas antioxidantes de los eritrocitos (↓ TBAR y grupo carbonilo).	El aumento de los niveles sanguíneos de estrés oxidativo se produjo a pesar de la posible regulación positiva de los sistemas antioxidantes.
<b>Voleibol</b>								
Clemente et al (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019)	13 hombres (Edad: 31,0 ± 5,0 años; 1,94 ± 0,07 m; 88,9 ± 7,6 kg)	Pretemporada y temporada	Interna (subjativa)	RPE Bienestar	Semanal	Valores de w-RPE más altos en pretemporada (3094 - 3185 AU) y en la primera mitad de la temporada (2792 - 3050 AU).  Valores altos de w-DOMS y w-Fatigue a lo largo de la pretemporada y la temporada (14,7 - 18,3 UA; 15,3 - 17,4 UA, respectivamente), excepto los dos últimos meses de la temporada (11,9 - 14,9 UA; 12,40 - 13,80 UA, respectivamente)  Correlaciones de moderadas a largas de w-DOMS y w-RPE (r = 0,151 - 294), y de moderadas a muy largas entre w-Fatigue y w-RPE (r = 0,154 - 0,293)		El bienestar de los atletas y los valores de RPE varían a lo largo de la temporada.  Requiere una combinación de diferentes métodos de monitoreo de carga para conocer con precisión la condición física del atleta.
Clemente et al (Clemente et al., 2020)	13 hombres (Edad: 31,0 ± 5,0 años; 1,94 ± 0,07 m; 88,9 ± 7,6 kg)	Temporada	Interna (subjativa)	RPE Bienestar ACWR	Semanal	wRPE fue mayor durante el comienzo de la temporada (promedio de 3039.71 AU.), pero w-Estrés mayor al final de la temporada (promedio de 18.48 AU).  Alta correlación de wRPE con el bienestar y sus variaciones (r = 0,72 - 0,82).	ACWL mayor a mitad (1,66 AU; +38,9%; ES: 2,81) y final (1,50 AU; +25,7%; ES: 1,95) de la temporada, en comparación con el inicio (1,10 AU).	Tomar conciencia de la importancia de la carga aguda en el bienestar de los jugadores.  Evitar progresiones de carga extremas y repentinas para evitar aumentos inmediatos en DOMS.  Los entrenadores deben interpretar cuidadosamente las cargas ACWR > 1.5.  Evite progresiones de carga repentinas de 5-10% para evitar exceder el umbral ACWL > 1.20 AU.
Debien et al (Debien et al., 2018)	15 hombres (Edad: 24,0 ± 3,6 años; 1,94 ± 0,06 m; 96,7 ± 11,3 kg)	Pretemporada y temporada	Interna (subjativa)  Externa (objetiva)	RPE TQR CMJa	Semanal  En 4 momentos PPI	Valores *** más altos de w-RPE en PP en comparación con CP (3748 - 4588 AU frente a 2858 - 3728 AU)	Mejora y mantenimiento de CMJ y CMJa tras cada PP (p. <0,001).	A pesar de la disminución de la carga interna durante los CP, la correcta distribución semanal de la carga interna parece ser muy importante para garantizar la mejor recuperación de los atletas.

				CMJ	CP1 PP2 CP2	Valores más bajos ** de TQR en CP en comparación con PP (14.75 - 15.02 vs 15.14 - 15.63).		En CP largos, se debe hacer un mejor equilibrio entre wRPE altos y bajos, para evitar cambios repentinos y repentinos en la carga que pueden aumentar el riesgo de lesiones.
						Correlación negativa * entre w-RPE y TQR.		Los PP al inicio y durante la temporada son importantes para mejorar y mantener la capacidad de altura de salto vertical durante los CP de los jugadores profesionales de voleibol. Esto puede ayudar a mantener y mejorar la tolerancia a las cargas de trabajo.
						El 88,9% de la carga de entrenamiento interno semanal durante la temporada se clasificó como alta o moderada alta.		
Duarte et al (Duarte et al., 2019)	14 hombres (Edad: 24.0 ± 3.59 años; 1,94 ± 0,07 m; 96.87 ± 9.85 kg)	Pretemporada y temporada	Interna (subjativa)	RPE Bienestar	Semanal	Valores de w-RPE más altos en PP en comparación con CP (3664.4 - 4546 AU vs 3384.6 - 4006.6 AU, respectivamente; p <0.01 - 0.05).  Los valores de w-bienestar varían en función de las cargas y de las características de cada periodo .  Correlación* entre fatiga post-entrenamiento y w-RPE en todos los PP y CP (r = -0.25 - -0.31).	-	El bienestar son herramientas útiles y sensibles para monitorear las respuestas a las cargas aplicadas.  La correlación de fatiga con w-RPE puede ser una herramienta fiable para determinar el grado de recuperación del deportista.
Horta et al (Horta et al., 2019)	12 hombres (Edad: 26,9 ± 4,6 años; 1,94m ± 0,08 m; 94,9 ± 11,6 kg)	Pretemporada	Interna (subjativa)  Interna (objetiva)  Externa (objetiva)	RPE  Testosterona Cortisol Ratio T/C CK  CMJ	Semanal  Cada 2 semanas (x4)	Aumento de los valores de w-RPE *** (3000 - 6000 AU) a lo largo de la pretemporada.  Sin diferencias (p.>0,05) en CMJ (45,55 - 46,94cm), cortisol (13,8 - 17,3 ng/dl) o relación T/C (34,8 - 42,3).		Un PP corto en voleibol conduce a un aumento de la TL, lo que, junto con los niveles de creatina quinasa, sugiere un aumento del daño muscular sin un aumento del rendimiento físico. .  Un PP corto en voleibol conduce a una mayor carga de entrenamiento, nivel de CK y estrés psicológico, pero no altera el sistema inmunológico.  La relación de w-RPE con CK sugiere que el daño muscular ocurrió sin un aumento en el rendimiento físico.
Mendes et al (Mendes et al., 2018)	13 hombres (Edad: 31 ± 5,0 años; 1,94 ±	Pretemporada y temporada	Interna (subjativa)	RPE Bienestar	Diaria y semanal	Dinámica ondulante de s-RPE en PP (el día 2 y el día 5 registraron los más altos; 368 y 370AU, respectivamente).		En CW, el entrenamiento previo al juego tuvo un s-RPE significativamente más alto y un mayor impacto en el bienestar del jugador que los RW.



0,07 m; 88,9 ±  
7,6 kg)

Mayores valores\* de s-RPE en MD-1 en RW respecto a CW (20,4,40 vs 304,74 AU, respectivamente)

Mayores valores\* de bienestar en MD-3 en RW respecto a CW (11,60 vs 12,85, respectivamente).

Mayores valores\* de s-RPE de los partidos en CW respecto a RW (364,71 vs 252,97 AU, respectivamente).

Diferencias\* entre RW y CW en fatiga (2.60 - 2.81AU vs 2.72 - 2.90AU) y HI (10.76 - 11.24AU vs 11.19 - 11.86AU).

La acumulación de partidos implicó una interrupción en el bienestar de los jugadores varios días de la semana durante CWs.

Utilidad de combinar RPE y bienestar para proporcionar información sobre el impacto del entrenamiento y la competición en los jugadores.

**Tabla 3.** Características de los estudios que monitorearon las cargas de trabajo en deportistas profesionales o de élite de deportes colectivos de interior.

ACWR: Acute and chronic workload ratio ; AOPP: Advanced oxidation protein products ; AU: Arbitrary units ; CARB: Protein carbonyls ; CARP: ; CK: Creatin kinase ; CMJ: Countermovement jump ; CMJa: Countermovement jump with swing arms ; CP: Competitive period ; CW: Congested week ; ES: Effect size ; GSH: Glutathione ; GSSG: Oxidized glutathione ; HI: Hooper index ; IMA: Ischemia modified albumin ; JS: Jump squat ; kg: kilograms ; m: meters ; LDH: Lactate dehydrogenase ; MD: Match day ; mg/dl: milligrams per deciliter ; mmol/l: millimoles per liter ; mmol/g: millimoles per gram ; ng/dl: nanograms per deciliter ; PP: Preparatory period ; r: Pearson's coefficient ; RPE: Rating of perceived exertion ; RW: Regular week ; sIgA: Salivary immunoglobulin A ; SJ: Squat jump ; sORP: Static oxidation-reduction potential marker ; TAC: Total antioxidant capacity ; TBARS: Thiobarbituric acid reactive substances ; T/C: Testosterone/cortisol ; TQR: Total quality recovery test ; TT: Training tension ; u/l: units per liter.

Statistical significance: \*P < 0.05, \*\*P < 0.01, \*\*\*P < 0.001

## DISCUSIÓN

El objetivo de la presente revisión sistemática es (1) identificar sistemáticamente los episodios de fatiga en los deportes colectivos de interior de nivel élite y (2) identificar y analizar los momentos de mayor fatiga de la temporada en los deportes colectivos de interior de nivel élite. Los principales hallazgos fueron que es necesario integrar variables de diferentes parámetros de monitoreo de carga, ya que su interpretación aisladamente puede verse alterada por factores concomitantes. En este sentido, el final de los periodos preparatorios (PP) y la segunda fase de los periodos competitivos (PC) parecen ser los momentos más agotadores de la temporada, registrándose valores elevados de RPE, CK, LDH y marcadores de estrés oxidativo, así como un descenso de los valores de bienestar y la relación testosterona cortisol (ratio T/C). Además, las semanas congestionadas en particular, con una alta concentración de partidos, promueven el desarrollo de altos niveles de fatiga aguda y subaguda, identificados por altos niveles de DOMS y fatiga junto con bajos niveles de RPE. Por tanto, el desarrollo de PP más prolongados que permitan un mayor número de días de recuperación, puede ayudar a minimizar los episodios de fatiga aguda y subaguda y evitar llegar a un estado de sobreentrenamiento o fatiga crónica.

Actualmente existe un amplio espectro de variables de monitorización de carga que se han utilizado para intentar analizar el estado de fatiga o los factores que la desencadenan a lo largo de la temporada. Por ejemplo, un gran cuerpo de investigación sugiere que los valores de RPE están correlacionados con la frecuencia cardíaca, que está estrechamente relacionada con la intensidad del esfuerzo y, por lo tanto, con una mayor probabilidad de inducir fatiga (Halsón, 2014). Sin embargo, un metanálisis mostró que la validez de los valores de RPE puede no ser tan válida como se pensaba anteriormente (Chen et al., 2002). Otros autores, como Gabbett (Gabbett, 2016) y Bowen et al (Bowen

et al., 2017) sugieren que el ACWR puede ayudar en la prevención de lesiones y sobrecargas no funcionales a mediano y largo plazo. Coutts et al (A. J. Coutts, Reaburn, et al., 2007) y Freitas et al (Freitas et al., 2014) reflejaron que el aumento de la actividad de CK y LDH está relacionado con la lesión e inflamación del músculo esquelético, en respuesta a cargas de trabajo desproporcionadas a las cargas tolerables por los atletas. Por su parte, el ratio T/C permite analizar el equilibrio anabólico/catabólico, lo que puede ayudar a identificar periodos de sobreentrenamiento, fatiga o adaptación física a estímulos impuestos (Vervoorn et al., 1991; Viru et al., 2001). Por tanto, la multidimensionalidad y complejidad que rodea al fenómeno de la fatiga hace necesaria una adecuada interpretación de los resultados de la carga de trabajo que ayude a conocer el nivel de adaptación de los deportistas, minimizando el riesgo de excesos no funcionales, lesiones o enfermedades, promovidas por acumulación de fatiga (Halsón, 2014).

### ***Identificación de episodios de fatiga a través de variables de carga internas y externas***

A pesar del uso de numerosas variables para monitorear la carga de trabajo en los deportes colectivos, el análisis de estas variables de forma aislada puede dar lugar a interpretaciones erróneas cuando se trata de identificar realmente un episodio de fatiga en particular. Por ejemplo, valores altos de RPE no implican necesariamente un excesivo cansancio si los jugadores se encuentran en una forma física adecuada (A. J. Coutts, Reaburn, et al., 2007; Halsón, 2014), al igual que valores bajos de RPE pueden atribuirse a una decisión del cuerpo técnico en la periodización del entrenamiento (tapering por ejemplo)(Bosquet et al., 2007; Calleja-Gonzalez et al., 2019) sin necesidad de que sea provocado por un episodio de fatiga. El método de la media móvil (“rolling average”, por su terminología en inglés) utilizado para calcular los valores de ACWR en los estudios

analizados (Clemente et al., 2020; Ferreira et al., 2021; Paulauskas et al., 2019) puede no ser del todo fiable, ya que da la misma importancia a las cargas más recientes que a las realizadas con anterioridad, independientemente de su dilución temporal . También existen otros factores que pueden influir en los resultados de la percepción subjetiva de la fatiga, como la duración y organización del periodo competitivo de cada modalidad deportiva (Clemente et al., 2020; Duarte et al., 2019; Ferreira et al., 2021; Milanez et al., 2014). En cuanto a los biomarcadores de daño muscular y estrés oxidativo, la magnitud de los datos depende estrechamente del momento en que se tomaron las muestras, así como de la periodización de la carga realizada en la semana anterior, pues los picos de valor de cada biomarcador son diferentes (Clarkson & Hubal, 2002; Spanidis et al., 2016). En el caso del ratio T/C, un balance positivo puede estar determinado por un mayor aumento de los niveles de testosterona, una disminución de los niveles de cortisol o ambos, lo que puede indicar una adecuada recuperación post-esfuerzo, pero también una carga de trabajo insuficiente o incluso un estado de sobreentrenamiento, respectivamente (Brownlee et al., 2005; Hoffman et al., 1999). Por otro lado, los resultados de las pruebas de rendimiento físico interpretadas aisladamente pueden estar influenciados por una inadecuada distribución de las cargas de trabajo asociadas a cada capacidad física, lo que no implica directamente que el sujeto esté fatigado (Issurin, 2010; Miloski et al., 2016; Nakamura et al., 2016). Por tanto, la monitorización de la carga de trabajo a través de variables de diversa naturaleza puede ser fundamental para extraer información fiable y rigurosa a la hora de identificar un episodio de fatiga, mediante un análisis integrador de las mismas.

*La periodización de la carga de trabajo como factor inductor de fatiga crónica a lo largo de la temporada*

En los deportes colectivos de interior, una temporada implica meses entre agosto y junio, disputándose dos o más competiciones a lo largo de la misma, con la carga de entrenamiento y competición que ello conlleva (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Mendes et al., 2018; Thorpe et al., 2017). El principal hallazgo al respecto es el consenso acerca de que la carga de trabajo acumulada puede causar episodios de fatiga, cuya acumulación excesiva puede conducir a la fatiga crónica (Beato et al., 2017; Bowen et al., 2017; A. J. Coutts, Reaburn, et al., 2007; Drew & Finch, 2016). En este sentido, los artículos que analizaron la carga interna a través de valores subjetivos identificaron los valores más altos de estos parámetros al final de los PP y la segunda mitad de los PC (baloncesto = promedio w-RPE = 4578,99 AU; Promedio w-DOMS = 13,51 AU; Promedio w- fatiga = 14,43 AU ; ACWR = 0,8 – 1,3 AU) (Ferreira et al., 2021); fútbol sala = w-RPE = 2850 – 5200 AU (Milanez et al., 2014; Miloski et al., 2016; Nakamura et al., 2016); y voleibol = w-RPE = 3664.4 - 4588 AU; Promedio TQR = 4.75 - 15, 02; ACWR = 1,50 – 1,66 (Clemente et al., 2020; Debien et al., 2018; Duarte et al., 2019)). Estos datos pueden explicarse fundamentalmente por los altos valores de carga de trabajo experimentados por los jugadores, así como por la naturaleza de los estímulos físicos en cada uno de estos periodos (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Impellizzeri et al., 2004; Issurin, 2010; Milanez et al., 2011). En este sentido, los PP suelen caracterizarse por la concentración de altos volúmenes de carga de trabajo, enfocada al desarrollo de la capacidad aeróbica y la fuerza, percibida como altamente fatigante por los atletas (Impellizzeri et al., 2005; Milanez et al., 2011). Teniendo en cuenta que la pretemporada es el periodo donde los jugadores mejoran su capacidad física (Barcelos et al., 2017; Miloski et al., 2016), es recomendable realizar una estrategia de distribución de la carga

de trabajo que maximice las adaptaciones y minimice la aparición de lesiones derivadas de la acumulación excesiva de fatiga durante este período. Sin embargo, la aplicación de más días de recuperación en pretemporada puede limitar la capacidad de mejora del rendimiento de los deportistas por el desentrenamiento de algunas de las capacidades físicas clave de la modalidad deportiva, teniendo en cuenta que es un periodo muy limitado en el tiempo (Ferioli et al., 2018; Hartmann & Mester, 2000; Issurin, 2010). Por ello, se recomienda ampliar la duración de los PP en general y de la pretemporada en particular, con el fin de promover una mayor resistencia a la fatiga y una mejor calidad de las adaptaciones a los estímulos del entrenamiento (Bosquet et al., 2007; Castagna et al., 2013; Issurin, 2010; Le Meur et al., 2012).

Por su parte, la segunda mitad de los PC se caracteriza por una alta acumulación de partidos, aumentando las exigencias físicas y fisiológicas de los jugadores y limitando su capacidad de recuperación entre competiciones (Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Issurin, 2010). Estos resultados en estos periodos específicos también están respaldados por los hallazgos referentes al daño muscular, (CK = 147 - 777 u/l; LDH = 208 - 441 u/l) (Barcelos et al., 2017; Horta et al., 2019; Marin et al., 2013; Miloski et al., 2016) y marcadores de estrés oxidativo (Barcelos et al., 2017; Marin et al., 2013; Spanidis et al., 2016), así como en los valores de la ratio T/C, con una gran variabilidad en términos absolutos entre modalidades deportivas (A. Coutts et al., 2007; Filaire et al., 2001; Freitas et al., 2014; Spanidis et al., 2016) (ver Tabla 3). Además, la aplicación de un mayor número de sesiones de recuperación en los periodos de la temporada previamente tratados puede ayudar a evitar o mitigar episodios de sobreentrenamiento (54,57). Este hecho ya ocurre en los PC, donde los entrenadores tienden a reducir la carga de trabajo el día inmediatamente anterior y posterior a los partidos (MD-1 y MD + 1, respectivamente)

(Bosquet et al., 2007; Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019; Le Meur et al., 2012; Rabelo et al., 2016; Salazar et al., 2020).

En resumen, el final de los PP y la segunda fase de los PC parecen ser los momentos más agotadores de la temporada, provocados principalmente por la acumulación de valores elevados de carga de trabajo (Clemente et al., 2020; Debien et al., 2018; Duarte et al., 2019; Issurin, 2010; Milanez et al., 2014; Miloski et al., 2016). Este factor genera un aumento de los valores de RPE, CK, LDH y marcadores de estrés oxidativo, así como una disminución de los valores de bienestar y de la ratio T/C. Por ello, se sugiere que extender la duración de los PP en general y la pretemporada en particular, puede ayudar a mejorar la resistencia a la fatiga y aumentar la calidad de las adaptaciones. Además, la implementación de un mayor número de sesiones de recuperación activa durante el PC puede ayudar a evitar o mitigar los episodios de fatiga derivados del sobreentrenamiento.

### ***Períodos congestionados como factor inductor de fatiga aguda y subaguda***

En los últimos años, el número de competiciones en las que participan los equipos de élite dentro de los PC ha comprimido el calendario competitivo, acumulando dos o incluso tres partidos oficiales a la semana. Parece que los autores llegan a concluir que estos períodos constituyen un potencial factor inductor de fatiga (Bowen et al., 2017; Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019). En este sentido, los PC suelen estar compuestos por un gran número de partidos (dos o incluso tres por semana) (Clemente et al., 2020), con sus respectivos desplazamientos cuando juegan fuera de casa (Duarte et al., 2019). Por tanto, estos factores aumentan la necesidad de aplicar un mayor número de sesiones de recuperación (Rabelo et al., 2016; Salazar et al., 2020), limitando directamente los días

disponibles para introducir cargas de trabajo elevadas (Impellizzeri et al., 2004; Kelly & Coutts, 2007; Manzi et al., 2010), normalmente asociadas al desarrollo de ejercicios de resistencia, fuerza y velocidad (Impellizzeri et al., 2004). Además, existen otros factores que pueden influir en los resultados de la percepción subjetiva de la fatiga, como la duración y organización del periodo competitivo de cada modalidad deportiva (Clemente et al., 2020; Duarte et al., 2019; Ferreira et al., 2021; Milanez et al., 2014). Por tanto, una sola variable de medida no puede explicar con rigor una realidad deportiva tan compleja. Por ejemplo, Ferreira et al (Ferreira et al., 2021) y Clemente et al (Clemente et al., 2020) encontraron correlaciones significativas del RPE con las variables de bienestar y fatiga del DOMS ( $r = 0,60 - 0,80$ ;  $r = 0,62 - 0,82$ , respectivamente), como lo informaron previamente otros estudios (Clemente et al., 2020; Clemente, Mendes, Palao, et al., 2019). Sin embargo, los valores de DOMS y fatiga se mantuvieron altos a lo largo de la temporada, mientras que los valores de RPE disminuyeron en el estudio de Ferreira et al (Ferreira et al., 2021). Los autores de este hallazgo determinaron que este hecho podría deberse al mantenimiento y acumulación de la fatiga, promovida por la carga física y psicológica de los partidos de la competición. Se ha demostrado que la carga física y psicológica desarrollada está inherentemente determinada por las características de la modalidad deportiva (Ribeiro et al., 2020; Scanlan et al., 2015; Wik et al., 2017). Otros autores como Foster et al (Foster, 1998) y Milanez et al (Milanez et al., 2014) sugirieron que los puntajes altos de estrés de entrenamiento y RPE reflejan una baja variabilidad de la carga de trabajo, asociada con la aparición de sobreentrenamiento. Por tanto, el seguimiento de la carga aguda según los periodos de la temporada nos puede dar una imagen global de su distribución, pero no nos permite conocer con precisión los desencadenantes de la fatiga a corto y medio plazo.



Al profundizar en el análisis de la carga interna subjetiva mediante el monitoreo de la fatiga subaguda, se encontró que las semanas congestionadas tienen valores de carga de trabajo más bajos que las semanas normales (Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019). Este hallazgo no sorprende, teniendo en cuenta que el cuerpo técnico realiza habitualmente una sesión de preparación y recuperación el día anterior y posterior al partido, respectivamente (Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Manzi et al., 2010; Mendes et al., 2018). Las sesiones de esta naturaleza se caracterizan por una disminución de la carga de trabajo, por lo que la valoración global de la carga semanal disminuye considerablemente (Clemente, Martinho, et al., 2019; Manzi et al., 2010). Como consecuencia, los días disponibles para desarrollar estrategias para aumentar la carga de trabajo se reducen a dos días a la semana, correspondientes al MD-2 de cada juego (Bosquet et al., 2007; Mendes et al., 2018). Además, estos incrementos de carga tampoco deberían ser excesivamente elevados, ya que los deportistas recuperan plenamente sus habilidades para realizar sesiones de alta intensidad entre las 48 y las 72 horas posteriores a un partido (Silva et al., 2018). Este hecho, junto con la carga física, emocional y cognitiva acumulada de los partidos, puede explicar por qué las semanas congestionadas presentan valores más altos de DOMS y fatiga que las semanas regulares, a pesar de reportar resultados de menor carga de trabajo (Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Ispirlidis et al., 2008). Estos hallazgos son consistentes en las disciplinas de baloncesto, fútbol sala y balonmano (Clemente, Martinho, et al., 2019; Clemente, Mendes, Bredt, et al., 2019; Clemente, Oliveira, et al., 2019) pero no en voleibol, donde Mendes et al (Mendes et al., 2018) reportaron valores más altos de carga interna y valores más bajos de bienestar en las semanas congestionadas a las semanas regulares, respectivamente. Además de la evolución de las cargas de trabajo a lo largo de la semana mencionada anteriormente, la carga interna de los partidos juega

un papel fundamental para la acumulación de fatiga en los deportes de equipo (Dal Pupo et al., 2017; Le Meur et al., 2012; Timoteo et al., 2017). En los partidos de voleibol, la duración de cada punto de juego, el número de sets logrados y la limitación en el número de sustituciones por set son factores que dificultan predecir la carga interna que experimentan los jugadores (Calleja-Gonzalez et al., 2019; Moreira et al., 2013). Estos factores pueden explicar los hallazgos de Mendes et al (Mendes et al., 2018), donde el 68% de los partidos de la segunda ronda de la Superliga llegaron a 4 sets y en el 91% de los partidos de la segunda ronda a 5 sets. Por lo tanto, la acumulación de partidos de larga duración podría limitar la capacidad de recuperación de los atletas, elevando considerablemente los marcadores de fatiga y DOMS, y alterando los valores de RPE (Calleja-Gonzalez et al., 2019).

En resumen, parece que los PC en general y las semanas congestionadas en particular favorecen el desarrollo de altos niveles de fatiga aguda y subaguda, identificada por altos niveles de DOMS y fatiga junto con bajos niveles de RPE, principalmente debido a la acumulación de carga de trabajo derivada de los partidos. Por otro lado, el alto estrés de entrenamiento y los valores de RPE pueden exponer poca variación de las cargas de trabajo, lo que puede conducir a un estado de sobreentrenamiento. Por lo tanto, se puede recomendar implementar un mayor número de sesiones de recuperación en semanas congestionadas, así como una planificación de la carga de trabajo que garantice una supercompensación positiva, para evitar la acumulación de períodos de alta fatiga para los equipos a corto y medio plazo.

## LIMITACIONES DEL ESTUDIO Y DIRECCIONES FUTURAS

Si bien los resultados de esta revisión sistemática han aportado una visión global de cómo identificar episodios de fatiga a lo largo de la temporada en deportes colectivos de interior de nivel élite, a través del seguimiento de variables de carga de trabajo de diferente naturaleza, deben reconocerse algunas limitaciones del estudio. Primero, solo se incluyeron estudios de las bases de datos Web of Science, PubMed y Scopus escritos en inglés, lo que puede limitar el descubrimiento de publicaciones relevantes en otros idiomas. Además, la escasez de estudios centrados en la identificación de episodios de fatiga a través de variables de monitorización de la carga de trabajo hace que se deban extraer conclusiones genéricas al respecto en deportes colectivos de interior, sin tener en cuenta las particularidades de las exigencias físicas y fisiológicas de cada modalidad. Por último, muy pocos estudios analizan estadísticamente variables de monitorización de la carga de trabajo de diferente naturaleza de forma integradora, lo que podría haber aportado conclusiones más rigurosas y consistentes.

Futuras investigaciones deberían abordar la identificación de episodios de fatiga en deportes colectivos de interior integrando en el análisis variables de diferente naturaleza (físicas, psicológicas y fisiológicas principalmente), con el fin de extraer conclusiones que den una respuesta sólida y rigurosa al complejo adaptativo de los atletas.

## **APLICACIONES PRÁCTICAS**

A menudo, los atletas de modalidades colectivas de interior compiten 2 o 3 veces por semana, reportando altos valores de carga cognitiva, física y fisiológica de los partidos. Este hecho a priori limita la implementación de entrenamientos con altos volúmenes e intensidades dentro del PC más importante de la temporada. Este hecho hace especialmente relevante la necesidad de optimizar las cargas de trabajo derivadas del entrenamiento para mejorar la resistencia a la fatiga y promover adaptaciones positivas en los jugadores. Por tanto, la identificación de los periodos de la temporada más propensos a generar fatiga en las modalidades colectivas de interior puede ser de utilidad para que el cuerpo técnico tome las pautas de actuación de periodización adecuadas, que permitan reducir el número de lesiones y sobrecargas no funcionales sin detrimento de la pérdida de forma física.

**PARTE IV**  
**(ESTUDIO 2)**

## ESTUDIO II

### *Validez y confiabilidad de transductores de posición lineal y transductores de velocidad lineal: una revisión sistemática.*

Esta revisión sistemática tuvo como objetivo resumir y analizar la evidencia sobre la confiabilidad y validez de los transductores lineales (LT) en ejercicios de diferente naturaleza y diferentes modos de ejecución. Esta revisión sistemática se llevó a cabo bajo las pautas PRISMA utilizando tres bases de datos (PubMed, Web of Sciences y Scopus). De los 351 encontrados inicialmente, 21 fueron incluidos en la síntesis cualitativa. Los resultados reflejaron que los transductores de posición lineal (LPT) fueron válidos y confiables para monitorear la velocidad de movimiento en ejercicios no pliométricos. Sin embargo, la precisión y la fiabilidad fueron menores en los protocolos de ejecución sin fase isométrica y en la ejecución de ejercicios en múltiples planos de movimiento, con mayores errores de medición a mayores frecuencias de muestreo. Por otro lado, los transductores de velocidad lineal (LVT) demostraron ser válidos y confiables en la medición de la velocidad durante los ejercicios pliométricos y no pliométricos realizados en la máquina Smith, con menor variación en la medición en estos últimos. Finalmente, se recomienda el uso de valores pico, ya que son menos dependientes de los errores tecnológicos de los LT. Por tanto, la realización de ejercicios no pliométricos, realizados en máquina Smith y con una fase isométrica en la ejecución del movimiento, ayudará a minimizar el error tecnológico de los LT.

## STUDY II

### *Validity and Reliability of Linear Position Transducers and Linear Velocity*

#### *Transducers: A Systematic Review*

This systematic review aimed to summarize and analyze the evidence on the reliability and validity of linear transducers (LTs) in exercises of different nature and different modes of execution. This systematic review was carried out under PRISMA guidelines, and was carried out using three databases (PubMed, Web of Sciences, and Scopus). Of the 351 initially found, 21 were included in the qualitative synthesis. The results reflected that linear position transducers (LPTs) were valid and reliable in monitoring movement velocity in non-plyometric exercises. However, precision and reliability were lower in execution protocols without isometric phase and in the execution of exercises in multiple planes of movement, with greater measurement errors at higher sampling frequencies. On the other hand, linear velocity transducers (LVTs) proved to be valid and reliable in measuring velocity during plyometric and non-plyometric exercises performed on the Smith machine, with less variation in measurement in the latter. Finally, the use of peak values is recommended, since they are less dependent on the technological errors of LTs. Therefore, the performance of non-plyometric exercises, carried out in the Smith machine and with an isometric phase in the execution of the movement, will help to minimize the technological error of the LTs.

## INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de resistencia es considerado un componente fundamental en la preparación física del deportista, donde el entrenamiento basado en la velocidad (VBT, por sus siglas en inglés) se ha postulado como uno de los principales métodos de seguimiento (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Izquierdo et al., 2006; Pereira & Gomes, 2003; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). De hecho, dado que se ha demostrado una fuerte correlación entre la velocidad de ejecución y una repetición máxima (1RM) (García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, & Haff, 2018; Muñoz-López et al., 2017; Pérez-Castilla, García-Ramos, et al., 2020), la monitorización de VBTB permite crear un perfil de fuerza-velocidad (F-V) individualizado (Alcazar et al., 2017; Banyard et al., 2018), así como el grado de fatiga (García-Ramos, Torrejón, Feriche, Morales-Artacho, Pérez-Castilla, et al., 2018; Haff & Nimphius, 2012; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Por lo tanto, VBT facilita la prescripción de zonas de entrenamiento de velocidad personalizadas y el conocimiento del estado fisiológico del atleta (Conceição et al., 2016; González-Badillo et al., 2015; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) de una manera robusta, no invasiva y altamente sensible (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Martínez-Cava et al., 2019; Morán-Navarro et al., 2019; Sánchez-Medina et al., 2017; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011).

Sin embargo, para ofrecer una prescripción de VBT segura y efectiva, esas tecnologías deben ser válidas y confiables (Martínez-Cava et al., 2020), lo que dificulta la decisión de qué tecnología debe usarse entre una amplia gama de dispositivos. Entre las diferentes tecnologías VBT disponibles comercialmente, el sistema de captura de movimiento tridimensional (3D) y las plataformas de fuerza suelen considerarse los



sistemas más precisos (Giroux et al., 2015; Lorenzetti et al., 2017; Rahmani et al., 2001; Sato et al., 2015). Sin embargo, debido al crecimiento incremental de fabricantes y sucursales, junto con la viabilidad en términos de practicidad y/o rentabilidad (Cronin et al., 2004; Walsh et al., 2006), se han validado otro tipo de tecnologías (J. Weakley et al., 2021). Por ejemplo, los transductores de posición lineal (LPT, por sus siglas en inglés) se postulan como una alternativa práctica y asequible para la cuantificación de variables de velocidad, potencia y fuerza en un entorno práctico de trabajo (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; García-Ramos et al., 2017; Garnacho-Castaño et al., 2015), y se han convertido en los transductores lineares (LT, por sus siglas en inglés) más utilizados en el campo científico y práctico (Balsalobre-Fernández et al., 2016; Banyard, Nosaka, Sato, et al., 2017; García-Ramos et al., 2017). El LPT consiste en un dinamómetro isoinercial con un cable que generalmente está conectado a la barra y mide directamente el desplazamiento vertical del cable, derivando el tiempo de desplazamiento utilizando el enfoque de dinámica inversa para obtener la velocidad (Harris et al., 2010; Pérez-Castilla et al., 2019). Entre otras alternativas, recientemente se han desarrollado transductores de velocidad lineal (LVT, por sus siglas en inglés) que proporcionan mediciones de velocidad directamente, mediante el registro de señales eléctricas que son proporcionales a la velocidad de extensión del cable (McMaster et al., 2014; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). La validación de estos dispositivos es necesaria en una amplia variedad de ejercicios, con diferentes modelos de ejecución, así como diferentes rangos de carga (Mitter et al., 2019).

En este escenario, tanto los LPT como los LVT tienen diferentes limitaciones inherentes a su tecnología, que pueden alterar los datos de velocidad resultantes según los ejercicios evaluados y la forma en que se realicen (Król & Gołaś, 2017; Swinton et al., 2011, 2012). Hasta la fecha y hasta donde sabemos, a pesar del amplio espectro de

artículos de validación de LT (Courel-Ibáñez et al., 2019; Crewther et al., 2011; Fernandes et al., 2018; Gonzalez et al., 2019; Mitter et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2019), solo existe una revisión sistemática al respecto (J. Weakley et al., 2021). Además, este estudio (J. Weakley et al., 2021) no diferenció entre LPT y LVT. Este es un aspecto relevante ya que las tecnologías de cada tipo de dispositivo al momento del muestreo y tratamiento de datos pueden marcar diferencias en los valores finales (Harris et al., 2010; McMaster et al., 2014; Pérez-Castilla, García-Ramos, et al., 2020; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Además, los autores solo tuvieron en cuenta si los LT se compararon con un patrón oro y el plano en el que se realizó el ejercicio (2D o 3D), sin investigar factores como la naturaleza (pliométrica o no pliométrica) de los ejercicios evaluados, ni el modo de ejecución del movimiento (regímenes de contracción). Se ha demostrado que estas variables alteran los parámetros cinéticos y cinemáticos (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017; Swinton et al., 2011, 2012). Por tanto, el objetivo de esta revisión sistemática es resumir y analizar la validez y fiabilidad de LPT y LVT, en ejercicios de diversa naturaleza y con diferentes formas de ejecución.

## **MÉTODOS**

### ***Enfoque experimental del problema***

Se realizó una revisión sistemática de acuerdo con las pautas PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta Analyses) (Moher et al., 2009) y las pautas para realizar revisiones sistemáticas en ciencias del deporte (Rico-González, Pino-Ortega, Clemente, & Arcos, 2021).

### ***Estrategia de búsqueda***

Se realizó una búsqueda sistemática en tres bases de datos (PubMed, Web of Sciences y Scopus) para identificar artículos publicados antes del 15 de febrero de 2021. Se ingresaron palabras clave y sinónimos en varias combinaciones en el título, resumen o palabras clave: (validity OR reliability OR precision OR agreement) AND (transducer OR encoder) AND (sport OR exercise). Además, se realizaron búsquedas manuales en las listas de referencias de los estudios recuperados para identificar estudios potencialmente elegibles no capturados por las búsquedas electrónicas.

### ***Estrategia de cribado y selección de estudios***

Cuando los autores referidos completaron la búsqueda (A.M.V., M.R.G. y J.P.O.), compararon los resultados entre ellos para asegurar que se identificaran los mismos artículos. Luego, uno de los autores (A. M. V.) descargó y colocó los datos principales de los artículos (título, autores, fecha y base de datos) en una hoja de cálculo de Excel (Microsoft Excel, Microsoft, Redmond, EE. UU.). Luego, dos autores (A.M.V. y J.P.O)

eliminaron los duplicados. Los artículos restantes fueron examinados y verificados por dos autores de forma independiente (A.M.V. y M.R.G.) frente a los criterios de inclusión y exclusión (Tabla 1). Además, los artículos relevantes no identificados previamente también se seleccionaron de manera idéntica y los estudios adicionales que cumplieran con los criterios de inclusión-exclusión se incluyeron y etiquetaron como "incluidos de fuentes externas".

**Tabla 1.** Criterios de inclusión/exclusión. *Adaptado y extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

	Inclusión	Exclusión
Población	Las pruebas se realizaron en atletas saludables o adultos activos recreativamente saludables, con experiencia en movimientos de fuerza (p. ej., ejercicios de entrenamiento de resistencia) y/o fuerza (p. ej., saltar, levantar).	Las pruebas no se realizaron en deportistas (p. ej., embarazadas, ancianos) o en adultos sanos activos (p. ej., lesionados) y/o sin experiencia en movimientos de resistencia o potencia..
Intervención	Preocupado por la validez y/o confiabilidad de los transductores de velocidad lineal y/o posición de entrenamiento de resistencia disponibles comercialmente que monitorean la fuerza, la velocidad y las salidas de potencia durante el entrenamiento de resistencia.	No se preocupa por la validez o confiabilidad de los transductores de posición y/o velocidad lineal, o no se evalúa en el entrenamiento de resistencia.
Comparador	En el caso de validez, los transductores se compararon con el estándar de oro reconocido (sistemas de captura de movimiento, placa de fuerza, transductor de posición lineal y/o transductor de velocidad lineal)	Para fines de validez, los transductores no se compararon con métodos estándar de oro reconocidos ni con otros transductores.
Resultados	Estudios que describen la velocidad de ejecución del movimiento evaluado.	Estudios que no describen la velocidad de ejecución del movimiento evaluado.
	En el caso de validez, se incluyó una de las siguientes medidas: (i) coeficiente de correlación intraclase; (ii) coeficiente de correlación; (iii) error estándar de la estimación; y (iv) regresión de productos mínimos	Para fines de validez, los resultados presentados no son el coeficiente de correlación intraclase, el coeficiente de correlación, el error estándar de estimación o la regresión de productos mínimos.
	En el caso de la confiabilidad, se incluyó una de las siguientes medidas: (i) coeficiente de correlación intraclase; (ii) error típico de medición; (iii) coeficiente de variación; y (iv) error estándar de medición.	Para fines de confiabilidad, los resultados presentados no son el coeficiente de correlación intraclase, el error típico de medición, el coeficiente de variación o el error estándar de medición.
Estudio	Investigación original y estudios de texto completo	Otros tipos de artículos además del original (por ejemplo, revisiones, cartas a los editores, registros de ensayos, propuestas de protocolos, editoriales, capítulos de libros y resúmenes de conferencias).

### *Análisis de datos*

La información recopilada de los estudios seleccionados abordó los siguientes aspectos: (i) validez y (ii) confiabilidad del LPT y LVT en las variables de velocidad, potencia y fuerza (velocidad media, velocidad pico, potencia media, potencia pico, fuerza media, fuerza máxima). Además, se extrajeron los siguientes ítems de datos: (i) características de los participantes (número de sujetos, edad, sexo, experiencia); (ii) características de los transductores lineales y comparador (para el caso de estudios de validez); (iii) características del protocolo experimental (ejercicios seleccionados, movimiento de ejecución, cargas de entrenamiento).

### *Calidad de los estudios*

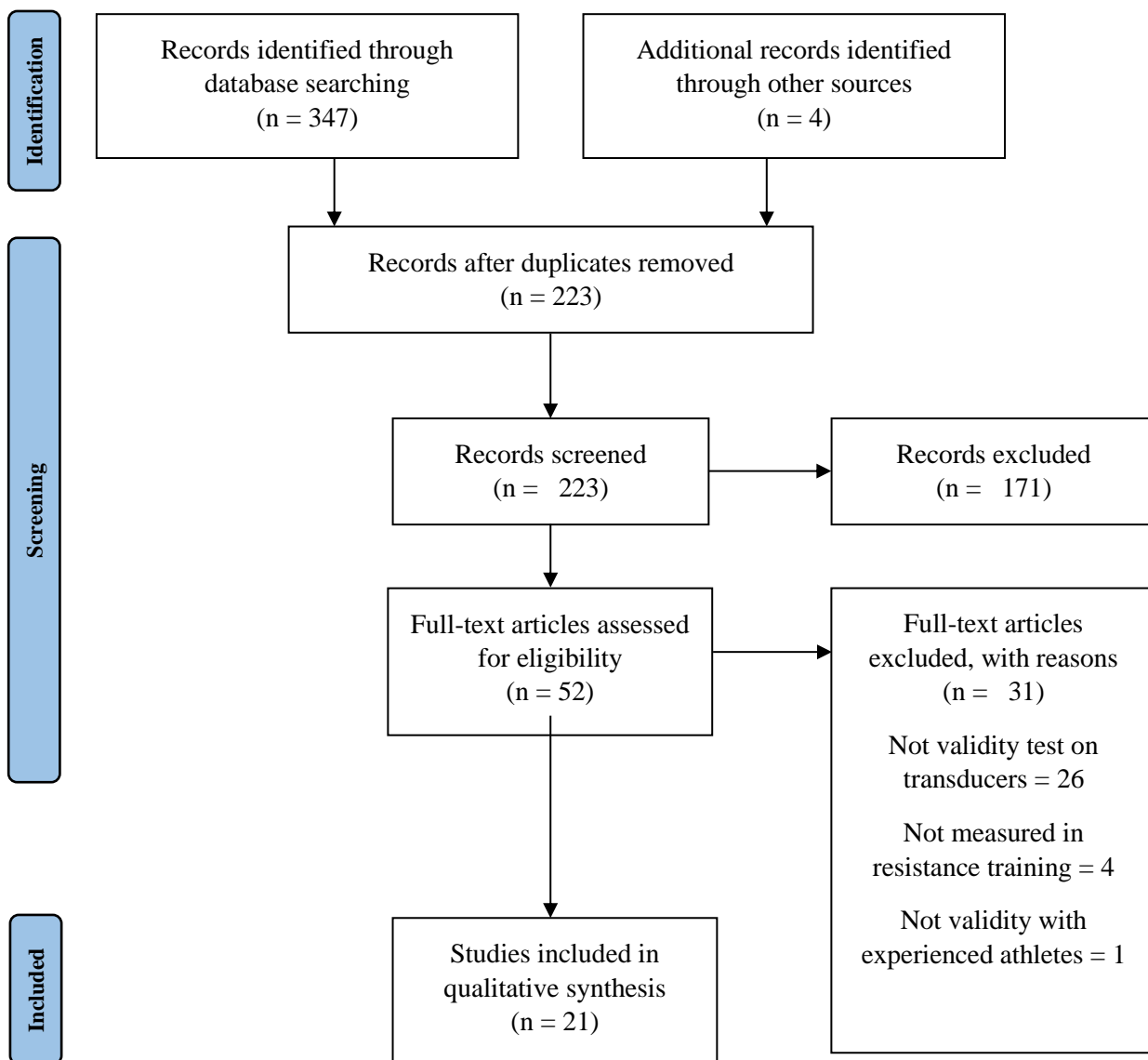
Dos autores (AMV y MRG) realizaron la evaluación metodológica de los estudios elegibles para inclusión utilizando una versión adaptada de los criterios de evaluación STROBE, como se utilizó en O'Reilly et al. (O'Reilly et al., 2018). Por lo tanto, cada artículo fue evaluado utilizando 10 criterios específicos. De presentarse algún desacuerdo, se discutió y resolvió por decisión consensuada. La calificación del estudio se interpretó cualitativamente siguiendo a O'Reilly et al. (O'Reilly et al., 2018): de 0 a 7 puntajes, el estudio fue considerado como riesgo de sesgo (baja calidad); mientras que, si el estudio fue calificado de 8 a 10 puntos, se consideró de bajo riesgo de sesgo (alta calidad).

## **RESULTADOS**

### *Identificación y selección de estudios*

Inicialmente se recuperaron un total de 347 (es decir, PubMed: 155; WoK: 83; Scopus: 109) artículos originales de las bases de datos mencionadas, de los cuales 128 eran duplicados. Así, se encontraron un total de 219 artículos originales. Después de esto, se excluyeron un total de 171 artículos revisados por título y resumen. Los 48 artículos restantes fueron revisados a texto completo, por lo que se excluyeron 30 artículos según el criterio n° 2 y uno según el criterio n° 3. Además, se incluyeron 4 artículos de fuentes adicionales. Un total de 21 artículos cumplieron con todos los criterios de inclusión y finalmente fueron incluidos en la síntesis cualitativa. Todos los pasos seguidos para la selección de los artículos están disponibles en la Figura 1.

Figure 1. PRISMA flow diagram. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*



### *Calidad metodológica*

La calidad metodológica general de los estudios transversales se puede encontrar en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Evaluación metodológica de los estudios incluidos. *Adaptado y extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

Estudio (n = 21)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Puntuación total	Calidad
Askow et al (Askow et al., 2018)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Alta
Courel-Ibáñez et al (Courel-Ibáñez et al., 2019)	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	7	Baja
Crewther et al (Crewther et al., 2011)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	Alta
Dorrel et al (Dorrell et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	7	Baja
Fernandes et al (Fernandes et al., 2018)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	8	Alta
Ferro et al (Ferro et al., 2019)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	9	Alta
García-Ramos et al (García-Ramos et al., 2016)	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	8	Alta
Garnacho-Castaño et al (Garnacho-Castaño et al., 2015)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	8	Alta
Gonzalez et al (Gonzalez et al., 2019)	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	9	Alta
Grgic et al (Grgic et al., 2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	Alta
Hansen et al (Hansen et al., 2011a)	1	0	0	1	1	1	1	0	1	0	6	Baja
Hansen et al (Hansen et al., 2011b)	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	7	Baja
Jennings et al (Jennings et al., 2005)	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	7	Baja
Lorenzetti et al (Lorenzetti et al., 2017)	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	8	Alta
Martínez-Cava et al (Martínez-Cava et al., 2020)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	8	Alta
McGrath et al (McGrath, 2018)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	7	Baja
Mitter et al (Mitter et al., 2019)	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	9	Alta
Orange et al (Orange et al., 2020)	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	8	Alta
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2017)	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	7	Baja
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2019)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Alta
Thompson et al (Thompson et al., 2020)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	Alta
<b>Puntuación total (ítems)</b>	21	9	13	21	21	21	21	13	17	14		

Note: Proporciona en el resumen un resumen informativo y equilibrado de lo que se hizo y lo que se encontró (ítem 1); establece objetivos específicos, incluida cualquier hipótesis preespecificada (ítem 2); Indica los criterios de elegibilidad y las fuentes y métodos de selección de los participantes (ítem 3); para cada variable de interés, proporciona 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); da 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 de posibles sesgos o imprecisiones. Discute tanto la dirección como la magnitud de cualquier sesgo potencial (ítem 8); da una interpretación general cautelosa de los resultados teniendo en cuenta los objetivos, las limitaciones, la multiplicidad de análisis, los resultados de estudios similares y otra evidencia relevante (ítem 9); indica la fuente de financiación y el papel de los financiadores del presente estudio y, si procede, del estudio original en el que se basa el presente artículo (ítem 10).



### *Características de los estudios*

Las características de los protocolos de intervención del estudio están disponibles en la tabla 3.

De los 21 artículos incluidos, ocho investigaron validez y confiabilidad (Askow et al., 2018; Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Garnacho-Castaño et al., 2015; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020), mientras que seis probaron solo validez (Crewther et al., 2011; Fernandes et al., 2018; Gonzalez et al., 2019; McGrath, 2018; Mitter et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2017) y siete sólo la fiabilidad (Ferro et al., 2019; Grgic et al., 2020; Hansen et al., 2011a, 2011b; Jennings et al., 2005; Martínez-Cava et al., 2020; Orange et al., 2020).

En cuanto a los dispositivos evaluados, 18 estudios incluyeron LPT como GymAware (Askow et al., 2018; Crewther et al., 2011; Dorrell et al., 2019; Grgic et al., 2020; Lorenzetti et al., 2017; Mitter et al., 2019; Orange et al., 2020; Thompson et al., 2020), FitroDyne (fitronic) (Fernandes et al., 2018; Jennings et al., 2005; Mitter et al., 2019), Speed4lift (Martínez-Cava et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019), Chronojump (Courel-Ibáñez et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2019), Tendo FitroDyne (McGrath, 2018), HX VPA-200 (Hansen et al., 2011a, 2011b), Tendo Weightlifting Analyzer System (Garnacho-Castaño et al., 2015; Lorenzetti et al., 2017) y Open Barbell (Gonzalez et al., 2019). Además, cinco estudios analizaron LVT como T-Force (García-Ramos et al., 2016; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2017, 2019) y SmartCoach (Ferro et al., 2019).

La validez y confiabilidad de variables cinemáticas como velocidad (Askow et al., 2018; Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Ferro et al.,

2019; García-Ramos et al., 2016; Garnacho-Castaño et al., 2015; Gonzalez et al., 2019; Grgic et al., 2020; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020; McGrath, 2018; Mitter et al., 2019; Orange et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2017, 2019; Thompson et al., 2020), potencia (Askow et al., 2018; Crewther et al., 2011; García-Ramos et al., 2016; Garnacho-Castaño et al., 2015; Grgic et al., 2020; Jennings et al., 2005; Orange et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2017) y fuerza (Askow et al., 2018; Crewther et al., 2011; Dorrell et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Hansen et al., 2011b; Pérez-Castilla et al., 2017) se investigaron utilizando valores máximos y medios. De manera marginal, algunos estudios también evaluaron variables de aceleración (Courel-Ibáñez et al., 2019; Hansen et al., 2011a, 2011b; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020). Estas variables se evaluaron comparando el codificador con un dispositivo estándar de oro (en el caso de la validez). Por lo tanto, los sistemas de captura de movimiento (Askow et al., 2018; Dorrell et al., 2019; Lorenzetti et al., 2017; McGrath, 2018; Mitter et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020), plataformas de fuerza (Crewther et al., 2011; Dorrell et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Hansen et al., 2011a, 2011b; Pérez-Castilla et al., 2017), LPTs (Fernandes et al., 2018; Gonzalez et al., 2019) y LVTs (Courel-Ibáñez et al., 2019; Garnacho-Castaño et al., 2015; Martínez-Cava et al., 2020) se utilizaron como métodos de comparación. Para el análisis de las variables anteriormente mencionadas, ejercicios como sentadilla trasera (Askow et al., 2018; Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Garnacho-Castaño et al., 2015; Gonzalez et al., 2019; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020; Mitter et al., 2019; Orange et al., 2020; Thompson et al., 2020), sentadilla con salto (Crewther et al., 2011; Ferro et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Hansen et al., 2011a, 2011b; Jennings et al., 2005; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2017), sentadilla frontal (Gonzalez et al., 2019), press banca (Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al.,

2019; Fernandes et al., 2018; Garnacho-Castaño et al., 2015; Martínez-Cava et al., 2020; McGrath, 2018; Mitter et al., 2019; Orange et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019), peso muerto (Dorrell et al., 2019; Grgic et al., 2020; Mitter et al., 2019), tracción en banco prono (Courel-Ibáñez et al., 2019), remo inclinado (Fernandes et al., 2018), power clean (Thompson et al., 2020) y curl de bíceps (Jennings et al., 2005) fueron seleccionados.

Los resultados de validez y confiabilidad de los dispositivos LPT y LVT, así como las lecciones aprendidas y las conclusiones finales de los estudios están disponibles en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

**Tabla 3.** Características de los estudios. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
<b>Transductores de posición lineal</b>										
<i>Kinetic Performance Technology</i>										
Askow et al (Askow et al., 2018)	Velocidad pico Velocidad media Fuerza pico Fuerza media Potencia pico Potencia media	Si	Si	GymAware	Frecuencia de muestreo variable, Tasa de muestreo de 50 Hz	Qualysis Motion Capture System (Frecuencia de muestreo 120Hz) & AMTI Force Plate (1200 Hz frecuencia de muestreo)	9 hombres (Edad: 24.3 ± 5.6; 82.5 ± 9.6 kg; 174 ± 10 cm) Exp: > 2 años	Sentadilla trasera (FW)	2 intentos a 75 y 90% 1 RM hasta la fatiga	V <sub>máx</sub> concentrica
Crewther et al (Crewther et al., 2011)	Fuerza pico Potencia pico	Si	No	GymAware	Frecuencia de muestreo variable, Tasa de muestreo de 50 Hz	Plataforma de fuerza (Kistler ; Frecuencia de muestreo 1000 Hz)	12 hombres (Edad: 28,8 ± 6,8; 86,8 ± 9,2 kg; 181 ± 8 cm) Exp: Si	Sentadilla cargada con salto (FW)	2 repeticiones a 20, 40, 60 y 80 kg	V <sub>máx</sub> concentrica + excéntrica controlada

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
Dorrel et al (Dorrell et al., 2019)	Velocidad pico Velocidad media Fuerza pico Fuerza media	Si	Si	GymAware PowerTool	Frecuencia de muestreo variable, Tasa de muestreo de 50 Hz	Cámaras Rapture-E 3D (Frecuencia de muestreo 150Hz) y Plataforma de fuerza (Kistler ; Frecuencia de muestreo 1500 Hz)	13 hombres (Edad: 26,5 ± 4,8; 81,9 ± 12,1 kg; 174 ± 10 cm) Exp: > 2 años	Sentadilla trasera (FW) Press banca (FW) Peso muerto (FW)	3 repeticiones a 80% 1RM para cada ejercicio	V <sub>máx</sub> concentrica + excentrica controlada
Grgic et al (Grgic et al., 2020)	Velocidad pico Velocidad media Potencia pico Potencia media	No	Si	GymAware	Frecuencia de muestreo variable, Tasa de muestreo de 50 Hz	-	10 hombres y 6 mujeres (Media edad: 26,5 años) Exp: > 1 año	Sentadilla (-) Peso muerto	3 repeticiones a 30, 45, 60 y 75% 1RM, y 1 repetición a 90% 1RM, para cada ejercicio	V <sub>máx</sub> concentrica + excentrica controlada
Lorenzetti et al (Lorenzetti et al., 2017)	Velocidad pico Velocidad media Tiempo hasta velocidad pico	Si	Si	GymAware (Kinetic Performance Technology)	Frecuencia de muestreo variable, Tasa de muestreo de 50 Hz	Vicon 3D (Frecuencia de muestreo 100 Hz)	9 hombres (Edad: 30,9 ± 5,9; 92,0 ± 8,7 kg ; 182 ± 6 cm) Exp: 9,7 ± 5,5 años	Back squat Jump squat	2 x 5 repeticiones a 70% 1RM para sentadilla trasera, y 2 x 5 repeticiones a 25 kg para sentadilla con salto	V <sub>máx</sub> concentrica

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
Mitter et al (Mitter et al., 2019)	Velocidad pico Velocidad media	Si	No	GymAware	Frecuencia de muestreo variable, tasa de muestreo de 50 Hz (v. 4)	Vicon 3D (Frecuencia de muestreo 200 Hz)	18 hombres y 6 mujeres (Edad: 25.1 ± 5.1; 90.9 ± 20.0 kg) Exp: > 2 años	Sentadilla trasera (FW) Press banca (FW) Peso muerto (FW)	1-3 repeticiones a 30, 50, 60, 70, 80 y 90% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica + ecc controlada + 0,5s isométrica
Orange et al (Orange et al., 2020)	Velocidad pico Velocidad media Potencia pico Potencia media	No	Si	GymAware	Frecuencia de muestreo variable, tasa de muestreo de 50 Hz (v 2.1.1)	-	29 hombres (Edad: 17.6 ± 1.0; 87.3 ± 20.8 kg; 173 ± 18 cm) Exp: 3,1 ± 1,3 años	Sentadilla trasera (FW) Press banca (FW)	3 repeticiones a 20, 40, 60 y 80% 1RM, y 2 repeticiones a 90% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica
Thompson et al (Thompson et al., 2020)	Velocidad pico Velocidad media	Si	Si	GymAware	Frecuencia de muestreo variable, Tasa de muestreo de 50 Hz	12 Cámaras Raptor 3D Motion Capture (Frecuencia de muestreo 250 Hz)	10 hombres (Edad: 25,0 ± 5,6; 73,6 ± 13,9 kg; 169 ± 6 cm) Exp: > 1 años (élite)	Sentadilla trasera (FW) Power clean	3 repeticiones a 60% 1RM, 2 repeticiones a 70 y 80% 1RM, y 1 repetición a 90% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
<i>Boscosystem</i>										
Courel-Ibáñez et al (Courel-Ibáñez et al., 2019)	Velocidad pico Velocidad media Velocidad media propulsiva	Si	Si	Chronojump	500 Hz (v. 1.7.1)	T-Force (LVT ; v. 2.60 ; Frecuencia de muestreo 1000 Hz)	17 hombres (Edad: 26.0 ± 3.6 ; 81.5 ± 6.8 kg; 178 ± 8 cm) Exp: 11 ± 4 años	Sentadilla trasera (SM) Press banca (SM) Tirón en banco prono (SM)	2 repeticiones a 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80 kg para cada ejercicio	V <sub>máx</sub> concentrica + 0,5-0,7 s excentrica + 1,5 s isometrica
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2019)	Velocidad media	Si	Si	Chronojump	1000 Hz (v.1.6.2)	Trio OptiTrack (Sistema de movimiento óptico; Frecuencia muestreo 120Hz)	14 hombres (Edad: 22,9 ± 1,6; 76,9 ± 7,8 kg; 176 ± 6 cm) Exp: Si	Press banca (SM)	3 repeticiones a 45, 55, 65, 75 y 85% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica
<i>Fitronic</i>										
Fernandes et al (Fernandes et al., 2018)	Velocidad pico Velocidad media	Si	No	FitroDyne	100 Hz	GymAware (LPT ; frecuencia de muestreo reducida a 50 puntos por segundo)	15 hombres (Edad: 31,4 ± 12,2; 84,6 ± 14,8 kg; 180 ± 10 cm) Exp: > 2 años	Press banca (SM) Sentadilla trasera (SM) Remo inclinado (SM)	3 repeticiones a 20, 30, 40, 50, 60, 70 y 80% 1RM para cada ejercicio	V <sub>máx</sub> concentrica

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
Jennings et al (Jennings et al., 2005)	Potencia pico	No	Si	FitroDyne	100 Hz	-	30 hombres (Edad: $24.8 \pm 5.9$ ; $76.5 \pm 11.0$ kg; $178 \pm 6$ cm) Exp: > 3 meses	Biceps Curl Scott Sentadilla con salto (FW)	3 repeticiones a 0, 20, 40, 60, 80 y 90% 1RM para cada ejercicio	V <sub>máx</sub> concentrica + 1 s excentrica + pausa isométrica
Mitter et al (Mitter et al., 2019)	Velocidad pico Velocidad media	Si	No	FitroDyne	100 Hz (v 2.1)	Vicon 3D (Frecuencia de muestreo 200 Hz)	18 hombres y 6 mujeres (Edad: $25.1 \pm 5.1$ ; $90.9 \pm 20.0$ kg) Exp: > 2 años	Sentadilla trasera (FW) Press banca (FW) Peso muerto (FW)	1-3 repeticiones a 30, 50, 60, 70, 80 y 90% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica + ecc controlada + 0,5 s isometrica
<i>Tendo Sports Machines</i>										
Garnacho-Castaño et al (Garnacho-Castaño et al., 2015)	Velocidad pico Velocidad media Potencia pico Potencia media	Si	Si	Tendo Weightlifting Analyzer System	Frecuencia determinada por la velocidad de rotación del disco (v.3.0.4)	T-Force (LVT ; Frecuencia de muestreo 1000 Hz)	71 hombres (Edad: $21,15 \pm 2,75$ ; $74,1 \pm 9,6$ kg; $174 \pm 6$ cm) Exp: $3,2 \pm 1,7$ años	Sentadilla trasera (SM) Press banca (SM)	4 repeticiones a 40 kg, 3 repeticiones a 50 kg, 2 repeticiones a 60 kg, y una serie hasta el fallo muscular a 85% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica + 1 s excentrica



Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
Lorenzetti et al (Lorenzetti et al., 2017)	Velocidad pico Velocidad media Tiempo hasta velocidad pico	Si	Si	Tendo	Frecuencia determinada por la velocidad de rotación del disco (v 4.1.0)	Vicon 3D (Frecuencia de muestreo 100 Hz)	9 hombres (Edad: 30,9 ± 5,9; 92,0 ± 8,7 kg ; 182 ± 6 cm) Exp: 9,7 ± 5,5 años	Sentadilla trasera Sentadilla con salto	2 x 5 repeticiones a 70% 1RM para sentadilla trasera, y 2 x 5 repeticiones a 25 kg para sentadilla con salto	V <sub>máx</sub> concentrica
McGrath et al (McGrath, 2018)	Velocidad media	Si	No	Fitrodyne	Frecuencia determinada por la velocidad de rotación del disco	3D Motion Camera Eagle Motion Camera (Frecuencia de muestreo 200 Hz)	10 hombres (Edad: 23.4 ± 6.8; 84.2 ± 8.8 kg; 178 ± 6 cm) Exp: > 1 año	Press banca (FW)	6 repeticiones a 40 y 80% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica + eccentric controlada + pausa isométrica
<i>Squats &amp; Science</i>										
González et al (Gonzalez et al., 2019)	Velocidad pico Velocidad media	Si	No	Open Barbell System	Velocidad calculada cada 2.8 milímetros	Tendo (LPT ; Frecuencia determinada por la	11 hombres (Edad: 19.4 ± 1.0; 87,2 ± 7,4 kg ; 182,4 ± 6,5 cm)	Sentadilla trasera (FW) Sentadilla frontal (FW)	3 repeticiones a 30, 50, 70% 1RM y 2 repeticiones a 90% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
						velocidad de rotación del disco)	Exp: 5,3 ± 2,2 años			
<i>Unimeasure</i>										
Hansen et al (Hansen et al., 2011a)	Tiempo hasta velocidad pico Tiempo hasta potencia pico Tasa de desarrollo de fuerza	No	Si	HX VPA-200	500 Hz	Plataforma de fuerza (Accupower)	25 hombres (Edad: 24.4 ± 4.9; 98,6 ± 12 kg; 180 ± 10 cm) Exp: Si (elite)	Sentadilla cargada con salto	3 repeticiones a 40 kg	Pausa entre saltos
Hansen et al (Hansen et al., 2011b)	Tiempo hasta velocidad pico Tiempo hasta potencia pico	No	Yes	HX-VPA-200	500 Hz	Plataforma de fuerza (Accupower)	25 hombres (Edad: 23.6 ± 4.8; 180 ± 10 cm) Exp: Si	Sentadilla cargada con salto	3 repeticiones a 40 kg	Pausa entre saltos

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
	Tasa de desarrollo de fuerza									
<i>Speed4Lifts</i>										
Martínez-Cava et al (Martínez-Cava et al., 2020)	Velocidad pico Velocidad media Velocidad media propulsiva	No	Si	Speed4Lifts	100 Hz (v. 2.0)	T-Force (LVT ; Frecuencia de muestreo 1000Hz ; v.1.41)	15 hombres (Edad: 27,0 ± 3,8; 78,8 ± 7,6 kg, 178 ± 6 cm) Exp: Si	Sentadilla trasera (SM) Press banca (SM)	1 repetición a 25, 35, 45, 55, 65, 75, 85, 95 kg para cada ejercicio	V <sub>máx</sub> concéntrica + 0,5-0,7 s excéntrica
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2019)	Velocidad media	Si	Si	Speed4Lifts	1000 Hz (v.4.1)	Trio OptiTrack (Sistema óptico de movimiento; Frecuencia de muestreo 120Hz)	14 hombres (Edad: 22,9 ± 1,6; 76,9 ± 7,8 kg; 176 ± 6 cm) Exp: Si	Press banca (SM)	3 repetición a 45, 55, 65, 75 y 85% 1RM	V <sub>máx</sub> concéntrica
<b>Transductores de velocidad lineal</b>										
<i>SmartCoach</i>										

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
Ferro et al (Ferro et al., 2019)	Velocidad pico	No	Si	SmartCoach	100Hz (v 4.0.12)	-	9 hombres (Edad: 20,78 ± 2,1; 74,5 ± 10,5 kg; 176 ± 5 cm) Exp: Si	Salto con contramovimiento (SM)	5 reps a 20, 25, 30, 35, 40 y 45 kg	V <sub>máx</sub> concentrica + 2 s de pausa entre saltos
<i>Ergotech</i>										
García-Ramos et al (García-Ramos et al., 2016)	Velocidad pico Velocidad media Potencia pico Potencia media Fuerza pico Fuerza media	Si	Si	T-Force	1000 Hz	Plataforma de fuerza (Frecuencia de muestreo 1000 Hz)	23 mujeres (Edad: 16,0 ± 2,7 ; 57,0 ± 7,0 kg ; 166,8 ± 5,8 cm) Exp: Si	Sentadilla con salto (SM)	2 repeticiones a 25, 50, 75 y 100% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica + excentrica controlada + 2s pausa isométrica
Lorenzetti et al (Lorenzetti et al., 2017)	Velocidad pico Velocidad media Tiempo hasta velocidad pico	Si	Si	T-Force	1000 Hz (v 2.3)	Vicon 3D (Frecuencia de muestreo 100 Hz)	9 hombres (Edad: 30,9 ± 5,9; 92,0 ± 8,7 kg ; 182 ± 6 cm) Exp: 9,7 ± 5,5 años	Sentadilla trasera Sentadilla con salto	2 x 5 repeticiones a 70% 1RM para sentadilla trasera, y 2 x 5 repeticiones a 25 kg para sentadilla con salto	V <sub>máx</sub> concentrica

Estudio	Variable estudiada	Evalua validez	Evalua fiabilidad	Dispositivo	Características del dispositivo		Características del grupo de estudio	Ejercicios evaluados	Protocolo experimental	Ejecución del movimiento
					(frecuencia de muestreo, versión)	Características del comparador				
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2017)	Velocidad pico	Si	No	T-Force	1000Hz	Plataforma de fuerza (Dinascan ;	23 hombres (Edad: 23,1 ± 3,2;	Sentadilla con salto restringida (SM)	2 repeticiones a 17, 30, 45, 60 y 75 kg	V <sub>máx</sub> concentrica + 1,5 s excentrica + 1,5 s isométrica
	Fuerza pico					Frecuencia de muestreo 1000Hz)	74,7 ± 7,3 kg; 177 ± 7 cm)			
	Potencia pico						Exp: Si	Sentadilla con salto (SM)		
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2019)	Velocidad media	Si	Si	T-Force	1000 Hz (v.2.28)	Trio OptiTrack (Sistema de óptico de movimiento;	14 hombres (Edad: 22,9 ± 1,6;	Press banca (SM)	3 repeticiones a 45, 55, 65, 75 y 85% 1RM	V <sub>máx</sub> concentrica
						Frecuencia de muestreo 120Hz)	76,9 ± 7,8 kg; 176 ± 6 cm)			
							Exp: Si			

Note: 3D: Three dimensions ; cm: centimeters ; Exp: Experience ; FW: Free Weight ; Hz: hertz ; kg: kilograms ; LPT: Linear Position Transducer ; LVT: Linear Velocity Transducer ; RM: Repetition Maximum ; s: seconds ; SM: Smith machine ; v.: Version ; V<sub>máx</sub>: Maximum Velocity

**Tabla 4.** Validez de los transductores lineales para la medida de la velocidad de movimiento de la barra, potencia y fuerza. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

Ref.	Dispositivo	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
<i>Transductores de posición lineal</i>									
Askow et al (Askow et al., 2018)	GymAware	Sentadilla trasera (FW)	SEE	0,05 m/s	0,04 m/s	PP: 80,3 W MP: 77,4 W	PF: 101,5 N MF: 45,8 N		Dispositivo válido, excepto para velocidades pico altas.  No intercambiable, ya que sobreestima las variables medias, mientras que subestima las variables pico.
Courel-Ibáñez et al (Courel-Ibáñez et al., 2019)	Chronojump	Sentadilla trasera (SM)	ICC SEE	0,989 0,05 m/s	0,984 0,04 m/s			MPV: 0,986 0,04 m/s	Chronojump es una alternativa válida, considerando los márgenes de error particulares de cada ejercicio y resultado de velocidad.
		Press banca (SM)	ICC SEE	0,998 0,04 m/s	0,992 0,05 m/s			MPV: 0,997 0,06 m/s	
		Tirón en banco prono (SM)	ICC SEE	0,997 0,05 m/s	0,993 0,04 m/s			MPV: 0,994 0,03 m/s	
Crewther et al (Crewther et al., 2011)	GymAware	Sentadilla con salto (FW)	r			PP: 0,62 – 0,82	PF: 0,59 – 0,87		Validez de moderada a fuerte para la medición de la fuerza máxima y la potencia máxima.  Errores aleatorios relativamente grandes, con una carga de 20 kg.

Ref.	Dispositivo	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
Dorrel et al (Dorrell et al., 2019)	GymAware	Sentadilla trasera (FW)	R <sup>2</sup>	0,99	0,99				Dispositivo con elevada validez.
		Press banca (FW)	R <sup>2</sup>	0,99	0,93				
		Peso muerto (FW)	R <sup>2</sup>	0,99	0,54				Precaución en el peso muerto (velocidad pico más robusta que la velocidad media).
Fernandes et al (Fernandes et al., 2018)	FitroDyne (fitronic)	Press banca (SM)	r	0,79 – 0,99	0,86 – 0,94				Dispositivo válido.
		Sentadilla trasera (SM)	r	0,99 – 1,00	0,94 – 1,00				No intercambiable con GymAware
		Remo inclinado (SM)	r	0,91 – 0,98	0,91 – 0,98				
Garnacho- Castaño et al (Garnacho- Castaño et al., 2015)	Tendo Weightlifting Analyzer System	Sentadilla trasera (SM)	ICC	0,963	0,985	PP: 0,853			
		Press banca (SM)	ICC	0,963	0,989	MP: 0,966 PP: 0,905			Adecuada validez concurrente
		Ambos ejercicios	R <sup>2</sup>	0,924	0,956	MP: 0,968 PP: 0,837 MP: 0,913			

Ref.	Dispositivo	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
Gonzalez et al (Gonzalez et al., 2019)	Open Barbell System	Sentadilla trasera (FW)	r	0,58 – 0,95	0,25 – 0,35				Diferencias más sustanciales en la velocidad máxima a medida que aumentaban las cargas.
		Sentadilla frontal (FW)	r	0,49 – 0,86	-0,27 – 0,60				
		Ambos ejercicios	ICC SEE	0,790 - 0,979 0,040 – 0,119 m/s	0,974 - 0,998 0,007 – 0,015 m/s				
McGrath et al (McGrath, 2018)	FitroDyne (Tendo)	Press banca (FW)	ICC R <sup>2</sup>		0,977 0,985				Dispositivo válido.  Gran grado de error aleatorio (sobreestimación con cargas del 80 % de 1RM y subestimación con cargas del 40 % de 1RM).
Mitter et al (Mitter et al., 2019)	GymAware	Sentadilla trasera (FW)	SEE	0,019 m/s	0,024 m/s				Ambos dispositivos válidos, pero GymAware mayor precisión para la medida de velocidades medias y pico.  FitroDyne válido para todos los ejercicios, pero notable SEE en todos los valores medios.
		Press banca (FW)	SEE	0,014 m/s	0,030 m/s				
		Peso muerto (FW)	SEE	0,017 m/s	0,029 m/s				
	FitroDyne (Fitronic)	Sentadilla trasera (FW)	SEE	0,022 m/s	0,073 m/s				
		Press banca (FW)	SEE	0,019 m/s	0,100 m/s				



Ref.	Dispositivo	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
		Press banca (FW)	SEE	0,018 m/s	0,084				
Thompson et al (Thompson et al., 2020)	GymAware	Sentadilla trasera (FW)	R <sup>2</sup>	0,96 – 0,99	0,95 – 0,99				El dispositivo resultó ser válido.
		Power clean	R <sup>2</sup>	0,86 – 0,95	0,42 – 0,95				R2 fue más pobre en velocidad media con cargas más pesadas (90% 1RM).
<i>Transductores de velocidad linear</i>									
García-Ramos et al (García-Ramos et al., 2016)	T-Force	Sentadilla con salto (SM)	r	0,827 – 0,909	0,866 – 0,894	PP: 0,901 – 0,944 MP: 0,928 – 0,959	PF: 0,937 – 0,987 MF: 0,963 – 0,989		Dispositivo válido Mayor a medida que aumenta la carga a superar, especialmente a partir del 75% de 1RM.
									No intercambiable con la plataforma de fuerza
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2017)	T-Force	RSJ	r	0,65 – 0,92		PP: 0,85 – 0,95	PF: 0,88 – 0,94		Dispositivo válido
		NRSJ	r	0,71 – 0,87		PP: 0,80 – 0,91	PF: 0,90 – 0,95		No intercambiable con la plataforma de fuerza
<i>Transductores de posición linear y transductores de velocidad linear</i>									
	T-Force	Sentadilla trasera	SEE	0,151 m/s	0,070 m/s			TTPV: 0,026 m/s	

Ref.	Dispositivo	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
Lorenzetti et al (Lorenzetti et al., 2017)		Sentadilla con salto	SEE	0,263 m/s	0,167 m/s			TTPV: 0,045 m/s	Las preguntas sobre si un dispositivo es "válido" dependen claramente de la pregunta de investigación, respectivamente, de la magnitud de los valores a cuantificar.
	Tendo	Sentadilla trasera	SEE	0,194 m/s	0,046 m/s			TTPV: 0,041 m/s	
	Weightlifting Analyzer System	Sentadilla con salto	SEE	0,135 m/s	0,157 m/s			TTPV: 0,064 m/s	
	GymAware	Sentadilla trasera	SEE	0,163 m/s	0,064 m/s			TTPV: 0,042 m/s	
		Sentadilla con salto	SEE	0,304 m/s	0,160 m/s			TTPV: 0,046 m/s	
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2019)	T-Force	Press banca (SM)	ICC		0,77 – 0,95				Alta validez de los tres dispositivos.
			r		0,995				
	Chronojump	Press banca (SM)	ICC		0,72 – 0,90				Speed4Lift es el dispositivo más apropiado para medir la velocidad.
			r		0,991				
Speed4Lift	Press banca (SM)	ICC		0,81 – 0,94					
		r		0,994					

Note: ICC: Intra-Class Correlation ; FW: Free Weight ; m/s: meters per second ; MF: Mean Force ; MP: Mean Power ; MPV: Mean Propulsive Velocity ; N: Newtons ; NRSJ: Not restricted squat jump; PF: Peak Force ; PP: Peak Power ; r: Correlation coefficient ; R2: Minimal products regression ; RSJ: Restricted Squat Jump ; SEE: Standard Error of the Estimate ; SM: Smith machine ; TTPV: Time To Peak Velocity ; v: version ; W: Watts.

**Tabla 5.** Fiabilidad de los transductores lineales para la medida de la velocidad de movimiento de la barra, potencia y fuerza. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2021)*

Ref.	Dispositivo (tipo de fiabilidad)	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
<i>Transductores de posición linear</i>									
Askow et al (Askow et al., 2018)	GymAware (intra- dispositivo)	Sentadilla trasera (FW)	ICC	0,982	0,966	PP: 0,993 MP: 0,972	PF: 0,979 MF: 0,992		Dispositivo fiable en todos los valores de velocidad, potencia y fuerza.
Dorrel et al (Dorrell et al., 2019)	GymAware (intra- dispositivo)	Sentadilla trasera	TEM	6,4 – 11,5 %	5,6 – 10,0 %		PF: 3,4 – 6,1 % MF: 0,5 – 0,9 %		Alta confiabilidad, debido a TEM bajo-moderado para todas las variables.
		Press banca	TEM	4,9 – 8,7 %	5,8 – 10,5 %				
		Peso muerto	TEM	7,0 – 12,5 %	5,5 – 9,8 %		PF: 2,5 – 4,4 % MF: 1,3 – 2,2 %		
Fernandes et al (Fernandes et al., 2018)	FitroDyne fitronic (intra- dispositivo)	Press banca (SM)	CV	1,1 – 5,6 %	1,6 – 7,5 %				Ambos dispositivos son fiables para medir la velocidad máxima y media.
		Sentadilla trasera (SM)	CV	2,1 – 5,9 %	1,6 – 9,0 %				
		Remo inclinado (SM)	CV	2,0 – 6,3 %	2,1 – 7,1 %				Los datos recopilados en GymAware en sentadillas con cargas altas (80% 1RM) deben interpretarse con precaución.
		Press banca (SM)	CV	1,1 – 6,1 %	1,2 – 6,3 %				

Ref.	Dispositivo (tipo de fiabilidad)	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
Garnacho- Castaño et al (Garnacho- Castaño et al., 2015)	GymAware (intra- dispositivo)	Sentadilla trasera (SM)	CV	2,0 – 4,8 %	2,1 – 11,2 %				
		Remo inclinado (SM)	CV	1,6 – 6,7 %	2,4 – 6,0 %				
	Tendo Weightlifting Analyzer System (intra- dispositivo)	Sentadilla trasera (SM)	ICC	0,966	0,982	PP: 0,922 MP: 0,969			
		Weightlifting Analyzer System	CV	9,6 %	8,5 %	PP: 13,0 % MP: 10,9 %			Alta fiabilidad test-retest
		Press banca (SM)	ICC	0,988	0,977	PP: 0,970 MP: 0,983			
			CV	9,0 %	9,6 %	PP: 13,2 % MP: 13,7 %			
Grgic et al (Grgic et al., 2020)	GymAware (intra- dispositivo)	Sentadilla	ICC	0,82 – 0,95	0,78 – 0,95	PP: 0,96 – 0,99 MP: 0,94 – 0,99			Dispositivo fiable
			CV	2,3 – 5,1 %	2,4 – 9,7 %	PP: 3,5 – 6,1 % MP: 2,8 – 6,9 %			Fiabilidad constante en todo el espectro de carga (30-90 % 1RM)
			SEM	0,04 – 0,08 m/s	0,03 – 0,06 m/s	PP: 94 – 176 W MP: 34 – 78W			

Ref.	Dispositivo (tipo de fiabilidad)	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
		Peso muerto	ICC	0,79 – 0,95	0,63 – 0,84	PP: 0,91 – 0,99 MP: 0,93 – 0,99			
			CV	2,2 – 8,3 %	3,3 – 10,6 %	PP: 3,0 – 8,8% MP: 2,8 – 9,3%			
			SEM	0,03 – 0,08 m/s	0,03 – 0,05 m/s	PP: 44 – 115 W MP: 20 – 56W			
Hansen et al (Hansen et al., 2011a)	HX VPA-200 (intra-dispositivo)	Sentadilla con salto	ICC			RFD: 0,75		TTPV: 0,90 TTPP: 0,94	Baja fiabilidad en RFD.
			CV			RFD: 13,9 %		TTPV: 9,4% TTPP: 10,7%	
Hansen et al (Hansen et al., 2011b)	HX VPA-200 (intra-dispositivo)	Sentadilla con salto	ICC			RFD: 0,33	PF: 0,88	TTPF: 0,95	Fiable en potencia pico.
			CV			RFD: 44,5 %	PF: 4,8 %	TTPF: 14,3 %	No fiable en RFD.
Jennings et al (Jennings et al., 2005)	FitroDyne Fitronic (intra-dispositivo)	Curl de biceps Sentadilla con salto (FW)	ICC			PP: 0,97			Alta fiabilidad, tanto en ejercicios multiarticulares como monoarticulares.
		Sentadilla trasera (FW)	ICC	0,65 – 0,79	0,72 – 0,83	PP: 0,58 – 0,84 MP: 0,77 – 0,82			

Ref.	Dispositivo (tipo de fiabilidad)	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales	
				Velocidad pico	Velocidad media					
Orange et al (Orange et al., 2020)	GymAware (intra-dispositivo)		SEM	0,06 – 0,09 m/s	0,03 – 0,05 m/s	PP: 196,4 – 250,4 W MP: 73,0 – 102,5 W			Gran fiabilidad en la medición de la velocidad, especialmente para la velocidad media 40-90% 1RM en sentadilla.  También especialmente confiable para velocidades máximas 40-80% 1RM.	
			Press banca (FW)	ICC	0,68 – 0,82	0,64 – 0,87	PP: 0,64 – 0,91 MP: 0,81 – 0,91			
				SEM	0,05 – 0,13 m/s	0,03 – 0,09 m/s	PP: 38,7 – 78,0 W MP: 27,1 – 52,8 W			
Thompson et al (Thompson et al., 2020)	GymAware (intra-dispositivo)	Sentadilla trasera (FW)	CV	4,9 – 22,0 %	2,9 – 13,6 %				Alta confiabilidad, pero CV y TEM aumentaron a medida que aumentó la carga relativa (principalmente al 90 % y 100 % de 1RM)	
			TEM	0,07 – 0,15 m/s	0,02 – 0,04 m/s					
		Power clean	CV	2,5 – 4,0 %	2,2 – 8,9 %					
			TEM	0,05 – 0,09 m/s	0,03 – 0,08 m/s					
<i>Transductores de velocidad lineal</i>										
			ICC	0,913 – 0,966					Dispositivo fiable	

Ref.	Dispositivo (tipo de fiabilidad)	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
Ferro et al (Ferro et al., 2019)	SmartCoach (intra- dispositivo)	Salto con contramovimiento (SM)	CV	2,87 %					
			TEM	0,06 m/s					
García-Ramos et al (García- Ramos et al., 2016)	T-Force (intra- dispositivo)	Sentadilla con salto (SM)	ICC	0,97	0,88	PP: 0,94	PF: 0,97		
						MP: 0,86	MF: 0,97		
			CV	3,0 %	8,3 %	PP: 5,3 %	PF: 3,3 %		
						MP: 10,1 %	MF: 3,2 %		
<i>Transductores de posición linear y transductores de velocidad linear</i>									
Courel-Ibáñez et al (Courel- Ibáñez et al., 2019)	T-Force (inter- dispositivo)	Sentadilla trasera (SM)	ICC	0,999	0,999			MPV: 0,999	
			CV	0,8 %	1,0 %			MPV: 1,1 %	
			SEM	0,01 m/s	0,01 m/s			MPV: 0,01 m/s	
		Press banca (SM)	ICC	1,000	1,000			MPV: 1,000	
			CV	0,6 %	1,4 %			MPV: 1,3 %	T-Force fue el más fiable para medir velocidad.
		Tirón de banco prono (SM)	SEM	0,01 m/s	0,01 m/s			MPV: 0,01 m/s	Chronojump es una alternativa óptima T-Force.
			ICC	1,000	0,998			MPV: 0,998	
			CV	0,8 %	2,1 %			MPV: 1,9 %	
	SEM	0,01 m/s	0,02 m/s			MPV: 0,02 m/s			
	ICC	0,996	0,991			MPV: 0,991			



Ref.	Dispositivo (tipo de fiabilidad)	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
		Sentadilla	CV	1,8 %	3,6 %			MPV: 3,9 %	
		trasera(SM)	SEM	0,03 m/s	0,03 m/s			MPV: 0,03 m/s	
		Bench press (SM)	ICC	1,000	0,995			MPV: 0,995	
	Chronojump (inter-device)		CV	1,4 %	4,7 %			MPV: 5,2 %	
			SEM	0,02 m/s	0,04 m/s			MPV: 0,04 m/s	
		Prone bench pull	ICC	1,000	0,995			MPV: 0,995	
		(SM)	CV	2,4 %	3,3 %			MPV: 3,4 %	
			SEM	0,04 m/s	0,04 m/s			MPV: 0,04 m/s	
	T-Force	Back squat	ICC	0,933	0,970			TTPV: 0,985	
	(intra-device)	Jump squat	ICC	0,810	0,724			TTPV: 0,655	
	Tendo	Back squat	ICC	0,932	0,963			TTPV: 0,985	
Lorenzetti et al (Lorenzetti et al., 2017)	Weightlifting Analyzer System (intra-device)	Jump squat	ICC	0,860	0,770			TTPV: 0,604	High reliability of the 3 devices, especially for monitoring through mean velocity and time to peak velocity.
	GymAware	Back squat	ICC	0,957	0,958			TTPV: 0,990	
	(intra-device)	Jump squat	ICC	0,852	0,783			TTPV: 0,701	
Martínez-Cava et al (Martínez-	T-Force (inter-device)	Back squat (SM)	ICC CV	1,000 0,46 %	1,000 0,44 %			MPV: 1,000 MPV: 0,58 %	Very reliable T-Force across the entire velocity spectrum.

Ref.	Dispositivo (tipo de fiabilidad)	Ejercicio	Test estadístico	Variables de velocidad		Variables de potencia	Variables de fuerza	Variables de aceleración	Lecciones aprendidas y observaciones finales
				Velocidad pico	Velocidad media				
Cava et al., 2020)	Speed4Lift (inter-device)	Bench press (SM)	SEM	0,01 m/s	0,01 m/s			MPV: 0,01 m/s	Speed4lift is a suitable alternative to the T-Force, especially for velocities with medium and high loads.
			ICC	1,000	1,000			MPV: 1,000	
			CV	0,45 %	0,55 %			MPV: 0,62 %	
		Back squat (SM)	SEM	0,01 m/s	0,01 m/s			MPV: 0,01 m/s	Speed4Lifts reliability decreases as movement velocity increases.
			ICC	0,999				MPV: 0,999	
			CV	0,86 %				MPV: 1,24 %	
			SEM	0,01 m/s				MPV: 0,01 m/s	
		Bench press (SM)	ICC	1,000				MPV: 0,999	
			CV	1,54 %				MPV: 1,80 %	
			SEM	0,02 m/s				MPV: 0,02 m/s	
Pérez-Castilla et al (Pérez-Castilla et al., 2019)	T-Force (intra-device)	Bench press (SM)	ICC		0,77 – 0,95				T-Force was no more reliable than the Chronojump and Speed4lift.
			CV			1,82 – 4,90 %			
	Chronojump (intra-device)	Bench press (SM)	ICC		0,72 – 0,90				
			CV			2,09 – 6,24 %			
	Speed4Lift (intra-device)	Bench press (SM)	ICC		0,81 – 0,94				The data is not interchangeable between devices.
			CV			2,39 – 3,92 %			

Note: CV: % coefficient of variation ; FW: Free weight ; ICC: Intra-Class Correlation ; m/s: meters per second ; MF: Mean Force ; MP: Mean Power ; MPV: Mean Propulsive Velocity ; PF: Peak Force ; PP: Peak Power ; RFD: Rate of Force Development ; RM: Repetition Maximum ; SEM: Standard Error of Measurement ; SM: Smith machine ; TEM: Typical Error of Measurement ; TTPF: Time To Peak Force ; TTPP: Time to peak power ; TTPV: Time To Peak Velocity ; W: Watts

## DISCUSIÓN E IMPLICACIONES

Para lograr una cuantificación precisa, adecuada y efectiva de las cargas de entrenamiento, es necesario que el uso de la tecnología sea válido y confiable. De lo contrario, existe el riesgo de recopilar datos confusos y malas interpretaciones que pueden afectar la calidad del entrenamiento y, por lo tanto, la salud y el rendimiento del atleta. Por lo tanto, el propósito de esta revisión sistemática fue analizar la confiabilidad y validez de los LT, en ejercicios de diversa naturaleza y con diferentes formas de ejecución. En este sentido, se encontró que los LPT fueron válidos y confiables para evaluar la velocidad de movimiento en ejercicios no pliométricos. Sin embargo, los LPT fueron sensibles a los protocolos de ejecución sin pausa isométrica previa a la acción muscular concéntrica y a la ejecución de ejercicios en múltiples planos de movimiento. Como resultado, los errores de medición se maximizaron cuanto mayor era la frecuencia de muestreo del dispositivo. Por otro lado, los LVT demostraron ser válidos y confiables en la medición de la velocidad durante los ejercicios pliométricos y no pliométricos realizados en la máquina Smith, con menores variaciones de medición en estos últimos.

Sin embargo, dadas las diferencias en los pasos necesarios para calcular la velocidad y las variables derivadas de ella (aceleración, fuerza, potencia)(Cormie et al., 2007; Harris et al., 2010; McMaster et al., 2014; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), la validación de LTs puede clasificarse de dos formas: (i) transductores de posición lineal y (ii) transductores de velocidad lineal.

### ***Validez***

Por lo general, los valores de validez se expresan como ICC (pobre: <0,50, moderado: 0,50–0,75), bueno: 0,75–0,90 y excelente: > 0,90 (Koo & Li, 2016)) y/o coeficiente de correlación de Pearson (trivial: 0,10, pequeño: 0,10–0,29, moderado: 0,30–0,49, alto: 0,50–0,69, muy alto: 0,70–0,90 y casi perfecto: > 0,90 (Hopkins et al., 2009)). Adicionalmente, se consideró la regresión de mínimos cuadrados (R<sup>2</sup>) (mayor regresión = mayor precisión) para conocer el grado de correlación existente con los resultados del “gold standard”. Usando estos métodos estadísticos y sus valores como estándar, se pueden unificar los resultados de la presente revisión sistemática.

### ***Validez de los transductores de posición lineal (LPT)***

Los valores extraídos de los LPT destacaron como tecnologías adecuadas para evaluar el movimiento durante ejercicios de fuerza no pliométricos (Askow et al., 2018; Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Garnacho-Castaño et al., 2015; Lorenzetti et al., 2017; McGrath, 2018; Mitter et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020) (Askow et al., 2018; Fernandes et al., 2018; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020), independientemente del espectro de carga (20 - 90% 1RM), o del tipo de ejercicio (sentadilla trasera (Askow et al., 2018; Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Garnacho-Castaño et al., 2015; Lorenzetti et al., 2017; Mitter et al., 2019; Thompson et al., 2020), press banca (Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Garnacho-Castaño et al., 2015; McGrath, 2018; Mitter et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2019), tirón en banco prono (Courel-Ibáñez et al.,

2019), power clean (Thompson et al., 2020), remo inclinado (Fernandes et al., 2018) y peso muerto (Dorrell et al., 2019; Mitter et al., 2019)). Sin embargo, el factor crítico para la precisión de LPT podría ser la forma en que se produce la transición al régimen de contracción concéntrica.

Chronojump, GymAware, Tendo Weightlifting Analyzer System y FitroDyne (Tendo) fueron LPT válidos durante ejercicios no pliométricos con pausa isométrica de 0,5 - 1,5 segundos antes de cada acción muscular concéntrica (ICC = 0,853 - 0,997; R2 = 0,837 - 0,990; SEE = 0,014 - 0,100) (Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Garnacho-Castaño et al., 2015; McGrath, 2018.; Mitter et al., 2019) y sin esas pausas isométricas (ICC = 0,720 - 0,998; r = 0,79 - 1,00; R2 = 0,86 - 0,99 ; SEE = 0,04 - 0,194 m/s) (Askow et al., 2018; Fernandes et al., 2018; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020), destacando una alta consistencia con el estándar de oro propuesto (Raptor 3D Motion Capture (Thompson et al., 2020); Rapture-E 3D (Dorrell et al., 2019); 3D Eagle Motion (McGrath, 2018), Vicon 3D (Lorenzetti et al., 2017) Qualysis Motion Capture System (Askow et al., 2018), TrioOptiTrack (Pérez-Castilla et al., 2019)) (ver Tabla 3). Sin embargo, y a pesar de que los LPT son válidos para mediciones máximas y medias (SEE = 0,04 - 0,100 m/s), los dispositivos GymAware, FitroDyne (Fitronic), Tendo Weightlifting Analyzer System, Chronojump y Speed4Lift extrajeron valores de velocidad menos precisos durante esos movimientos sin pausa isométrica o fase excéntrica controlada (0,04 - 0,194 m/s) (Askow et al., 2018; Lorenzetti et al., 2017) (ver Tabla 4). La razón principal que lleva a este hecho puede ser la mayor frecuencia de muestreo (la cantidad de datos reportados por segundo y expresados en Hertzios (Hz) (Rico-González, Los Arcos, Nakamura, et al., 2020)) de los LT cuando identifican el inicio real de la fase de empuje, que depende de la frecuencia de muestreo (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017; Swinton et al., 2011, 2012). Por

ejemplo, Mitter et al (Mitter et al., 2019) reportaron una mayor precisión ( $SEE = 0.018 - 0.022$  m/s) en el dispositivo FitroDyne (Fitronic; frecuencia de muestreo de 100 Hz) en comparación con lo informado por Courel-Ibáñez et al (Courel-Ibáñez et al., 2019)( $SEE = 0.04 - 0.05$  m/s) utilizando el dispositivo Chronojump (Boscosystem; frecuencia de muestreo de 500 Hz), en protocolos de ejecución muy similares (ver Tablas 3 y 4). En este escenario, cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo, mayor será el número de puntos de tiempo antes del inicio real que se integrarán en las ejecuciones de cálculo, lo que aumentará los errores de medición (Hori et al., 2007; Linthorne, 2001). Este hecho lleva a los entrenadores a tener cuidado con las frecuencias de muestreo. Parecería que las frecuencias de muestreo de LTs más bajas pueden proporcionar una mayor validez que las frecuencias de muestreo más altas cuando la evaluación involucra ejercicios pliométricos, se realiza en múltiples planos y/o sin pausas isométricas antes de la acción de los músculos concéntricos. Sin embargo, ningún estudio hasta la fecha ha analizado esta hipótesis, lo que abre la posibilidad de investigar cual es la frecuencia de muestreo más adecuada acorde a cada protocolo de ejecución, tal como ocurrió con otras tecnologías (Rico-González, Los Arcos, Nakamura, et al., 2020).

En resumen, los LPT mostraron ser tecnologías válidas y precisas para evaluar la velocidad de movimiento durante ejercicios no pliométricos. Sin embargo, los científicos del deporte deben ser conscientes de la frecuencia de muestreo utilizada y la sensibilidad de estas tecnologías al realizar ejercicios pliométricos o ejercicios sin pausa isométrica, mientras que los futuros estudios de LPT podrían abordar este problema.

### ***Validez de los transductores de velocidad lineal (LVT)***

Los resultados reportados sobre LVT anuncian una adecuada validez para la medición de la velocidad durante ejercicios pliométricos (sentadilla con salto (García-Ramos et al., 2016; Pérez-Castilla et al., 2017)) y no pliométricos (sentadilla trasera (Lorenzetti et al., 2017) y press banca (Pérez-Castilla et al., 2019)), independientemente del espectro de carga entre 25 - 100% 1RM. Sin embargo, las diferentes características del ejercicio, como (i) la pausa isométrica, (ii) la naturaleza pliométrica o (iii) la naturaleza no pliométrica, fueron factores clave para alterar los valores de validez.

T-Force (Ergotech; frecuencia de muestreo de 1000 Hz) fue un LVT válido en ejercicios no pliométricos sin pausa isométrica o fase excéntrica controlada (ICC = 0,77 - 0,95; SEE = 0,070 - 0,151 m/s) (Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2017) en las variables de velocidad con respecto a sus patrones oro (Vicon 3D) (Lorenzetti et al., 2017) y TrioOptitrack (Pérez-Castilla et al., 2019)) (ver Tablas 3 y 4). Sin embargo, aunque T-Force permaneció válido, sus valores de precisión disminuyeron durante los ejercicios pliométricos ( $r = 0,65 - 0,92$ ; SEE = 0,167 - 0,263 m/s) (García-Ramos et al., 2016; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2017) (ver Tabla 3). Al igual que en el apartado anterior con LPT, la limitación para detectar el inicio real de la fase de empuje del LT puede ser un factor clave en los valores de medición. Estos errores de medición se maximizan en los ejercicios pliométricos, y más aún en ausencia de una pausa isométrica antes de iniciar la acción muscular concéntrica (Cormie et al., 2007; Król & Golaś, 2017; Swinton et al., 2011, 2012). Si bien se puede esperar que la frecuencia de muestreo de T-Force (1000 Hz) aumente los errores de medición (Hori et al., 2007; Linthorne, 2001), la medición directa de la velocidad mediante LVT (menor manipulación de datos sin



procesar) puede ayudar a compensar estos errores (McMaster et al., 2014; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Sin embargo, futuras investigaciones deberían analizar la validez de LVT de diferentes frecuencias de muestreo para determinar cuál es la más adecuada, así como el impacto de incluir una pausa entre las contracciones para minimizar errores.

En resumen, los LVT, y en concreto el T-Force, puede ser un dispositivo válido para monitorizar la velocidad de ejercicios pliométricos y no pliométricos. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que los errores de precisión aumentan considerablemente en los ejercicios pliométricos, y especialmente sin una pausa isométrica previa a cada acción muscular concéntrica.

### ***Confiabilidad***

El método estadístico más considerado ha sido el coeficiente de variación CV, ICC, TEM y SEM. La literatura científica sugiere que los valores óptimos de CV deberían estar por debajo del 5% para la mayoría de los eventos deportivos y las pruebas de rendimiento físico (Courel-Ibáñez et al., 2019; Martínez-Cava et al., 2020; Orange et al., 2020), mientras que la escala de los valores de ICC se presentó previamente en la sección anterior. En el campo de VBT, los valores de TEM y SEM de la velocidad concéntrica máxima de 0,07 - 0,10 m/s pueden afectar los valores de 1RM en un 5 % (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Martínez-Cava et al., 2019; Sánchez-Medina et al., 2017; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Todos estos valores pueden ayudar a estandarizar el análisis de los resultados.

### ***Confiabilidad de los LPT***

Los LPT demostraron ser confiables en la evaluación del movimiento en ejercicios no pliométricos (sentadilla trasera (Askow et al., 2018; Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Garnacho-Castaño et al., 2015; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020; Orange et al., 2020; Thompson et al., 2020), sentadilla (Fernandes et al., 2018; Grgic et al., 2020), press banca (Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Garnacho-Castaño et al., 2015; Martínez-Cava et al., 2020; Orange et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019), peso muerto (Dorrell et al., 2019; Grgic et al., 2020), tirón en banco prono (Courel-Ibáñez et al., 2019), curl de biceps (Jennings et al., 2005), remo inclinado (Fernandes et al., 2018), power clean (Thompson et al., 2020)), en toda la rango de carga investigado (<90% de 1RM). Sin embargo, las variaciones resultantes fueron sensibles al modo de ejecución del movimiento, así como al plano 2D (máquina Smith) o 3D (peso libre) donde se realizó el ejercicio.

GymAware, FitroDyne (fitronic), Chronojump y Speed4Lift demostraron ser dispositivos confiables durante ejercicios no pliométricos, manteniendo una consistencia intra e interdispositivo moderada-excelente (ICC = 0.64 - 1.00) (Askow et al., 2018; Courel-Ibáñez et al., 2019; Dorrell et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Garnacho-Castaño et al., 2015; Grgic et al., 2020; Jennings et al., 2005; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020; Orange et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020) (ver Tabla 5). Sin embargo, las variaciones y errores de medida fueron, de menor a mayor, en protocolos con pausa isométrica (CV = 1,4 - 4,7%; SEM = 0,02 - 0,04 m/s) (Courel-Ibáñez et al., 2019), seguidos de protocolos con control de fase excéntrica (CV = 0,86 -

13,7%; SEM = 0,01 - 0,08 m/s; TEM = 4,9 - 10,5%) (Dorrell et al., 2019; Garnacho-Castaño et al., 2015; Grgic et al., 2020; Martínez-Cava et al., 2020), seguido de protocolos con ausencia de ambas fases (CV = 1,1 - 22%; SEM = 0,03 - 0,13 m/s, TEM = 0,02 - 0,15 m/s) (Askow et al., 2018; Fernandes et al., 2018; Lorenzetti et al., 2017; Orange et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020) (ver Tablas 3 y 5). Como mencionamos anteriormente, esto podría ocurrir debido a la limitación de los LT para detectar el inicio real de la fase concéntrica (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017; Swinton et al., 2011, 2012), siendo también dependiente de la frecuencia de muestreo (Hori et al., 2007; Linthorne, 2001). Además, como consecuencia inmediata, los mayores valores de variación y errores de medida se registraron en las variables medias (CV = 1,00 - 11,2%;) con respecto a las pico (CV = 0,6 - 6,7%) (Courel-Ibáñez et al., 2019; Fernandes et al., 2018; Grgic et al., 2020; Martínez-Cava et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019; Thompson et al., 2020). Por lo tanto, se recomienda guiarse por los valores pico de las variables de interés, ya que son menos dependientes de la suma de puntos de tiempo anteriores (Hori et al., 2007; Linthorne, 2001). Los LPT también fueron sensibles al desplazamiento en múltiples planos, también informado en estudios previos (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017; Swinton et al., 2011, 2012). Por ejemplo, Thompson et al (Thompson et al., 2020) y Orange et al (Orange et al., 2020) informaron mayores variaciones y errores de medición en los valores pico (CV = 4,9 - 22 %; SEM = 0,06 - 0,09 m/s; TEM = 0,07 - 0,15 m/s ) y valores medios (CV = 2,9 - 13,6%; SEM = 0,03 - 0,05 m/s; TEM = 0,02 - 0,04 m/s) para realizar una sentadilla trasera con peso libre que el estudio de Fernandes et al (Fernandes et al., 2018) (Valores pico : CV = 2,0 - 5,9% ; Valores medios: CV = 1,6 - 11,2%), para el mismo ejercicio con un protocolo de ejecución idéntico a los anteriores. Esta tendencia fue generalizada en el resto de los estudios analizados en ejercicios de peso libre (Dorrell et al., 2019; Grgic et al., 2020;

Lorenzetti et al., 2017; Orange et al., 2020; Thompson et al., 2020) frente a ejercicios con máquina smith (ver Tabla 5). Según estudios previos, estas variaciones pueden provenir de la alteración de los momentos articulares y de las velocidades angulares articulares, generados por la aplicación de una carga, y que desencadena cambios en la cinemática de la barra (Kellis et al., 2005; Kristiansen et al., 2019; Thompson et al., 2020). En espera de un cuerpo de evidencia más sólido, la pliometría parece maximizar los errores descritos anteriormente ( $CV = 4,8 - 44,5\%$ ), incluso en protocolos con pausa isométrica antes de las acciones musculares concéntricas (Hansen et al., 2011a, 2011b).

En resumen, la mayoría de los dispositivos LPT demostraron ser confiables para monitorear ejercicios no pliométricos. Sin embargo, todos ellos fueron sensibles a la forma en que se llevó a cabo el ejercicio y el plano en el que se desarrolló.

### ***Confiabilidad de los LVT***

Los LVT demostraron ser fiables para la evaluación del movimiento en ejercicios pliométricos (sentadilla con salto (Ferro et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Lorenzetti et al., 2017)) y ejercicios no pliométricos (sentadilla trasera (Courel-Ibáñez et al., 2019; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020); press banca (Courel-Ibáñez et al., 2019; Martínez-Cava et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019) y tirón de banco prono (Courel-Ibáñez et al., 2019)), en un espectro de carga de 25 - 100% 1RM (Courel-Ibáñez et al., 2019; Ferro et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019). Sin embargo, los valores de confiabilidad fueron levemente sensibles a la naturaleza del ejercicio pliométrico o no pliométrico.

T-Force y SmartCoach fueron fiables en ejercicios pliométricos (Ferro et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Lorenzetti et al., 2017) y no pliométricos (Courel-Ibáñez et al., 2019; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019), tanto con pausa isométrica como en ausencia de ella (ICC = 0,72 – 1,00; CV = 0,44 – 4,90 % ; SEM = 0,01 – 0,04 m/s ; TEM = 0,06 m/s) en todas las variables de velocidad, excepto en la velocidad media en sentadilla con salto con pausa entre fases de contracción (CV = 8,3%)(García-Ramos et al., 2016) (ver Tablas 3 y 5). Sin embargo, y aunque se mantuvo confiable, las variaciones y errores de medición de T-Force fueron mayores en los ejercicios pliométricos (ICC = 0.724 – 0.966 ; CV = 2.87 – 8.3%)(Ferro et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Lorenzetti et al., 2017) en comparación con los ejercicios no pliométricos ( ICC = 0,932 – 1,000; CV = 0,44 – 4,90 % ; SEM = 0,01 – 0,02 m/s) (Courel-Ibáñez et al., 2019; Lorenzetti et al., 2017; Martínez-Cava et al., 2020; Pérez-Castilla et al., 2019)(ver Tabla 5). El hecho de que T-Force muestre errores de medición bajos, incluso sin pausa isométrica o en ejercicios pliométricos, puede deberse al uso de una placa de adquisición de datos de analógico a digital con resolución de 14 bits (Courel-Ibáñez et al., 2019; García-Ramos et al., 2016; Pérez-Castilla et al., 2019). De esta forma, el paso de los datos cinemáticos a través de una profundidad de 14 bits aumenta la calidad de los mismos (Filoux et al., 2011), eliminando el ruido de puntos temporales conflictivos y sensibles, como el inicio o el final de cada régimen de contracción (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017; Swinton et al., 2012). Si a esto le sumamos el posterior paso por un filtro digital de paso bajo Butterworth con una frecuencia de corte de 10 Hz, T-Force nos ofrece una considerable minimización del error tecnológico (Courel-Ibáñez et al., 2019; J. Weakley et al., 2021). Dada la escasez de datos al respecto, futuras investigaciones deberían evaluar el impacto causado por la ausencia

de pausa entre los regímenes de contracción, así como la realización de ejercicios con peso libre, sobre la confiabilidad del LVT.

Definitivamente, los LVT parecieron ser dispositivos confiables para la evaluación de ejercicios pliométricos y no pliométricos con fase isométrica entre regímenes de contracción realizados en máquina Smith, logrando mayores valores de confiabilidad en estos últimos.

En conclusión, los entrenadores de fuerza y acondicionamiento deben ser conscientes de que, si bien los LPT y LVT parecen ser dispositivos válidos y confiables para el monitoreo de VBT, existen factores tecnológicos que pueden aumentar los errores de medición. Entre estos factores se encuentran la menor precisión en los movimientos explosivos, la dificultad de detectar el inicio real de la fase concéntrica del movimiento, así como la sensibilidad mostrada en los resultados de cálculo cuando se trata de desplazamientos horizontales. Por tanto, a la hora de utilizar este tipo de dispositivos de monitorización de fuerza, los profesionales implicados deben tener en cuenta los riesgos que conlleva la realización de un determinado tipo de ejercicio, el plano en el que se realiza, así como la forma en que se realiza el movimiento. Los futuros estudios de estas tecnologías deberían tratar de resolver estos errores de medición. Debido a los sistemas de procesamiento de datos y al cálculo directo de la velocidad, parece que los LVT parecen tener errores de medición más bajos en todos los parámetros en relación con los LPT en condiciones similares. Por último, se recomienda revisar otros aspectos que no fueron estudiados en profundidad en esta revisión, como la marca y versión de cada dispositivo.

## CONCLUSIONES

Los LPT pueden ser dispositivos válidos y fiables para la evaluación de la velocidad de movimiento durante ejercicios no pliométricos, independientemente del rango de carga. Sin embargo, estos dispositivos pierden cierta validez y fiabilidad en protocolos sin pausa previa al régimen de contracción concéntrica, con mayores errores de medida cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo. Además, la confiabilidad de los LPT fue sensible a la realización de ejercicios en múltiples planos (peso libre). Por otro lado, los LVT fueron válidos y confiables para monitorear la velocidad de movimiento en ejercicios pliométricos y no pliométricos, aunque se reportaron valores de precisión y confiabilidad menores en los primeros. Además, a pesar de mostrar mayores variaciones y errores de medida en ausencia de pausa isométrica, como ocurría con los LPT, los LVT lograron minimizar los errores tecnológicos, debido a factores inherentes a su tecnología. En todos los casos, los valores pico presentaron valores más fiables y precisos que los valores medios, más afectados por los errores tecnológicos de los LT. Futuras investigaciones deberán analizar el comportamiento de los LPT frente a ejercicios pliométricos, desarrollados en diferentes planos y con diferentes protocolos de ejecución. También se debe investigar la frecuencia óptima de LPT y LVT, teniendo en cuenta las características del protocolo de evaluación.

**PARTE V**  
**(ESTUDIO 3)**



### ESTUDIO III

*Nivel de concordancia y confiabilidad del codificador ADR para monitorear la velocidad de propulsión media durante el ejercicio de press de banca.*

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la confiabilidad y el nivel de concordancia del encoder ADR para medir la velocidad propulsiva media (MPV) de la barra en el ejercicio de press de banca (BP) en la máquina Smith. Once varones ( $21,6 \pm 1,5$  años; masa corporal  $76,0 \pm 69,73$  kg) realizaron el protocolo con fase isométrica previa a la acción muscular concéntrica (PP) y el protocolo en ausencia de fase isométrica (PSP) para ejercicio de BP en máquina Smith. El encoder ADR reportó valores de confiabilidad con correlaciones casi perfectas en todas las zonas y protocolos de entrenamiento (PP: ICC = 0.940–0.999,  $r = 0.899–0.997$ , CV= 1.56%-4.05%, SEM= 0.0022–0.0153 y MDC= 0.006–0.031 m/s; PSP: ICC= 0,963–0,999,  $r = 0,946–0,998$ , CV= 0,70%–3,01%, SEM = 0,0012–0,0099 y MDC= 0,003–0,027 m/s). Aunque los niveles de acuerdo fueron altos en ambos protocolos (PP: SEM= 0,0024–0,0204 m/s, MDC= 0,007–0,057 m/s; PSP: SEM= 0,0034–0,0288 m/s, MDC= 0,009– 0,080 m /s), el encoder ADR subestimó considerablemente los valores MPV en ambos protocolos (PP:  $t = -2,239$  a  $-9,486$ ,  $p < 0,001–0,01$ ; PSP:  $t = -6,901$  a  $-17,871$ ,  $p < 0,001$ ) con respecto al estándar de oro (T-Force). En conclusión, el encoder ADR ofrece una alta confiabilidad para la medición de MPV en ejercicios de BP realizados en máquina Smith independientemente de su modo de ejecución, en todo el rango de intensidades. Sin embargo, este dispositivo no es intercambiable con T-Force ya que subestima considerablemente los valores de MPV, especialmente con cargas bajas (0%–40%). Además, el uso de rangos de carga demasiado amplios sugiere que los datos se interpreten con cautela, a la espera de más investigaciones para corroborar los hallazgos presentados.

### STUDY III

*Level of agreement and reliability of ADR encoder to monitor mean propulsive velocity during the bench press exercise*

This study aimed to evaluate the reliability and the level of agreement of the ADR encoder to measure the mean propulsive velocity (MPV) of the bar in the bench press (BP) exercise on the Smith machine. Eleven males ( $21.6 \pm 1.5$  years; body mass  $76.0 \pm 69.73$  kg) performed the protocol with isometric phase prior to concentric muscle action (PP) and the protocol in the absence of isometric phase (N-PP) for BP exercise on Smith machine. ADR encoder reported reliability values with almost perfect correlations in all training zones and protocols (PP: ICC = 0.940–0.999,  $r = 0.899$ –0.997, CV= 1.56%–4.05%, SEM= 0.0022–0.0153, and MDC= 0.006–0.031 m/s; N-PP: ICC= 0.963–0.999,  $r = 0.946$ –0.998, CV= 0.70%–3.01%, SEM = 0.0012–0.0099, and MDC= 0.003–0.027 m/s). Although the levels of agreement were high in both protocols (PP: SEM= 0.0024–0.0204 m/s, MDC= 0.007–0.057 m/s; N-PP: SEM= 0.0034–0.0288 m/s, MDC= 0.009–0.080 m/s), ADR encoder considerably underestimated the MPV values in both protocols (PP:  $t = -2.239$  to  $-9.486$ ,  $p < 0.001$ –0.01; N-PP:  $t = -6.901$  to  $-17.871$ ,  $p < 0.001$ ) with respect to the gold standard (T-Force). In conclusion, ADR encoder offers high reliability for the measurement of MPV in bench press exercise performed on Smith machine regardless of their execution mode, in the entire range of intensities. However, this device is not interchangeable with TForce since it considerably underestimates the MPV values, especially at low loads (0%–40%). Furthermore, the use of too wide load ranges suggests that the data be interpreted with caution, pending further research to corroborate the findings presented.

## 1. INTRODUCCIÓN

La capacidad de superar rápidamente un determinado continuo de carga provoca una mejora en el rendimiento muscular, con su consiguiente aumento del rendimiento atlético y deportivo. (Martínez-Cava et al., 2020; Pareja-Blanco et al., 2017). Previamente, se ha demostrado la existencia de una fuerte correlación entre la velocidad de ejecución y las diferentes cargas relativas basadas en el máximo de una repetición (1RM).(García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, & Haff, 2018; Muñoz-López et al., 2017; Pérez-Castilla, García-Ramos, et al., 2020) Por lo tanto, en los últimos años, el entrenamiento de fuerza basado en la velocidad (VBT, por sus siglas en inglés) ha sido postulado como uno de los principales métodos de cuantificación y seguimiento de las cargas de entrenamiento.(González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Izquierdo et al., 2006; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011) Este método permite crear perfiles de fuerza-velocidad individualizados,(Alcazar et al., 2017; Banyard et al., 2018) así como conocer el estado fisiológico (Conceição et al., 2016; González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) y el nivel de fatiga (García-Ramos, Torrejón, Feriche, Morales-Artacho, Pérez-Castilla, et al., 2018; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011) de un deportista de forma no invasiva, práctica y eficaz.(González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Martínez-Cava et al., 2019; Morán-Navarro et al., 2019) Además, la posibilidad de medir la velocidad de la barra en tiempo real proporciona un conocimiento instantáneo de los resultados a los propios atletas, mejorando su motivación, participación y la calidad de los datos recopilados.(Jiménez-Alonso et al., 2020; Pérez-Castilla, Jiménez-Alonso, et al., 2020; J. J. S. Weakley et al., 2019) El VBT también permite que un atleta establezca diferentes zonas de entrenamiento en función de un objetivo de trabajo predeterminado. (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) Sin embargo, la practicidad y eficiencia del

VBT depende directamente del grado de precisión y confiabilidad de los dispositivos utilizados para medir los datos cinéticos requeridos.

Las plataformas de fuerza y los sistemas de captura de movimiento tridimensionales (3D) se han utilizado ampliamente como dispositivos "estándar de oro" para la medición de variables relacionadas con la fuerza y la potencia.(Dorrell et al., 2019; Giroux et al., 2015; Lorenzetti et al., 2017) Sin embargo, el uso de estos dispositivos a menudo no es asequible ni práctico, por lo que son generalmente limitados al trabajo de laboratorio.(Cronin et al., 2004; Walsh et al., 2006) Ante estas limitaciones, los transductores lineales (LT), por sus siglas en inglés se presentan como una alternativa válida y confiable para medir la velocidad de ejecución en el entrenamiento de fuerza.(García-Ramos et al., 2017; Garnacho-Castaño et al., 2015) Dentro de esta rama de dispositivos, los transductores de velocidad lineal (LVT, por sus siglas en inglés) calculan directamente las mediciones de velocidad a través de un tacómetro de precisión,(Courel-Ibáñez et al., 2019; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011) mediante el registro de señales eléctricas proporcionales a la velocidad de extensión de un cable conectado a la barra.(Courel-Ibáñez et al., 2019; McMaster et al., 2014) Estos procedimientos de cálculo ayudan a minimizar los errores de medición del procesamiento de datos por derivación, por lo que actualmente está creciendo su implementación como criterio estándar de oro.(McMaster et al., 2014; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011) Por otro lado, los transductores de posición lineal (LPT, por sus siglas en inglés) están compuestos por un dinamómetro, y a diferencia de los LVT, miden directamente el desplazamiento vertical del cable.(Harris et al., 2010; Pérez-Castilla et al., 2019) Estos datos de tiempo de desplazamiento se derivan utilizando el enfoque de dinámica inversa para obtener la velocidad.(Harris et al., 2010; Pérez-Castilla et al., 2019) Sin embargo, estos dispositivos tienen algunas limitaciones inherentes para su tecnología. También hay

evidencia de que su capacidad para detectar el inicio real del movimiento se reduce en movimientos pliométricos sin fase isométrica previa, así como en cargas ligeras. (Cormie et al., 2007; Swinton et al., 2011) Este hecho, junto con el doble procesamiento de los datos para obtener los datos de velocidad a través del desplazamiento del cable, hace que los LPT subestimen los datos de velocidad en comparación con los dispositivos LVT, con un procedimiento de cálculo de velocidad directo. (Harris et al., 2010; Pérez-Castilla et al., 2019; Sanchez-Medina et al., 2010) Por lo tanto, tanto la naturaleza del ejercicio (es decir, pliométrico o no pliométrico) y la forma en que se realiza (por ejemplo, con o sin fase isométrica) y la carga aplicada, son factores que pueden alterar la confiabilidad y concordancia de los LPT. (Askow et al., 2018; Lorenzetti et al., 2017; Pérez-Castilla et al., 2019)

El uso cada vez mayor de los LPT para el monitoreo del VBT ha llevado a la fabricación de estos dispositivos por varias marcas, cada una con sus propias características tecnológicas, como la frecuencia de muestreo y los algoritmos de cálculo. En consecuencia, existe la necesidad de realizar de manera independiente y objetiva pruebas de concordancia y confiabilidad de estos instrumentos emergentes, con el fin de garantizar su eficiencia y calidad para el monitoreo de mediciones de velocidad. El encoder ADR (Toledo, España) es un nuevo LPT que ha irrumpido recientemente en el mercado deportivo, como una herramienta que permite al usuario medir variables de velocidad de forma instantánea. Sin embargo, no existen estudios que evalúen la fiabilidad y el nivel de concordancia de este dispositivo.

Por lo tanto, el objetivo de este estudio fue evaluar la confiabilidad y el nivel de concordancia del encoder ADR para medir la velocidad del movimiento en el ejercicio de press de banca (BP) en la máquina Smith, en todo el espectro de carga, con y sin fase isométrica previa al régimen de contracción concéntrica del ejercicio. Las principales

hipótesis eran que los niveles de fiabilidad serían ligeramente inferiores en el protocolo sin fase isométrica previa,(Cormie et al., 2007; Król & Gołas, 2017) Por otra parte, los dispositivos ADR cumplirían los requisitos según ambos protocolos de intervención, pero no serían intercambiables respecto a su estándar de oro debido a la subestimación de los resultados de la medición. (Courel-Ibáñez et al., 2019; Garnacho-Castaño et al., 2015) Además, también planteamos la hipótesis de que los valores más bajos de concordancia y confiabilidad se producirían a velocidades de ejecución más altas (es decir, con cargas ligeras).(Crewther et al., 2011)

## 2. MÉTODOS

### *2.1. Enfoque experimental del problema*

Se utilizaron dos dispositivos de diferentes tecnologías (LPT y LVT) simultáneamente para analizar la velocidad de una barra durante un ejercicio de fuerza de BP basado en la velocidad media propulsiva (MPV), con dos protocolos de ejecución diferentes: con fase isométrica previa a la acción muscular concéntrica (PP) y en ausencia de la misma (PSP). Los datos entre el encoder ADR (dispositivo LPT) y T-Force (dispositivo LVT, destacado como estándar de oro) se compararon para evaluar el nivel de concordancia entre dispositivos. Además, se evaluó la fiabilidad del encoder ADR.

### *2.2. Sujetos*

Once sujetos varones (edad  $21,6 \pm 1,5$  años; masa corporal  $76,05 \pm 9,73$  kg; altura  $1,75 \pm 0,07$  m; IMC  $24,3 \pm 1,8$  kg/m<sup>2</sup>; porcentaje de grasa corporal  $15,2 \pm 3,9\%$ ), con una experiencia media de  $2,38 \pm 1,08$  años en la práctica del ejercicio de BP (2 - 3 veces por semana), participaron voluntariamente de este estudio. Su 1RM para el ejercicio de BP fue de  $96,1 \pm 19$  kg. No se reportaron patologías musculoesqueléticas previas que pudieran afectar las pruebas desarrolladas en el presente estudio. Se entregó una hoja informativa a los participantes, indicando la duración, objetivo del estudio, tipo de participación y posibles contraindicaciones. Para expresar su acuerdo, los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado por escrito. El estudio se realizó de acuerdo con la Declaración de Helsinki y fue aprobado por la Comisión de Ética de la Investigación de la Universidad de Murcia (3075/2020).

### ***2.3.Procedimientos***

Para cada participante, las pruebas se realizaron durante dos sesiones en orden aleatorio, con una sesión previa de familiarización con el ejercicio a realizar junto con diferentes modos de ejecución (con y sin pausa). Todas las sesiones estuvieron separadas por al menos 48 horas de recuperación y se realizaron a la misma hora (8:00 AM). Además, se privó a los sujetos de ingerir cafeína o sustancias similares debido a su efecto ergogénico.(Beck et al., 2006)

El calentamiento fue idéntico en cada sesión y consistió en 5 minutos de bicicleta estática (50 W con una cadencia de 65 revoluciones por minuto), seguido de la realización de 10 repeticiones de BP con velocidad progresivamente creciente utilizando la carga inicial (5 kg). Como se mencionó anteriormente, cada sujeto realizó series a lo largo de todo el espectro de carga (desde 5 kg de la barra hasta 1RM), realizando el ejercicio de BP. La descripción del protocolo de ejecución del BP ha sido ampliamente reportada en investigaciones previas (ver Figura 1).(Courel-Ibáñez et al., 2019; Sánchez-Medina et al., 2014) Los participantes se colocaron en decúbito supino en un banco plano (Peroga Fitness, Murcia, España), con los pies apoyados en el suelo y sus manos en la barra. La posición del banco se ajustó cuidadosamente para cada participante, para asegurar que la proyección vertical de la barra correspondiera a la línea intermamaria de cada participante. El ancho del agarre de la barra fue autoseleccionado por cada participante, siempre que fuera un poco más ancho que el ancho de los hombros, y se replicó de manera idéntica en todas las repeticiones y protocolos de intervención. En cada prueba de intervención, los participantes comenzaban con una carga neutra (solo los 5 kg correspondientes a la barra) y progresivamente se iban implementando cargas de 5 kg. Se ejecutaron 3 - 5 repeticiones con cargas entre 5 - 45% 1RM estimado para la misma carga y con 3 minutos de descanso entre series, mientras que del 50% 1RM estimado se ejecutó



una repetición por carga, con una recuperación entre series de 5 minutos. Este sistema de 17-20 cargas incrementales permitió que cada sujeto alcanzara el espectro de carga completo mientras era observado. Por criterios de estandarización y seguridad, los participantes fueron instruidos para bajar la barra de manera lenta y controlada a una velocidad promedio de 0,5 - 0,7 m/s, hasta el pecho, justo arriba de los pezones. Sin embargo, hubo diferencias en el modo de ejecución posterior, inherentes a cada protocolo de estudio. Así, mientras el PSP continuaba con la realización de una fase concéntrica explosiva, el PP establecía la realización de una fase isométrica de 2 segundos, previa a la fase concéntrica explosiva. En ambos casos, a los sujetos no se les permitió hacer rebotar la barra contra el pecho en la fase excéntrica, ni separar el tronco o los hombros del banco durante la fase concéntrica.



**Figura 1.** Protocolo de ejecución del ejercicio de press de banca en Máquina Smith. A la izquierda, inicio del ejercicio de press de banca. A la derecha, final del ejercicio de press de banca. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

#### ***2.4. Equipos de medida y adquisición de datos***

Para la realización de todas las sesiones y ejercicios se utilizó una máquina Smith (Multipower Fitness, Peroga, Murcia, España) sin contrapeso (carga isoinercial). Esta máquina solo permite el movimiento vertical de la barra en todo el recorrido del movimiento, con un rozamiento mínimo entre la barra y los rieles de apoyo. La barra integrada en la máquina Smith estaba hecha de fibra de carbono (peso total de 5 kg) y tenía una longitud de agarre disponible de 1,3 m. Se añadieron cargas adicionales deslizando discos de peso calibrados (Powerkan, Valladolid, España) en ambos extremos de la barra.

#### ***Encoders***

La MPV concéntrica de la barra de cada repetición se midió y registró, simultáneamente, con 4 dispositivos de 2 marcas y tecnologías diferentes, de la siguiente manera:

- Dos equipos T-Force Dynamic Measurement System<sup>TM</sup> (Ergotech Consulting, Murcia, España). Este sistema consta de un LVT conectado a una computadora personal a través de una placa de adquisición de datos de analógico a digital con resolución de 14 bits y software personalizado (versión 3.60). La velocidad concéntrica de la barra instantánea se muestreó a una frecuencia de 1000 Hz y posteriormente se suavizó con un filtro digital Butterworth de paso bajo de cuarto orden sin cambio de fase y una frecuencia de corte de 10 Hz. El software específico (TFDMS versión 2.35) calcula los parámetros cinemáticos y cinéticos de cada repetición, y almacena y proporciona toda la información de los resultados obtenidos en tiempo real. El tiempo de instalación y calibración se estima en 2,4 minutos. El número de repeticiones perdidas por cada 100 casos es de 0,8.

- Dos unidades codificadoras ADR (Toledo, España). Este dispositivo consta de una tecnología LPT que transfiere los datos de velocidad concéntrica y excéntrica al instante vía Bluetooth a un dispositivo portátil con software personalizado (versión 5.2). Tiene una frecuencia de muestreo de 1.000Hz, con un error de cálculo de  $\pm 2,5$  mm de desplazamiento y una tensión de muelle de 150g (dato facilitado por la empresa). Además, dispone de un filtro digital sin desfase y una frecuencia de corte de 10 Hz. El software específico (encoder ADR versión 5.2) calcula los datos cinemáticos y cinemáticos en tiempo real. El tiempo estimado de instalación y calibración es de 3,1 minutos. El número de repeticiones perdidas por cada 100 casos es de 0,9. La empresa no proporcionó más información.

Cada dispositivo fue ensamblado y calibrado antes de cada sesión, siguiendo las instrucciones técnicas del fabricante. Los dispositivos T-Force se interconectaron con computadoras personales que ejecutaban el sistema operativo Windows 10 (versión 20.04), mientras que los encoders ADR se conectaron a una fuente de alimentación externa (capacidad de 2200 mAh; voltaje eléctrico de 5 V). Tanto el codificador T-Force como el ADR se utilizaron con las versiones más recientes (versión 3.60 y 5.2 respectivamente). Por otro lado, los cables retráctiles de los cuatro dispositivos se colocaron de manera homogénea en el lado derecho e izquierdo de la barra, a 3 cm del eje de desplazamiento vertical, con 5 cm de separación entre dispositivos, evitando variaciones de carácter tecnológico. De esta forma, en el lado derecho de la barra se colocó el encoder ADR en la zona interior y el dispositivo T-Force en la cara exterior, y viceversa (ver Figura 2).



**Figura 2.** Distribución de los codificadores ADR y dispositivos T-Force en la barra. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

La fiabilidad interdispositivo se evaluó comparando los resultados de MPV obtenidos simultáneamente por los dispositivos, en ambos protocolos de actuación (con pausa y sin pausa). La concordancia del encoder ADR se obtuvo por comparación individualizada de cada dispositivo ADR con respecto a cada dispositivo T-Force. Las unidades de dispositivos se numeraron aleatoriamente (# 1 y # 2 para cada tecnología).

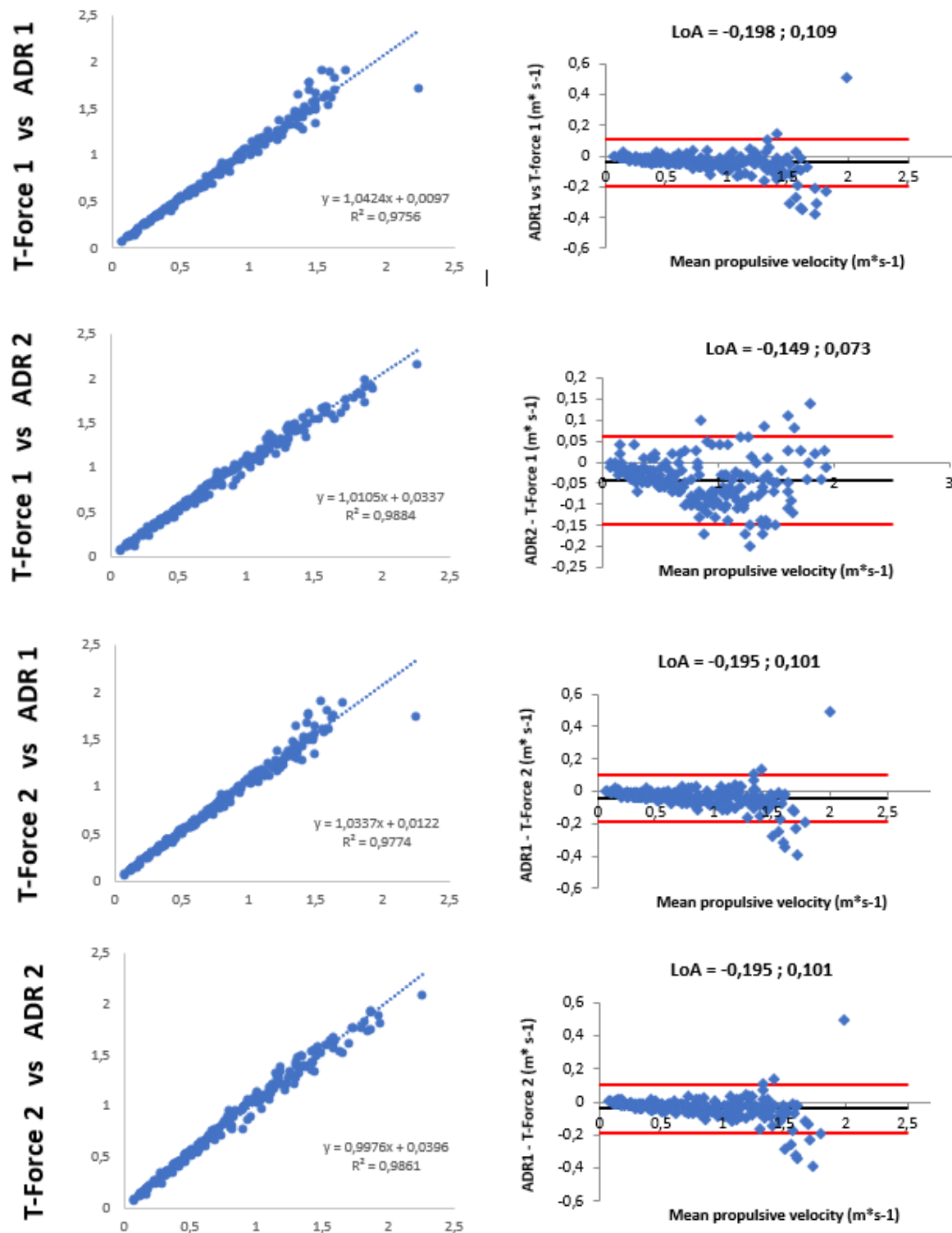
En este estudio, solo se analizó la MPV, definido como la parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración de la barra es mayor que la aceleración de la gravedad. (Sanchez-Medina et al., 2010) Investigaciones anteriores han demostrado que los dispositivos LPT tienen dificultades para detectar el inicio real de la fase concéntrica del movimiento. (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017) En consecuencia, agregar puntos de tiempo antes del inicio real de la fase concéntrica puede alterar los datos de velocidad resultantes si se miden a través de la velocidad media. (Hori et al., 2006; Linthorne, 2001) Este riesgo se minimiza a través de datos de MPV, definidos como la parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración de la barra es mayor que la

aceleración debida a la gravedad, descartando puntos temporales contaminantes.(Linthorne, 2001; Sanchez-Medina et al., 2010) También, el espectro de carga completa se dividió y filtró en 4 zonas de entrenamiento en porcentajes de 1RM (Zona 1: 0 - 40% 1RM; Zona 2: 40 - 60% 1RM; Zona 3: 60 - 80% 1RM; Zona 4: 80 - 100% 1RM). A pesar de que la mayoría de los estudios centran su análisis de VBT en 3 zonas de entrenamiento que parten de cargas del 40% 1RM (McGrath, 2018; Pérez-Castilla et al., 2019; Sanchez-Medina et al., 2010), en la presente investigación se optó por incluir una zona de entrenamiento inferior (0 - 40% 1RM) con el fin de (i) incluir completamente la zona de entrenamiento fuerza-velocidad (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2017) y (ii) estudiar el comportamiento del encoder ADR en todo el espectro de velocidades y cargas. Finalmente, los datos de porcentaje de carga fueron reconvertidos a datos de velocidad de desplazamiento, con base en recomendaciones previas para el ejercicio de BP (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010) para su interpretación a través de los datos proporcionados por los transductores lineales. De esta forma, la zona de entrenamiento 1 (0 - 40% 1RM) correspondía a una MPV igual o superior a 1,10 m/s, la zona de entrenamiento 2 a una MPV de 0,80 - 1,09 m/s, la zona de entrenamiento 3 a una MPV de 0,50 - 0,79 m/s y zona de entrenamiento 4 a un MPV de 0,18 - 0,49 m/s.(González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010)

### ***2.5. Análisis estadístico***

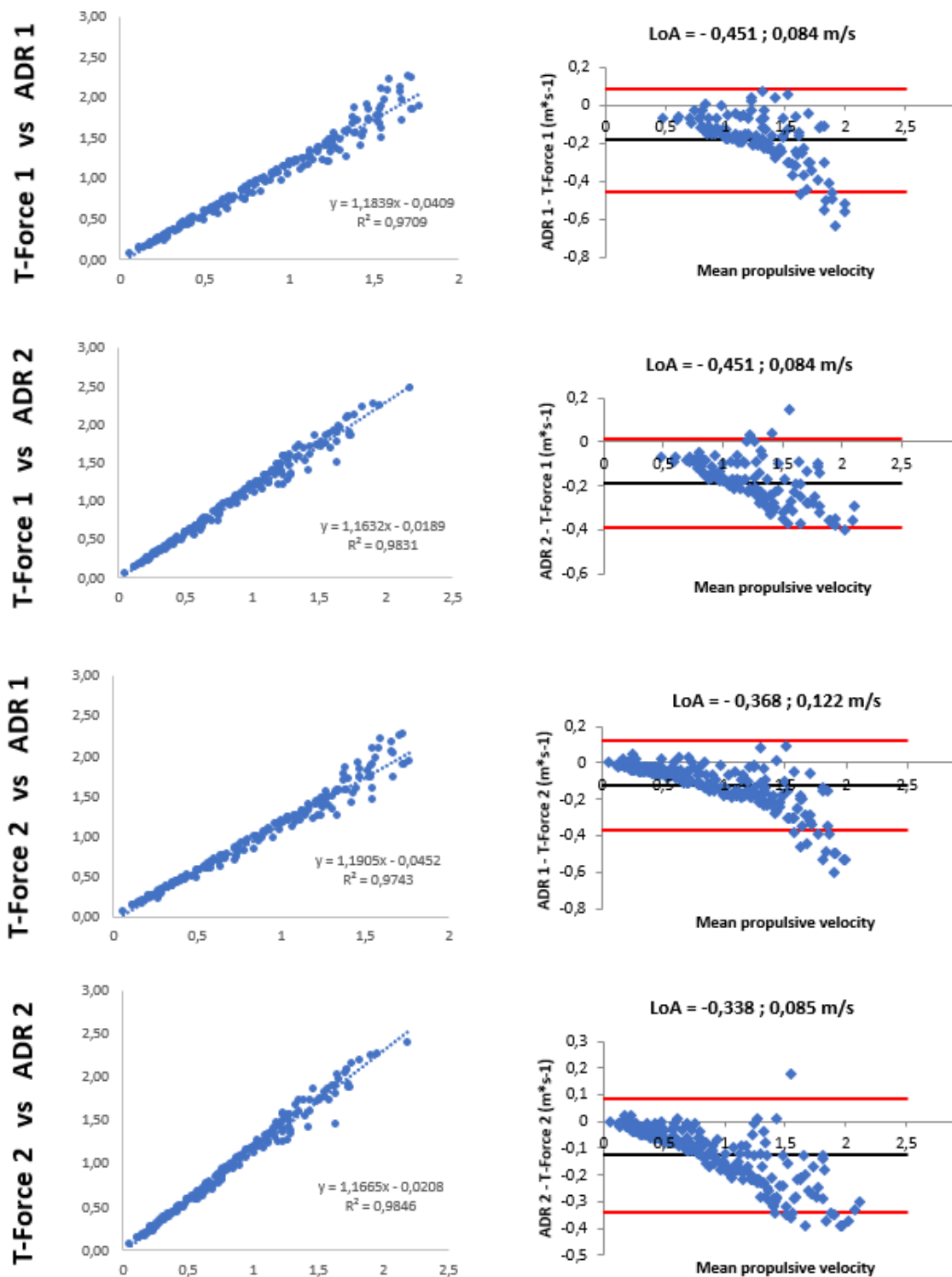
Se realizó la prueba de Shapiro-Wilk y gráficos Q-Q para comprobar la normalidad y homocedasticidad de los datos. También se utilizaron gráficos de Bland-Altman para analizar el nivel de concordancia de los resultados del par interdispositivo, con su correspondiente cálculo de sesgo sistemático y límites de concordancia del 95% (ver Figuras 3 y 4). El poder estadístico post-hoc para el diseño dentro del dispositivo (tamaño del efecto  $f$  de Cohen) se calculó utilizando el software G\* Power versión 3. (Faul et al., 2007) La significancia se fijó en  $p \leq 0,05$ . Se consideraron rangos de valores de pequeño = 0,10, medio = 0,25 = y grande = 0,40. (Cohen, 1988)

## Pause protocol



**Figura 3.** Concordancia entre dispositivos en la velocidad propulsiva media (MPV) para press de banca con pausa (protocolo de pausa). La comparación entre los dispositivos ADR y T-Force se indica a la izquierda de cada línea de regresión (paneles de la izquierda). Las líneas rojas en los gráficos de Bland-Altman (paneles de la derecha) indican la delimitación de los límites de acuerdo (LoA). *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

## Non-pause protocol



**Figura 4.** Concordancia entre dispositivos en la velocidad propulsiva media (MPV) para press de banca sin pausa (protocolo sin pausa). La comparación entre los dispositivos ADR y T-Force se indica a la izquierda de cada línea de regresión (paneles de la izquierda). Las líneas rojas en los gráficos de Bland-Altman (paneles de la derecha) indican la delimitación de los límites de acuerdo (LoA). *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*



El error estándar de medición (SEM, por sus siglas en inglés) se calculó a partir de la raíz cuadrada del término de error cuadrático medio en un análisis de varianza (ANOVA) de medidas repetidas para determinar la cantidad de variabilidad causada por el error de medición, expresada en términos absolutos.(Atkinson & Nevill, 1998) Por derivación, los resultados se calcularon en términos relativos (%) para obtener el coeficiente de variación ( $CV = 100 * SEM / media$ ). En la mayoría de las modalidades deportivas y de rendimiento físico, el CV debe ser inferior al 5%.(Hopkins, 2000) El cambio mínimo detectable (MDC, por sus siglas en inglés), una medida de sensibilidad derivada del SEM ( $\sqrt{2} * SEM * 1,96$ ), se calculó para establecer un límite cuantitativo a partir del cual se puede determinar el cambio de una variable como determinante o no.(Beckerman et al., 2001)

Para el análisis de confiabilidad se calculó el coeficiente de correlación intraclase (ICC, por sus siglas en inglés) según lo indicado por Koo y Li,(Koo & Li, 2016) con un intervalo de confianza (IC) del 95%. Valores de ICC entre 0,95 - 0,99 son adecuados para la evaluación de dispositivos tecnológicos orientados a la investigación y práctica clínica.(Martins & Nastri, 2014) Por otro lado, se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) para evaluar el grado de relación lineal entre los datos de MPV emparejados entre pares de dispositivos. La magnitud de las relaciones se vinculó a los valores de Pearson con base en evidencia previa de la siguiente manera: trivial: 0,10, pequeña: 0,10-0,29, moderada: 0,30-0,49, alta: 0,50-0,69, muy alta: 0,70-0,90 y casi perfecta: > 0,90.(Hopkins et al., 2009)

Los niveles de discrepancia se establecieron teniendo en cuenta la evidencia revelada y respaldada por estudios previos.(González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Sánchez-Medina et al., 2014) Por lo tanto, se determinó que una diferencia interdispositivo en los datos de MPV de BP de entre 0.07 - 0.09 m/s corresponde a una

nivel de discordancia moderado, entre 0,10 - 0,13 m/s un nivel alto y entre 0,14 - 0,18 m/s un nivel muy alto, con un error de estimación de carga del 5%, 7% y 10% de 1RM, respectivamente.

Los cálculos estadísticos y las cifras se realizaron utilizando el software estadístico SPSS (IBM Corp. Released 2020. IBM SPSS Statistics para Windows, versión 27.0. Armonk, NY: IBM Corp).

### 3. RESULTADOS

El cálculo de poder estadístico post hoc para dispositivos internos mostró valores de tamaño de efecto "medios" y significación estadística en todos los valores (f de Cohen = 0,203 - 0,224;  $p < 0,05$ ). (Cohen, 1988)

Los datos de MPV emparejados con T-Force1 de ambos dispositivos ADR para la evaluación de la concordancia en las zonas de entrenamiento Z3 y Z4 se excluyeron del estudio porque no cumplieron con los requisitos de homocedasticidad para el PSP. Para dar homogeneidad y rigor al conjunto de datos restante, se descartó la transformación logarítmica de los datos excluidos anteriormente mencionados.

**Tabla 1.** Confiabilidad entre dispositivos del codificador ADR para la prueba de press banca en la máquina Smith, medida a través de MPV en protocolo de pausa y sin pausa.*Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

	Pause protocol						Non-pause protocol							
	ICC	r	Intervalo de confianza (CI 95%)		CV (%)	SEM (m/s)	SDC (m/s)	ICC	r	Intervalo de confianza (CI 95%)		CV (%)	SEM (m/s)	SDC (m/s)
			Inferior	Superior						Inferior	Superior			
<b>Zona 1</b>	0,940	0,899	0,901	0,964	3,43	0,0153	0,042	0,963	0,946	0,942	0,977	3,01	0,0099	0,027
<b>Zona 2</b>	0,968	0,946	0,938	0,983	4,05	0,0111	0,031	0,997	0,994	0,994	0,998	1,52	0,0029	0,008
<b>Zona 3</b>	0,998	0,997	0,997	0,999	1,65	0,0028	0,008	0,999	0,998	0,998	0,999	0,96	0,0015	0,004
<b>Zona 4</b>	0,999	0,997	0,998	0,999	1,56	0,0022	0,006	0,999	0,997	0,998	0,999	0,70	0,0012	0,003

CV: Coefficient of variation; ICC: Intraclass correlation coefficient; m/s: meters per second; r: Pearson's correlation coefficient; SDC: Smallest detectable change; SEM: Standard error of measurement; %: Percentage

La Tabla 1 muestra los resultados de confiabilidad entre dispositivos y el intervalo de confianza (IC 95 %) para los codificadores LPT de ADR. Los datos reflejaron valores de confiabilidad adecuados, con una correlación casi perfecta en todas las zonas de entrenamiento evaluadas, tanto en el PP (ICC = 0.968 - 0.999,  $r = 0.946 - 0.997$ , CV = 1.56 - 4.05 %, SEM = 0.0022 - 0.0111 m/s, MDC = 0,006 - 0,031 m/s) como en el PSP (ICC = 0,963 - 0,999,  $r = 0,946 - 0,998$ , CV = 0,70 - 3, 01%, SEM = 0,0012 - 0,0099 m/s, MDC = 0,003 - 0,027 m/s), excepto en la zona 1 del PP, que presentó una correlación muy alta (ICC = 0,940,  $r = 0,899$ , CV = 3,43%, SEM = 0,0153 m/s, MDC = 0,0042 m/s).

La tabla 2 refleja los resultados de concordancia de cada dispositivo ADR frente a cada uno de los dispositivos estandar de oro, en cada zona de entrenamiento evaluada, tanto en el PP como en el PSP. En el PP, ambos dispositivos ADR demostraron altos niveles de repetibilidad con respecto al dispositivo estandar de oro, en todas las zonas de entrenamiento, con menores errores de medición a medida que se avanzaba a través de ellos (Z1: SEM = 0,0133 - 0,0204 m/s, MDC = 0,037 - 0,057 m/s Z2: SEM = 0,0084 - 0,0105 m/s MDC = 0,023 - 0,029 m/s Z3: SEM = 0,0029 - 0,0042 m/s MDC = 0,008 - 0,012 m/s Z4: SEM = 0,0024 - 0,0040 m/s, MDC = 0,007 - 0,011 m/s). Sin embargo, los dispositivos ADR subestimaron considerablemente los valores de MPV medidos a través de T-Force (estandar de oro), con diferencias de mayor magnitud a medida que se avanzaba en las zonas de entrenamiento (Z1:  $t = - 2.239 - -2.677$ ,  $p < 0,01 - 0,05$ ; Z2:  $t = - 4,935 - -5,769$ ,  $p < 0,001$ ; Z3:  $t = - 8,627 - -9,486$ ,  $p < 0,001$ ; Z4:  $t = - 5,830 - - 8,104$ ,  $p < 0,001$ ). En el PSP, los dispositivos ADR presentaron valores de concordancia adecuados, con tendencia a reducir los errores de medición de la zona de entrenamiento 1 a la zona 4 (Z1: SEM = 0,0125 - 0,0288 m/s; MDC = 0,035 - 0,080 m/s; Z2 : SEM = 0,0089 - 0,0173 m/s, MDC = 0,025 - 0,048 m/s, Z3: SEM = 0,0060 - 0,0063 m/s, MDC = 0,017 m/s, Z4: SEM = 0,0034 - 0,0038 m/s, MDC = 0,009 - 0,011 m/s). Esta tendencia

también se reflejó en la evolución del tamaño del efecto de las diferencias de ADR con respecto a T-Force, con valores de subestimación mayores por ADR en las zonas de entrenamiento 1 y 2 (Z1:  $t = -6,901 - -17,871$ ,  $p. <0,001$  ; Z2:  $t = -8,908 - -14,747$ ;  $p. <0,001$ ) con respecto a las zonas 3 y 4 (Z3:  $t = -8,651 - -9,909$ ,  $p. <0,001$ ; Z4:  $t = -7,985 - -9,212$ ;  $p <0,001$ ).

**Tabla 2.** Nivel de concordancia de los datos MPV del codificador ADR con respecto a T-Force, tanto en el protocolo de pausa como en el de no pausa, en la realización de press de banca en máquina Smith. *Extraído de Moreno-Villanueva et al (2022)*

		Pause protocol							No pause protocol						
		t	p	SEM (m/s)	SDC (m/s)	Bias ± SD	95% Bias		t	p	SEM (m/s)	SDC (m/s)	Bias±SD	95% Bias	
							Inferior	Superior						Inferior	Superior
<b>Zona 1</b>	<b>ADR 1 - T-Force 1</b>	-2,534	< 0,05	0,0204	0,057	-0,0519 ± 0,1626	-0,0928	-0,0110	-6,901	< 0,001	0,0288	0,080	-0,1988 ± 0,2512	-0,2562	-0,1414
	<b>ADR 1 - T-Force 2</b>	-2,514	< 0,05	0,0186	0,052	-0,0467 ± 0,1474	-0,0838	-0,0095	-13,633	< 0,001	0,0166	0,046	-0,2264 ± 0,1448	-0,2595	-0,1934
	<b>ADR 2 - T-Force 1</b>	-2,677	< 0,01	0,0137	0,038	-0,0367 ± 0,1123	-0,0641	-0,0093	-7,538	< 0,001	0,0262	0,073	-0,1978 ± 0,2318	-0,2501	-0,1456
	<b>ADR 2 - T-Force 2</b>	-2,239	< 0,05	0,0133	0,037	-0,0297 ± 0,1086	-0,0562	-0,0032	-17,871	< 0,001	0,0125	0,035	-0,2237 ± 0,1106	-0,2486	-0,1988
<b>Zona 2</b>	<b>ADR 1 - T-Force 1</b>	-5,384	< 0,001	0,0090	0,025	-0,0487 ± 0,0557	-0,0670	-0,0303	-8,908	< 0,001	0,0173	0,048	-0,1544 ± 0,1082	-0,1894	-0,1193
	<b>ADR 1 - T-Force 2</b>	-5,300	< 0,001	0,0084	0,023	-0,0447 ± 0,0519	-0,0617	-0,0276	-11,949	< 0,001	0,0095	0,026	-0,1138 ± 0,0595	-0,1331	-0,0946
	<b>ADR 2 - T-Force 1</b>	-5,769	< 0,001	0,0097	0,027	-0,0558 ± 0,0596	-0,0753	-0,0362	-10,105	< 0,001	0,0170	0,047	-0,1720 ± 0,1063	-0,2065	-0,1376
	<b>ADR 2 - T-Force 2</b>	-4,935	< 0,001	0,0105	0,029	-0,0518 ± 0,0646	-0,0730	-0,0305	-14,747	< 0,001	0,0089	0,025	-0,1315 ± 0,0557	-0,1496	-0,1135
<b>Zona 3</b>	<b>ADR 1 - T-Force 1</b>	-9,291	< 0,001	0,0031	0,009	-0,0291 ± 0,0203	-0,0354	-0,0228	-	-	-	-	-0,0491 ± 0,2220	-0,1174	0,0192
	<b>ADR 1 - T-Force 2</b>	-9,486	< 0,001	0,0029	0,008	-0,0279 ± 0,0190	-0,0338	-0,0219	-8,651	< 0,001	0,0063	0,017	-0,0542 ± 0,0411	-0,0668	-0,0415
	<b>ADR 2 - T-Force 1</b>	-8,980	< 0,001	0,0042	0,012	-0,0374 ± 0,0267	-0,0458	-0,0290	-	-	-	-	-0,0542 ± 0,2239	-0,1231	0,0147
	<b>ADR 2 - T-Force 2</b>	-8,627	< 0,001	0,0042	0,012	-0,0366 ± 0,0272	-0,0452	-0,0280	-9,909	< 0,001	0,0060	0,017	-0,0593 ± 0,0392	-0,0714	-0,0472
<b>Zona 4</b>	<b>ADR 1 - T-Force 1</b>	-8,104	< 0,001	0,0024	0,007	-0,0196 ± 0,0179	-0,0244	-0,0147	-	-	-	-	0,0470 ± 0,1473	0,0038	0,0903
	<b>ADR 1 - T-Force 2</b>	-6,947	< 0,001	0,0029	0,008	-0,0202 ± 0,0214	-0,0261	-0,0144	-7,985	< 0,001	0,0038	0,011	-0,0304 ± 0,0261	-0,0381	-0,0228
	<b>ADR 2 - T-Force 1</b>	-6,600	< 0,001	0,0034	0,009	-0,0226 ± 0,0255	-0,0295	-0,0158	-	-	-	-	0,0462 ± 0,1468	0,0031	0,0893
	<b>ADR 2 - T-Force 2</b>	-5,830	< 0,001	0,0040	0,011	-0,0234 ± 0,0295	-0,0314	-0,0153	-9,212	< 0,001	0,0034	0,009	-0,0313 ± 0,0233	-0,0381	-0,0244

m/s: meters per second; p: statistical significance; SD: Standard deviation SDC: Smallest detectable change; SEM: Standard error of measurement; t: difference size.

#### 4. DISCUSIÓN

El presente estudio fue diseñado para analizar la confiabilidad y el nivel de concordancia de un dispositivo LPT (encoder ADR) para la medición de la MPV concéntrica durante el ejercicio de BP en la máquina Smith, tanto con fase isométrica previa a la contracción concéntrica como en ausencia de ella., en todo el espectro de carga. Los hallazgos de la presente investigación sugirieron que el encoder ADR es un dispositivo válido y confiable para la evaluación y monitoreo de la velocidad de movimiento en el ejercicio de BP realizado en la máquina Smith, a lo largo de todo el espectro de carga. Estos resultados ratifican parcialmente nuestras hipótesis anteriores, ya que (i) se encontraron niveles moderados de desacuerdo en la zona 1 del PSP, y (ii) aunque los valores más bajos de acuerdo y confiabilidad se dieron a altas velocidades de ejecución, estas diferencias no fueron significativas respecto al resto de zonas de entrenamiento, a excepción de la situación comentada anteriormente.

La evaluación de la confiabilidad de un dispositivo es un requisito esencial para determinar el grado y magnitud de las variaciones en los resultados que ofrece.(Courel-Ibáñez et al., 2019) De esta forma, es posible cuantificar de forma objetiva y rigurosa el grado de repetibilidad que ofrece el dispositivo en estudio, dado un protocolo de ejecución específico y en condiciones de intervención bien definidas.(Courel-Ibáñez et al., 2019; Hopkins, 2000) Este hecho nos permitirá evaluar si el grado de variación que ofrece un determinado dispositivo se encuentra dentro de los límites aceptados, que serán menores o mayores según el uso previsto de los datos.(Garnacho-Castaño et al., 2015; Smart et al., 2013) Por lo tanto, el primer paso para verificar el rigor de un dispositivo es analizar su confiabilidad, ya que un dispositivo que no es confiable no puede ser considerado válido.(Courel-Ibáñez et al., 2019)



Los resultados de confiabilidad del presente estudio para la medición de la MPV están en línea con los resultados informados de investigaciones previas de validación de LPT de bajo costo (Courel-Ibáñez et al., 2019; Martínez-Cava et al., 2020) que realizaron el ejercicio de BP en condiciones similares, ambos tanto con fase isométrica (dispositivo Chronojump; ICC = 0,995, CV = 5, 2 %, SEM = 0,04 m/s)(Courel-Ibáñez et al., 2019) como sin ella (dispositivo GymAware; ICC = 0,999, CV = 1,80 %, SEM = 0,02 m/s).(Martínez-Cava et al., 2020) Evidencia científica previa, como los estudios de Cormie et al.(Cormie et al., 2007) y Król y Golas(Król & Gołaś, 2017) sugieren que monitorear la velocidad concéntrica sin una fase isométrica previa conduce a mayores errores de medición.(Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017) Esto se debe en parte a la limitación de este tipo de dispositivos para detectar el inicio real de la fase de empuje, maximizando los errores de medición cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo (cantidad de datos reportados por segundo y expresados en Hertzios (Hz)).(Hori et al., 2007; Linthorne, 2001) Sin embargo, la evidencia de los estudios antes mencionados, junto con los resultados obtenidos de la presente investigación, refuta esta idea, al menos cuando los ejercicios se realizan en una máquina Smith.(Courel-Ibáñez et al., 2019; Martínez-Cava et al., 2020) Esto sugiere que los valores de confiabilidad se ven más afectados por otros factores limitantes inherentes a la tecnología de transductores lineales, como la alta sensibilidad cuando el ejercicio se realiza en la condición de peso libre, reportada por investigaciones previas.(Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017) En este sentido, futuras investigaciones deben analizar el comportamiento del dispositivo ADR durante ejercicios con peso libre, para verificar el grado de eficacia ante este nuevo requerimiento cinemático. Además, para evaluar adecuadamente la confiabilidad de un dispositivo, es necesario separar los errores tecnológicos de los errores biológicos, de manera que se pueda determinar su verdadera precisión.(Courel-Ibáñez et al., 2019) En

el presente estudio se minimizaron al máximo los errores de tipo biológico, ya que el protocolo se realizó en una máquina Smith (evitando el plano 3D), con una fase isométrica previa y con la ejecución de un ejercicio de naturaleza no pliométrica, según recomendaciones metodológicas previas.(Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017; Martínez-Cava et al., 2020) Este hecho, junto con la realización del PSP con la misma muestra de sujetos, permitió a los investigadores concluir objetivamente que el dispositivo ADR mantiene condiciones adecuadas de fiabilidad independientemente del modo de ejecución del movimiento.

A pesar de evaluar la confiabilidad de un dispositivo específico, también es importante determinar si existe o no una concordancia entre los LPT y el estándar de oro utilizado, para comprobar si producen valores de velocidad similares.(Harris et al., 2010) De esta forma, es posible proporcionar a los entrenadores de fuerza y acondicionamiento y otros profesionales asociados, información que les permita evaluar objetivamente la precisión real de un determinado dispositivo, y si son intercambiables con respecto a otros(Gonzalez et al., 2019)

Los resultados de concordancia del presente estudio corroboran la capacidad de ADR para medir con precisión los valores de MPV en todo el espectro de carga, tanto en el PP como en el PSP (ver Tabla 2). Sin embargo, vale la pena resaltar la tendencia de disminución de los errores de medición a medida que disminuye la MPV, en línea con investigaciones previas realizadas con valores medios como Askow et al.(Askow et al., 2018) (Dispositivo GymAware; SEE = 0,03 - 0,04 m/s), Courel-Ibáñez et al.(Courel-Ibáñez et al., 2019) (Dispositivo Chronojump; ICC = 0,984 - 0,993; SEE = 0,04 - 0,05 m/s), y McGrath et al.(McGrath, 2021) (Dispositivo FitroDyne; ICC = 0,958 - 0,977). De esta forma, se pueden discernir dos umbrales de concordancia fundamentales dependiendo de si los márgenes de error son de una magnitud a tener en cuenta o no,

considerando los valores de MDC reportados por investigaciones previas.(González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Martínez-Cava et al., 2019; Sánchez-Medina et al., 2014) En consecuencia, se observó que el ADR tiene errores de medición no significativos en todas las zonas de entrenamiento (SEM = 0,0024 - 0,0204 m/s, MDC = 0,007 - 0,057 m/s) en el PP. Estos resultados son inferiores a los informados por Courel-Ibáñez et al.(Courel-Ibáñez et al., 2019) con un protocolo de ejecución idéntico al del presente estudio (SEE = 0,06 m/s; MDC = 0,15 m/s). En este sentido, autores como Weakley et al.(J. Weakley et al., 2021) apoyan la hipótesis de que una mayor frecuencia de muestreo favorece una mayor precisión de los datos obtenidos. Por tanto, la diferencia en las frecuencias de muestreo de ambos dispositivos implicados (Chronojump = 500 Hz. ADR = 1.000 Hz) puede ser uno de los factores a tener en cuenta, siempre que se realice con una fase isométrica previa y en una máquina Smith.(Cormie et al., 2007; Courel-Ibáñez et al., 2019; Martínez-Cava et al., 2020) Por otro lado, el PSP refleja niveles moderados de desacuerdo (González-Badillo & Sánchez-Medina, 2010; Martínez-Cava et al., 2019; Sánchez-Medina et al., 2014) en la zona de entrenamiento 1 (SEM = 0.0125 - 0.0288 m/s; MDC = 0.035 - 0.080 m/s), careciendo de significación en el resto de zonas de entrenamiento posteriores (SEM = 0,0034 - 0,0173 m/s; MDC = 0,048 - 0,009 m/s). Estos resultados no pueden ser comparados objetivamente con ningún trabajo existente en la literatura previa, ya que hasta donde sabemos, ningún estudio ha evaluado los errores de medición en términos estadísticos absolutos (SEE, SEM, MDC) de un ejercicio de tren superior sin una fase isométrica previa a la fase concéntrica del ejercicio. Sin embargo, estas diferencias con respecto a los resultados obtenidos con el PP son ciertamente predecibles, considerando que la ausencia de una pausa isométrica acentúa el error técnico inherente a los LPT en la detección del inicio real de la fase concéntrica del movimiento. (Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017) A su vez, la magnitud del error es directamente

proporcional a la frecuencia de muestreo del dispositivo LPT (1000 Hz en el caso del codificador ADR), tal como lo indican investigaciones anteriores.(Hori et al., 2007; Linthorne, 2001)

A pesar de los óptimos resultados obtenidos en los errores de medida de origen tecnológico, es importante señalar que el dispositivo ADR subestima significativamente los valores de MPV respecto a T-Force, tanto en el PP ( $t = -2.239 - -9.486$ ;  $p. < 0,001 - 0,05$ ) y PSP ( $t = -6,901 - -17,871$ ;  $p. < 0,001$ ). Estos resultados están en línea con estudios previos como Mitter et al.(Mitter et al., 2019) y Perez-Castilla et al.(Pérez-Castilla et al., 2017) que reportaron diferencias significativas ( $p. < 0,001$ ) en diferentes dispositivos LPT con respecto a sus estándares oro (GymAware vs. Vicon 3D y Speed4Lifts vs. Trio OptiTrack, respectivamente), en la cuantificación de la velocidad media. Sin embargo, existen dificultades para extrapolar estos resultados con el presente estudio, ya que en uno de los estudios previos el ejercicio se realizó en la condición de peso libre(Mitter et al., 2019) y en ambos estudios (Mitter et al., 2019; Pérez-Castilla et al., 2019) se utilizaron los datos de velocidad media. Además, se desconoce el alcance de estas diferencias en términos absolutos. Todo ello hace que los datos recogidos en este estudio deban ser tratados con cautela. Sin embargo, independientemente de la magnitud de las diferencias, los resultados obtenidos en la presente investigación se suman a un cuerpo de evidencia que supone una clara subestimación en los datos recolectados por los dispositivos LPT con respecto al T-Force.(Courel-Ibáñez et al., 2019; Garnacho-Castaño et al., 2015) Una de las principales explicaciones se debe al sistema de procesamiento de datos inherente a cada tecnología. Mientras que los LVT proporcionan mediciones de velocidad directamente, registrando señales eléctricas que son proporcionales a la velocidad de extensión del cable.(McMaster et al., 2014; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), los LPT obtienen datos de velocidad a partir de datos de desplazamiento del cable.(Harris

et al., 2010; Pérez-Castilla et al., 2019) Se ha demostrado previamente que la manipulación de datos sin procesar por derivación aumenta los errores de medición de los cálculos resultantes.(McMaster et al., 2014; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011) Por lo tanto, este factor constituye una desventaja insalvable de los LPT en comparación con los LVT, que aumentará a medida que se requieran más procesos de procesamiento de datos para calcular variables derivadas de la velocidad, como la MPV.(García-Ramos, Pestaña-Melero, Pérez-Castilla, Rojas, & Gregory Haff, 2018; Sanchez-Medina et al., 2010) El hecho de que las diferencias sean mayores en el PSP en comparación con el PP puede explicarse, nuevamente, por la frecuencia de muestreo y la capacidad limitada para detectar el inicio real de la fase concéntrica del movimiento por parte de los LPT.(Cormie et al., 2007; Król & Gołaś, 2017) La ausencia de una fase isométrica previa a la fase de empuje favorece la adición de puntos temporales previos al inicio real del movimiento a evaluar, aumentando la magnitud del error tecnológico.(Hori et al., 2007; Linthorne, 2001)

A pesar de ser el único estudio que ha comparado dos protocolos de ejecución con la misma muestra de sujetos para evaluar la fiabilidad y el nivel de concordancia de un dispositivo LPT, la presente investigación no está exenta de limitaciones. En primer lugar, los resultados solo pueden extrapolarse a la población masculina, por lo que se desconoce la fiabilidad del codificador ADR en la población femenina. En segundo lugar, los hallazgos informados solo pueden extrapolarse a ejercicios de la parte superior del cuerpo no pliométricos realizados en el plano 2D (máquina Smith). En tercer lugar, el uso de rangos de carga demasiado amplios, junto con el uso de un solo dispositivo estándar de oro, constituyen dos limitaciones que pueden disminuir el impacto de los hallazgos actuales. El uso de un dispositivo estándar de oro adicional podría haber contribuido a dar mayor robustez, si cabe, en el proceso de validación. Para concluir, es muy común que

las empresas de dispositivos actualicen su software de análisis complementario para adaptar y mejorar continuamente sus productos. Estas actualizaciones pueden alterar algunos algoritmos de cálculo de variables, con sus consiguientes variaciones respecto a versiones anteriores. En este sentido, nuestros resultados pueden no reflejar con precisión las versiones más recientes que aparecen. Sin embargo, la presente investigación ofrece valiosa información sobre el comportamiento de este tipo de dispositivos en diferentes protocolos de actuación a lo largo de todo el espectro de carga.

## 5. CONCLUSIONES

El codificador ADR es un dispositivo LPT que proporciona resultados fiables para la evaluación y seguimiento de la MPV en la fase concéntrica, para ejercicios de BP realizados en la máquina Smith en todo el espectro de carga. En cuanto al grado de concordancia, el encoder ADR reportó mínimos errores de medida respecto a T-Force en todo el espectro de carga, tanto en el PP como en el PSP, excepto en la zona de entrenamiento 1 (0 - 40% de 1RM) de este último protocolo. Estos errores de medición se relacionaron positivamente con la velocidad de ejecución del movimiento. Además, es importante tener en cuenta que el codificador ADR subestimó considerablemente y sistemáticamente todos los resultados de MPV en comparación con T-Force, por lo que estos dispositivos no son intercambiables entre sí. Además, se deben establecer rangos de carga más sensibles para corroborar la alta confiabilidad demostrada por el encoder ADR durante la presente investigación.

## 6. APLICACIONES PRÁCTICAS

El dispositivo encoder ADR ofrece medidas fiables de la velocidad de ejecución en ejercicios no pliométricos realizados en máquina Smith, en todo el rango de intensidades de carga, independientemente de que la ejecución se realice con una fase isométrica previa o no. Estos hallazgos postulan al encoder ADR como un dispositivo práctico y de bajo costo (\$207), dotado de una alta sensibilidad para detectar cambios en el rendimiento, cualquiera que sea el propósito del programa de VBT. Sin embargo, se debe tener en cuenta la subestimación de los valores de velocidad cuando se compara con un dispositivo estándar de oro, por lo que este dispositivo no es intercambiable con T-Force. El hecho de que el codificador ADR cumpla con los valores de concordancia y confiabilidad en ejercicios realizados en el plano 3D y/o en ejercicios pliométricos es un tema a investigar. Por último, el ejercicio realizado en máquina Smith con fase isométrica previa a la acción muscular concéntrica, parece ser el protocolo de actuación más eficaz para minimizar los errores de medida de carácter biológico. Es importante optimizar al máximo dispositivos de esta naturaleza.



**PARTE VI**  
**(ESTUDIO 4)**

## ESTUDIO IV

*¿Cuál es la prueba más sensible para identificar la fatiga a través del análisis del estado neuromuscular en jugadores de élite de fútbol sala?*

**Objetivos:** Determinar cuál de las pruebas de monitorización del estado neuromuscular (NMS) (salto con contramovimiento (CMJ) o sentadilla trasera con carga adicional) es la más sensible y eficaz para evaluar el estado de fatiga en los jugadores de fútbol sala de nivel élite durante la pretemporada. **Material y Métodos:** Para formar parte de este estudio se reclutaron 17 jugadores profesionales de fútbol sala (edad:  $23,07 \pm 6,76$  años; altura:  $1,75 \pm 0,06$  m; masa corporal:  $75,47 \pm 7,47$  kg; experiencia en élite:  $5,38 \pm 2,03$  años). Todos ellos participaron tanto en el pre como en el post test antes y después de cada entrenamiento durante la pretemporada. Durante estos entrenamientos se realizaron dos test de ejercicios: CMJ y sentadilla con carga adicional. Se usó una plataforma de salto para extraer la altura del salto durante el CMJ, mientras que se usó un transductor de posición lineal para extraer la velocidad media (MV) y la velocidad media propulsiva (MPV) durante el ejercicio de sentadilla trasera. **Resultados:** El análisis mostró diferencias estadísticamente significativas para los efectos intra-sujeto para MV y MPV en el ejercicio de sentadilla con carga ( $p < 0.001$ ) con valores más bajos durante las medidas posteriores. **Conclusiones:** La monitorización del NMS a través de la sentadilla trasera aporta mayor sensibilidad y objetividad a los resultados obtenidos que los correspondientes al CMJ, debido a una extrapolación neuromuscular más directa a las exigencias físicas del fútbol sala.

## STUDY IV

*What is the most sensitive test to identify fatigue through the analysis of neuromuscular status in elite futsal players?*

**Objectives:** Determine which of the neuromuscular status (NMS) monitoring tests (Countermovement jump (CMJ) or back squat with additional load) is the most sensitive and effective for evaluating the state of fatigue in futsal players during the preseason.

**Material and Methods:** 17 professional futsal players were recruited to make part of this study (age:  $23.07 \pm 6.76$  years old; height:  $1.75 \pm 0.06$  m; body mass:  $75.47 \pm 7.47$  kg; experience in playing in elite:  $5.38 \pm 2.03$  years). All of them took part in both pre- and post- test before and after each training session during the preseason. During these training sessions, two exercises test were done: CMJ and back squat with additional load. A jump platform was used to extract jump heigh during CMJ, while a linear position transducer was used to extract mean velocity (MV) and mean propulsive velocity (MPV) during back squat exercise. **Results:** The analysis showed statistically significant differences for intra-subject effects for MV and MPV in loaded back squat exercise ( $p < 0.001$ ) with lower values during the post-measures. **Conclusions:** Monitoring the NMS through the back squat provides greater sensitivity and objectivity to the results obtained than those corresponding to the CMJ, due to a more direct neuromuscular extrapolation to the physical demands of futsal.

## INTRODUCCIÓN

Se cree ampliamente que los períodos de entrenamiento preparatorios, especialmente la pretemporada, constituyen la ventana de tiempo clave para mejorar el rendimiento de los atletas en deportes de equipo como el fútbol sala (Barcelos et al., 2017; Miloski et al., 2016). Sin embargo, la congestión de partidos en este tipo de deporte ha ido restringiendo la duración de la pretemporada, obligando a los cuerpos técnicos a concentrar grandes cantidades de trabajo en muy poco tiempo (Nimmo et al., 2007; Thorpe et al., 2017). Como consecuencia, el riesgo de que los jugadores sufran episodios de fatiga aguda o crónica durante la pretemporada aumenta considerablemente, lo que puede derivar en sobreesfuerzos no funcionales, lesiones o enfermedades (Nimmo et al., 2007). Por ello, el seguimiento del estado de fatiga en los jugadores de fútbol sala durante la pretemporada es un tema de gran interés en la actualidad.

La fatiga del jugador se puede controlar mediante variables bioquímicas, fisiológicas, psicológicas y de rendimiento físico (Callaghan et al., 2021; A. Coutts et al., 2007; Halson, 2014; Vervoorn et al., 1991). Estos últimos se caracterizan por evaluar el estado neuromuscular (NMS, por sus siglas en inglés) de los deportistas, ofreciendo resultados cuantificables objetivos y útiles (Johnston et al., 2015). En este sentido, la altura de salto con contramovimiento (CMJ, por sus siglas en inglés) ha sido ampliamente utilizada para monitorizar el NMS de deportistas de deportes colectivos, dada su validez (Claudino et al., 2017) y fiabilidad (Cormack et al., 2008) asociadas, con implicación de acciones explosivas propias de modalidades deportivas con oposición (Gathercole et al., 2015). Sin embargo, las pruebas de CMJ requieren la aplicación de requisitos de protocolo que pueden llevar mucho tiempo para el entrenamiento, ya que no están integrados en ningún programa de entrenamiento específico (Twist et al., 2012). Por tanto, la búsqueda de un método alternativo de monitorización del NMS que pueda integrarse en una sesión

de entrenamiento (p. ej., dentro de una sesión de entrenamiento de fuerza específica) puede resultar en una mayor optimización de la sesión de entrenamiento, tanto en términos de tiempo como de calidad en los resultados obtenidos de la misma.

Estudios previos reportaron una fuerte correlación negativa entre la velocidad de ejecución y las cargas relativas basadas en una repetición máxima (1RM) (Banyard et al., 2018; García-Ramos, Torrejón, Feriche, Morales-Artacho, Pérez-Castilla, et al., 2018). Además, al conocer el perfil de fuerza-velocidad de un atleta, es posible determinar la pérdida de velocidad asociada con una carga determinada después del entrenamiento o eventos competitivos (Callaghan et al., 2021). Por lo tanto, la pérdida de velocidad de la barra durante el ejercicio de fuerza se puede usar en combinación con las variables del CMJ para evaluar los cambios en el NMS después de los episodios de fatiga (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Vernon et al., 2020). De hecho, se han informado fuertes correlaciones entre los cambios en la altura del CMJ y la velocidad propulsora media de la barra durante la sentadilla ( $r = 0.93$ ) a intensidades relativas del 60-90% de 1RM, después de los ejercicios de fuerza (Mora-Custodio et al., 2018; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011). Sin embargo, no se sabe qué prueba proporciona información más sensible sobre la acumulación de fatiga durante las sesiones de entrenamiento de deportes de equipo, o si son comparables para detectar la pérdida de rendimiento.

El CMJ se ha utilizado ampliamente para cuantificar la fatiga neuromuscular en los deportes de equipo (Callaghan et al., 2021; Claudino et al., 2017; Gathercole et al., 2015; Hagstrom & Shorter, 2018). Sin embargo, hasta donde sabemos, la velocidad de la barra en el ejercicio de sentadillas para cuantificar la fatiga neuromuscular se ha realizado solo en partidos oficiales de rugby (Callaghan et al., 2021). Por tanto, el objetivo del estudio fue determinar cuál de los test de monitorización del NMS es el más sensible para evaluar

el estado de fatiga de los jugadores de fútbol sala durante los entrenamientos de pretemporada.

## **MATERIAL Y MÉTODOS**

### ***Participantes***

Se reclutó una muestra de 17 jugadores (incluidos 3 porteros) de un club de fútbol sala portugués de alto nivel para participar en este estudio (edad:  $23,07 \pm 6,76$  años; altura:  $1,75 \pm 0,06$  m; masa corporal:  $75,47 \pm 7,47$  kg; experiencia jugando en élite:  $5,38 \pm 2,03$  años). El criterio de exclusión fue la existencia de alguna lesión reciente que requiriera atención médica. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética local (ID: 3075/2020) y siguió las recomendaciones éticas para estudios en humanos establecidas en la Declaración de Helsinki (2013).

### ***Instrumentos***

*Chronojump Boscosystem (Barcelona, Spain)*: El sistema está compuesto por un dispositivo cronométrico que se encarga de cronometrar los cambios de estado del dispositivo de detección, denominado Chronopic. Los datos son recolectados a través de su software de gestión “Chronojump”, a través de una computadora con sistema operativo Windows 10. Este sistema se configuró con un umbral de 50 ms. Este instrumento se utilizó durante el CMJ para extraer dos variables: tiempo de vuelo y altura de salto.

*ADR encoder*: Este dispositivo consiste en una tecnología de transductor de posición lineal que transfiere los datos de velocidad concéntrica instantáneamente a través de bluetooth a un dispositivo portátil con software personalizado (versión 5.2). Tiene una

frecuencia de muestreo de 1.000Hz, con un error de cálculo de  $\pm 2,5$  mm de desplazamiento y una tensión de muelle de 150g (dato facilitado por la empresa). Este instrumento se utilizó durante la sentadilla con carga adicional para extraer dos variables: Velocidad media (MV, por sus siglas en inglés) y velocidad media propulsiva (MPV, por sus siglas en inglés).

### ***Mediciones y Procedimientos Experimentales***

El estudio se llevó a cabo antes (pre-test) y después (post-test) de cada sesión de entrenamiento ( $n = 16$ ) durante la pretemporada (del 16 de agosto al 12 de septiembre de 2021) con un equipo portugués de fútbol sala profesional. Los participantes estuvieron expuestos a una semana inicial de familiarización de las pruebas que se realizaron durante el protocolo de investigación, con el fin de garantizar una correcta técnica y consistencia en la ejecución. Se desarrolló un test submáximo inicial con sesión de cargas progresivas para crear perfiles de fuerza-velocidad individualizados para cada participante después del proceso de familiarización, que se utilizaron para establecer la carga correspondiente a una MV de 0,9 – 1,1 m/s durante la sentadilla trasera (Banyard, Nosaka, & Haff, 2017; Sánchez-Medina et al., 2017). Posteriormente, los jugadores fueron divididos en dos grupos con una carga constante de 30kg o 40kg, y asignados a uno u otro grupo en función de la adaptación más óptima al rango de carga expuesto anteriormente. Además, esta carga se utilizó posteriormente para monitorizar el NMS durante toda la intervención. Se realizó una entrada en calor estandarizada antes de cualquier prueba del protocolo de intervención, que consistió en ejercicios de movilidad articular, desplazamientos cortos y rápidos en múltiples planos, CMJ submáximo y sentadillas con barra descargada. Después del calentamiento, los jugadores realizaron pruebas de sentadillas y CMJs, con

3 minutos intercalados entre las pruebas. Entre cada ejercicio se respetaron 3 minutos de descanso.

***Salto con contramovimiento (CMJ):*** Los participantes realizaron el CMJ desde una posición erguida, utilizando una profundidad seleccionada por ellos mismos, y recibieron instrucciones de saltar lo más alto posible mientras mantenían las manos en las caderas durante todo el salto. Se dieron 10s de descanso pasivo de pie entre cada intento. (Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011; Wadhi et al., 2018) Se ha sugerido que la altura del CMJ es sensible a los cambios en el NMS en atletas de deportes de equipo (Gathercole et al., 2015; Wadhi et al., 2018). Por lo tanto, la variable altura de salto fue seleccionada para analizar el rendimiento del CMJ pre-entrenamiento y post-entrenamiento.

***Sentadilla trasera con carga adicional:*** La profundidad de cada repetición de sentadilla trasera fue previamente determinada y estandarizada (fémures aproximadamente paralelos al suelo) durante la porción cuasi-isométrica del ejercicio. Una vez establecida la posición inicial, los participantes debían realizar la fase concéntrica lo más rápido posible hasta alcanzar la extensión completa de la cadera y la rodilla sin saltar (Sánchez-Medina et al., 2017). Durante cada repetición, la barra permaneció en contacto constante con la superficie superior del músculo trapecio (Banyard et al., 2018). A lo largo del estudio, la colocación de los pies y la profundidad de la sentadilla se determinaron y replicaron a lo largo de todos los procedimientos de prueba para cada participante utilizando marcas en el suelo y bandas para proporcionar pistas para mantener la consistencia del rango de movimiento (Hughes et al., 2019).

La MV y MPV de la barra se registraron durante cada sentadilla usando un transductor de posición lineal (encoder ADR; Toledo, España), con un cable que se fijó a



la barra y el dispositivo al suelo, directamente debajo de la barra (Hughes et al., 2019). Para el desarrollo de los perfiles de fuerza-velocidad se utilizaron regresiones lineales estándar, con base en la repetición de MV más rápida de cada serie con cargas submáximas. Se ha demostrado que el perfil de fuerza-velocidad es altamente confiable cuando se utiliza la sentadilla trasera con cargas entre 20-90 % de 1RM (ICC > 0.8; CV < 7 %) (Moreno-Villanueva et al., 2021). La sección de la línea de regresión se determinó a una MV de entre 0,90 - 1,1 m/s y se calculó la carga correspondiente con una precisión de 2,5 kg. Una vez realizados los perfiles fuerza-velocidad individualizados, cada deportista realizó dos repeticiones con una carga adicional correspondiente al 60% de 1RM (0,90 – 1,10 m/s), con 10 segundos de descanso entre repeticiones, tanto preentrenamiento como postentrenamiento, en cada una de las sesiones que compusieron la pretemporada.

### ***Análisis estadístico***

Las estadísticas descriptivas se presentaron como media y desviación estándar (M y SD). Además, se calcularon los valores delta (antes - después), así como el cambio mínimo detectable (MDC, por sus siglas en inglés) para estimar el valor significativo de cambio (antes vs después) para cada prueba. Para comparar las diferencias entre las medidas previas y posteriores (medidas intrasujeto), se ejecutó un ANOVA de una vía para medidas repetidas con la posición de juego como factor entre sujetos. Se usó la prueba post hoc de Bonferroni para probar las comparaciones por pares y se estimó el tamaño del efecto (ES, por sus siglas en inglés) usando el eta cuadrado parcial para los resultados de ANOVA y la “d” de Cohen para las comparaciones intra-sujetos. Los rangos de interpretación para ambos ES son los siguientes: (i) cuadrado eta parcial:

pequeño=0,01; medio= 0,06; y grande= 0.14; y (ii) d de Cohen: trivial<0,2; pequeño= 0,2-0,6; moderada= 0,6-1,2; grande= 1.2-2.0; muy grande>2.0 (Cohen, 1988)

Por último, se analizó la serie temporal del rendimiento de los jugadores mediante la función de autocorrelación (ACF, por sus siglas en inglés) para comprobar la variabilidad de las medidas (considerando 1-log= 1 sesión de entrenamiento). La ACF proporciona valores positivos o negativos que indican una mayor o menor variabilidad (persistencia) de las medidas para cada prueba durante la prueba previa y posterior. La función de correlación cruzada (CCF, por sus siglas en inglés) se ejecutó para cada prueba para controlar las medidas correlacionadas o no correlacionadas entre la prueba previa y la posterior. Los valores positivos o negativos permiten mostrar una mayor o menor coordinación entre medidas. Para comprobar la magnitud de las correlaciones se consideró el siguiente rango de valores de r para: trivial <0,1; pequeño= 0.1-0,3; moderada= 0,3-0,5; grande= 0,5-0,7; muy grande= 0,7-0,9; casi perfecto>0.9 (Hopkins et al., 2009).

## RESULTADOS

El análisis de varianza (ANOVA) para medidas repetidas (intra-sujeto: medidas previas vs posteriores) se presenta en la tabla 1. El análisis mostró diferencias estadísticamente significativas para los efectos intra-sujeto para MV y MPV en el ejercicio de sentadilla con carga ( $p < 0,001$ ) con valores más bajos durante las post-medidas. El análisis de las series temporales para cada jugador y todos los jugadores utilizando la función de autocorrelación de medidas previas y posteriores está disponible en la tabla 2.

**Tabla 1.** Estadísticas descriptivas (media y desviación estándar) para las variables CMJ, MV y MPV durante las medidas previas y posteriores.

	Pre		Post		Delta		MDC	Cohen's d
	M	SD	M	SD	M	SD		
<b>CMJ</b>	42.05	4.40	41.73	4.94	-1.25	10.87	6.52	0.246
<b>MV</b>	1.08	0.06	1.02	0.06	0.06	0.14	0.18	1.41
<b>MPV</b>	1.09	0.06	1.02	0.07	0.07	0.14	0.13	1.628

Note: CMJ = Countermovement jump; Delta= Mean differences between pre and post measures; MDC= Minimum detectable change; MPV= Mean propulsive velocity; MV= Mean velocity.

**Tabla 2.** Resultados de la serie temporal para cada jugador y todos los jugadores utilizando la función de autocorrelación (ACF) para cada variable y la función de correlación cruzada (CCF) que relaciona las medidas pre y post.

Sujeto	CMJ			MV			MPV		
	PRE	POST	CCF	PRE	POST	CCF	PRE	POST	CCF
1	0.07	0.04	0.38	0.07	0.09	0.65*	-0.04	0.01	0.84†
2	-0.01	-0.24	0.59*	-0.23	0.01	0.69*	-0.09	0.05	0.75†
3	0.04	-0.13	0.53*	0.27	-0.01	0.86†	0.20	-0.20	0.67*
4	0.17	0.06	0.82†	0.10	-0.04	0.93‡	0.09	0.10	0.95‡
5	0.19	-0.02	0.60*	-0.09	-0.20	0.83†	-0.03	-0.24	0.65*
6	0.41	-0.02	0.53*	-0.05	-0.32	0.76†	-0.11	-0.14	0.80†
7	-0.15	0.29	0.45	0.25	-0.09	0.67*	0.16	0.10	0.87†
8	0.03	0.01	0.94‡	0.15	0.08	0.77†	0.34	0.02	0.67*
9	0.39	-0.06	0.42	0.32	-0.11	0.93‡	0.30	0.03	0.94‡
10	0.21	0.10	0.72†	-0.06	-0.09	0.58*	-0.07	-0.08	0.59*
11	0.29	-0.06	0.57*	0.19	-0.31	0.75†	0.32	0.00	0.76†
12	0.43	0.47	0.65*	-0.05	-0.06	0.91‡	0.03	0.01	0.89†
13	-0.23	0.04	0.62*	0.05	0.06	0.54*	-0.15	-0.39	0.38
14	0.37	0.32	-0.21	0.26	0.32	0.85†	0.09	0.14	0.82†
15	0.13	-0.20	0.55*	0.34	0.08	0.61*	0.14	-0.02	0.67*
16	0.09	0.03	0.37	-0.02	-0.08	0.16	0.00	0.04	0.66*
17	0.44	0.15	0.91‡	0.08	0.07	0.91‡	-0.08	0.07	0.84†
<b>TODOS LOS JUGADORES</b>	0.11	0.05	0.68*	0.23	0.15	0.89†	0.08	0.05	0.91‡

Note= CMJ = Countermovement jump; MPV= Mean propulsive velocity; MV= Mean velocity.

r values \* large (0.5). † very large (0.7); ‡nearly perfect (0.9)

## DISCUSIÓN

Ningún estudio previo ha investigado si la evaluación de la MV y la MPV durante la fase de propulsión de una sentadilla trasera con carga es más sensible para el monitoreo del estado de fatiga a través del NMS durante la pretemporada, en comparación con la prueba de CMJ comúnmente utilizada para tal fin. Por tanto, el objetivo del estudio fue determinar cuál de los test de monitorización del NMS es más sensible y efectivo para evaluar el estado de fatiga en jugadores de fútbol sala durante la pretemporada en base al rendimiento pre y post entrenamiento en cada sesión de pretemporada. Los resultados de

la presente investigación sugirieron que las variables del test de sentadilla trasera con carga (MV y MPV de la fase propulsiva del movimiento) resultaron ser más sensibles y confiables a cambios en el NMS y el estado de fatiga con respecto a la prueba de CMJ.

En el fútbol sala, las disminuciones de la función neuromuscular de pretemporada surgen debido al daño muscular causado por la acumulación de cargas de entrenamiento, ya sea por sesiones de fuerza específicas, o por cargas excéntricas repetidas propias de situaciones de juego, como desaceleraciones y cambios de dirección (Naser et al., 2017; Spyrou et al., 2020). Estos episodios de sobrecarga suelen concentrarse en músculos específicos en respuesta a las exigencias que impone el deporte, como el cuádriceps y el gastrocnemio, ya que juegan un papel fundamental en las desaceleraciones en carrera (Hewit et al., 2011). Estos hallazgos son consistentes con la disminución significativa en la contracción voluntaria máxima de los extensores de la rodilla y en la tasa de desarrollo del torque que se encuentra inmediatamente después de un partido de fútbol en atletas semiprofesionales (Brownstein et al., 2017), así como inmediatamente después de un partido de rugby en atletas aficionados (Duffield et al., 2012). Además, se espera que en el fútbol sala, con un ratio superficie/jugador mucho menor que el fútbol y el rugby, así como un número ilimitado de sustituciones, estas exigencias derivadas de las aceleraciones y desaceleraciones sean considerablemente mayores (Harper et al., 2019; Spyrou et al., 2020).

En nuestra investigación, la técnica de sentadilla trasera con carga se estandarizó con criterios de rendimiento idénticos (flexión de la rodilla y colocación del pie) entre los participantes, lo que redujo la variabilidad interindividual de los resultados (Kristiansen et al., 2019; Sánchez-Medina et al., 2017). Además, la naturaleza biomecánica de la sentadilla trasera con carga hace posible que las demandas físicas se centren en los músculos cuádriceps y gastrocnemio (Choe et al., 2021; Lahti et al., 2019). Sin embargo,

la técnica de ejecución del CMJ fue más flexible, permitiendo a los participantes una profundidad autoseleccionada, como se hace en la gran mayoría de las investigaciones previas (Johnston et al., 2015; Twist et al., 2012). De esta forma, los atletas podrían haber adaptado la profundidad de la flexión de la rodilla en la ejecución del CMJ para comprometer la musculatura de la cadena posterior a través de una mayor participación de los extensores de la cadera y optimizar el rendimiento de la prueba del CMJ, limitando el reclutamiento de músculos fatigados (es decir, cuádriceps y gastrocnemio) (Linthorne, 2021; Mackala et al., 2013). Por lo tanto, la prueba de sentadilla trasera cargada puede tener una extrapolación más directa a los principales músculos involucrados en el fútbol sala que la prueba de CMJ.

Junto con la biomecánica del movimiento, la resistencia a vencer en cada una de las pruebas de rendimiento puede jugar un papel fundamental en la consistencia de los resultados obtenidos (Glassbrook et al., 2019; Krzyszkowski & Kipp, 2020). En la prueba de CMJ, los jugadores solo necesitan superar la resistencia de la gravedad. Este factor, junto con la variabilidad interindividual en la ejecución técnica del movimiento, implica obtener resultados de altura de salto fluctuantes ( $CCF = 0,68$ ;  $r = 0,5$ ). Por su parte, en el test de sentadilla trasera con carga, los jugadores necesitan vencer la resistencia de la gravedad más una carga adicional, establecida proporcionalmente según el perfil de fuerza-velocidad previamente personalizado. La necesidad de superar una carga adicional, junto con el mayor rango de movimiento impuesto, con su consecuente aumento del estiramiento y la mayor duración concéntrica, impone una mayor demanda a los músculos del tren inferior (Glassbrook et al., 2019; Krzyszkowski & Kipp, 2020). Estos resultados son similares a los informados por Callaghan et al (Callaghan et al., 2021) en jugadores de rugby de nivel sub-élite, que sugirieron que la carga adicional en la sentadilla trasera puede imponer mayores requisitos en los músculos de la parte inferior

del cuerpo. Este factor, junto con la sollicitación directa de los músculos más fatigados durante un partido de fútbol sala (Choe et al., 2021; Hewit et al., 2011; Spyrou et al., 2020), hace que la monitorización del NMS a través de la sentadilla trasera con carga aporte mayor sensibilidad y objetividad a los resultados obtenidos que los correspondientes al CMJ.

Aunque este estudio ofrece información novedosa sobre el análisis de la MV y la MPV para el seguimiento del NMS y la identificación de episodios de fatiga aguda en jugadores de fútbol sala de élite, la presente investigación no está exenta de limitaciones. En primer lugar, aunque se ha demostrado que el uso de una carga correspondiente al 60% de 1RM puede utilizarse para monitorizar el NMS a través de la MV y la MPV de sentadilla trasera a través de un transductor de posición lineal (Mora-Custodio et al., 2018; Sánchez-Medina & González-Badillo, 2011), lo cierto es que este dispositivo no detecta cambios en las componentes verticales de la potencia máxima como en el caso de utilizar una plataforma de fuerza (Johnston et al., 2015; McLellan & Lovell, 2012). En segundo lugar, los hallazgos de esta investigación se enmarcan en un escenario muy concreto como es la pretemporada, y en un grupo acotado de deportistas de élite de fútbol sala. Por tanto, futuras investigaciones deberían analizar si las conclusiones aquí extraídas son extrapolables a otros grupos de deportistas, así como a otros momentos de la temporada. Finalmente, aunque los datos de rendimiento externo se obtuvieron durante las sesiones de entrenamiento a través de dispositivos de seguimiento electrónico, los datos de rendimiento del CMJ y la sentadilla trasera con carga no se correlacionaron con este tipo de variables. Este factor podría haber sido crucial para determinar de forma más objetiva y rigurosa si los datos obtenidos en el presente estudio se deben principalmente a la exigencia física del entrenamiento, o a una acumulación de fatiga a lo largo de la semana.

## CONCLUSIONES

Este es el primer estudio que examina la sensibilidad y la eficacia de la sentadilla trasera cargada y el CMJ para monitorear el NMS y evaluar el estado de fatiga de los jugadores profesionales de fútbol sala durante todo el período de pretemporada. Nuestros hallazgos sugieren que a pesar de que ambas pruebas (CMJ y sentadilla trasera con carga) presentan sensibilidades óptimas, la prueba de sentadilla trasera con carga (tanto MV como MPV) tiene una mayor sensibilidad para monitorear el NMS y el estado de fatiga en jugadores de fútbol sala de nivel élite. Estos resultados pueden deberse a la mayor capacidad de la sentadilla trasera con carga para reclutar grupos musculares fundamentales para la práctica del fútbol sala (cuádriceps y gastrocnemio) de forma más específica y aislada, así como a la mayor exigencia que impone la carga a vencer y la amplitud del movimiento. Los hallazgos de la presente investigación pueden ayudar a los entrenadores de fuerza y acondicionamiento a monitorear el NMS e identificar episodios de fatiga aguda y crónica en los atletas de una manera válida y confiable a través de un procedimiento no invasivo y excesivamente fatigante, a través de transductores de posición lineal fácilmente transportables, y más baratos que las plataformas de fuerza.



**PARTE VII.**  
**BIBLIOGRAFÍA**

- Al Haddad, H., Laursen, P. B., Chollet, D., Ahmaidi, S., & Buchheit, M. (2011). Reliability of resting and postexercise heart rate measures. *International Journal of Sports Medicine*, 32(8), 598-605. <https://doi.org/10.1055/s-0031-1275356>
- Alcazar, J., Rodriguez-Lopez, C., Ara, I., Alfaro-Acha, A., Mañas-Bote, A., Guadalupe-Grau, A., García-García, F. J., & Alegre, L. M. (2017). The Force-Velocity Relationship in Older People: Reliability and Validity of a Systematic Procedure. *International Journal of Sports Medicine*, 38(14), 1097-1104. <https://doi.org/10.1055/s-0043-119880>
- Allen, D. G., Lamb, G. D., & Westerblad, H. (2008). Skeletal muscle fatigue: Cellular mechanisms. *Physiological Reviews*, 88(1), 287-332. <https://doi.org/10.1152/physrev.00015.2007>
- Apple, F. S., Quist, H. E., Otto, A. P., Mathews, W. E., & Murakami, M. M. (2002). Release characteristics of cardiac biomarkers and ischemia-modified albumin as measured by the albumin cobalt-binding test after a marathon race. *Clinical Chemistry*, 48(7), 1097-1100.
- Ascensão, A., Magalhães, J., Oliveira, J., Duarte, J., & Soares, J. (2003). *Fisiologia da fadiga muscular. Delimitação conceptual, modelos de estudo e mecanismos de fadiga de origem central e periférica*. 16.
- Askow, A. T., Stone, J. D., Arndts, D. J., King, A. C., Goto, S., Hannon, J. P., Garrison, J. C., Bothwell, J. M., Esposito, P. E., Jagim, A. R., Jones, M. T., Jennings, W., & Oliver, J. M. (2018). Validity and Reliability of a Commercially-Available Velocity and Power Testing Device. *Sports (Basel, Switzerland)*, 6(4). <https://doi.org/10.3390/sports6040170>
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 26(4), 217-238. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826040-00002>
- Ato, M., López, J. J., & Benavente, A. (2013). Un sistema de clasificación de los diseños de investigación en psicología. *Anales de Psicología*, 29(3), 1038-1059. <https://doi.org/10.6018/analesps.29.3.178511>
- Balsalobre-Fernández, C., Kuzdub, M., Poveda-Ortiz, P., & Campo-Vecino, J. D. (2016). Validity and Reliability of the PUSH Wearable Device to Measure Movement Velocity During the Back Squat Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(7), 1968-1974. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001284>

- Bangsbo, J., Nørregaard, L., & Thorsø, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sport Sciences = Journal Canadien Des Sciences Du Sport*, *16*(2), 110-116.
- Banyard, H. G., Nosaka, K., & Haff, G. G. (2017). Reliability and Validity of the Load-Velocity Relationship to Predict the 1RM Back Squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(7), 1897-1904. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001657>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., Sato, K., & Haff, G. G. (2017). Validity of Various Methods for Determining Velocity, Force, and Power in the Back Squat. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(9), 1170-1176. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0627>
- Banyard, H. G., Nosaka, K., Vernon, A. D., & Haff, G. G. (2018). The Reliability of Individualized Load-Velocity Profiles. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(6), 763-769. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0610>
- Barcelos, R. P., Tocchetto, G. L., Lima, F. D., Stefanello, S. T., Rodrigues, H. F. M., Sangoi, M. B., Moresco, R. N., Royes, L. F. F., Soares, F. A. A., & Bresciani, G. (2017). Functional and biochemical adaptations of elite level futsal players from Brazil along a training season. *Medicina (Kaunas, Lithuania)*, *53*(4), 285-293. <https://doi.org/10.1016/j.medici.2017.08.001>
- Bastida-Castillo, A., Gómez-Carmona, C. D., De la Cruz-Sánchez, E., Reche-Royo, X., Ibáñez, S. J., & Pino Ortega, J. (2019). Accuracy and Inter-Unit Reliability of Ultra-Wide-Band Tracking System in Indoor Exercise. *Applied Sciences*, *9*(5), 939. <https://doi.org/10.3390/app9050939>
- Beato, M., Coratella, G., Schena, F., & Hulton, A. T. (2017). Evaluation of the external and internal workload in female futsal players. *Biology of Sport*, *34*(3), 227-231. <https://doi.org/10.5114/biolsport.2017.65998>
- Beck, T. W., Housh, T. J., Schmidt, R. J., Johnson, G. O., Housh, D. J., Coburn, J. W., & Malek, M. H. (2006). The acute effects of a caffeine-containing supplement on strength, muscular endurance, and anaerobic capabilities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *20*(3), 506-510. <https://doi.org/10.1519/18285.1>
- Beckerman, H., Roebroek, M. E., Lankhorst, G. J., Becher, J. G., Bezemer, P. D., & Verbeek, A. L. (2001). Smallest real difference, a link between reproducibility and responsiveness. *Quality of Life Research: An International Journal of Quality of Life Aspects of Treatment, Care and Rehabilitation*, *10*(7), 571-578. <https://doi.org/10.1023/a:1013138911638>

- Billat, V. L., Flechet, B., Petit, B., Muriaux, G., & Koralsztein, J. P. (1999). Interval training at VO<sub>2</sub>max: Effects on aerobic performance and overtraining markers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(1), 156-163. <https://doi.org/10.1097/00005768-199901000-00024>
- Borresen, J., & Lambert, M. I. (2009). The quantification of training load, the training response and the effect on performance. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 39(9), 779-795. <https://doi.org/10.2165/11317780-000000000-00000>
- Bosquet, L., Montpetit, J., Arvisais, D., & Mujika, I. (2007). Effects of tapering on performance: A meta-analysis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(8), 1358-1365. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31806010e0>
- Bowen, L., Gross, A. S., Gimpel, M., & Li, F.-X. (2017). Accumulated workloads and the acute:chronic workload ratio relate to injury risk in elite youth football players. *British Journal of Sports Medicine*, 51(5), 452-459. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095820>
- Bresciani, G., Cuevas, M. J., Garatachea, N., Molinero, O., Almar, M., Paz, J. A. D., Márquez, S., & González-Gallego, J. (2010). Monitoring biological and psychological measures throughout an entire season in male handball players. *European Journal of Sport Science*, 10(6), 377-384. <https://doi.org/10.1080/17461391003699070>
- Brooks, J. H. M., Fuller, C. W., Kemp, S. P. T., & Reddin, D. B. (2005). Epidemiology of injuries in English professional rugby union: Part 1 match injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 39(10), 757-766. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.018135>
- Brownlee, K. K., Moore, A. W., & Hackney, A. C. (2005). Relationship Between Circulating Cortisol and Testosterone: Influence of Physical Exercise. *Journal of Sports Science & Medicine*, 4(1), 76-83.
- Brownstein, C. G., Dent, J. P., Parker, P., Hicks, K. M., Howatson, G., Goodall, S., & Thomas, K. (2017). Etiology and Recovery of Neuromuscular Fatigue following Competitive Soccer Match-Play. *Frontiers in Physiology*, 8, 831. <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00831>
- Buchheit, M. (2014). Monitoring training status with HR measures: Do all roads lead to Rome? *Frontiers in Physiology*, 5, 73. <https://doi.org/10.3389/fphys.2014.00073>
- Buchheit, M. (2015). Sensitivity of monthly heart rate and psychometric measures for monitoring physical performance in highly trained young handball players. *International Journal of Sports Medicine*, 36(5), 351-356. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385882>

- Buchheit, M., Simpson, M. B., Al Haddad, H., Bourdon, P. C., & Mendez-Villanueva, A. (2012). Monitoring changes in physical performance with heart rate measures in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(2), 711-723. <https://doi.org/10.1007/s00421-011-2014-0>
- Cairó, J. R. B., & Barbany, J. R. (1990). *Fundamentos de fisiología del ejercicio y del entrenamiento*. Barcanova. <https://books.google.es/books?id=vKfkAAAACAAJ>
- Callaghan, D. E., Guy, J. H., Kean, C. O., Scanlan, A. T., Kertesz, A. H. M., & Elsworthy, N. (2021a). Back squat velocity to assess neuromuscular status of rugby league players following a match. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *24*(1), 36-40. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2020.06.006>
- Calleja-Gonzalez, J., Mielgo-Ayuso, J., Sanchez-Ureña, B., Ostojic, S. M., & Terrados, N. (2019). Recovery in volleyball. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *59*(6), 982-993. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08929-6>
- Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., & Manzi, V. (2013). Preseason variations in aerobic fitness and performance in elite-standard soccer players: A team study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *27*(11), 2959-2965. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828d61a8>
- Chen, M. J., Fan, X., & Moe, S. T. (2002). Criterion-related validity of the Borg ratings of perceived exertion scale in healthy individuals: A meta-analysis. *Journal of Sports Sciences*, *20*(11), 873-899. <https://doi.org/10.1080/026404102320761787>
- Chiu, L. Z. F., & Barnes, J. L. (2003). The Fitness-Fatigue Model Revisited: Implications for Planning Short- and Long-Term Training. *Strength & Conditioning Journal*, *25*(6), 42-51.
- Choe, K. H., Coburn, J. W., Costa, P. B., & Pamukoff, D. N. (2021). Hip and Knee Kinetics During a Back Squat and Deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *35*(5), 1364-1371. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002908>
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, *81*(11 Suppl), S52-69. <https://doi.org/10.1097/00002060-200211001-00007>
- Claudino, J. G., Cronin, J., Mezêncio, B., McMaster, D. T., McGuigan, M., Tricoli, V., Amadio, A. C., & Serrão, J. C. (2017). The countermovement jump to monitor neuromuscular status: A meta-

- analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 397-402.  
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.08.011>
- Clemente, F. M., Martinho, R., Calvete, F., & Mendes, B. (2019). Training load and well-being status variations of elite futsal players across a full season: Comparisons between normal and congested weeks. *Physiology & Behavior*, 201, 123-129. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.01.001>
- Clemente, F. M., Mendes, B., Bredt, S. da G. T., Praça, G. M., Silvério, A., Carriço, S., & Duarte, E. (2019). Perceived Training Load, Muscle Soreness, Stress, Fatigue, and Sleep Quality in Professional Basketball: A Full Season Study. *Journal of Human Kinetics*, 67, 199-207.  
<https://doi.org/10.2478/hukin-2019-0002>
- Clemente, F. M., Mendes, B., Palao, J. M., Silvério, A., Carriço, S., Calvete, F., & Nakamura, F. Y. (2019). Seasonal player wellness and its longitudinal association with internal training load: Study in elite volleyball. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(3), 345-351.  
<https://doi.org/10.23736/S0022-4707.18.08312-3>
- Clemente, F. M., Oliveira, H., Vaz, T., Carriço, S., Calvete, F., & Mendes, B. (2019). Variations of perceived load and well-being between normal and congested weeks in elite case study handball team. *Research in Sports Medicine (Print)*, 27(3), 412-423.  
<https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1530998>
- Clemente, F. M., Silva, A. F., Clark, C. C. T., Conte, D., Ribeiro, J., Mendes, B., & Lima, R. (2020). Analyzing the Seasonal Changes and Relationships in Training Load and Wellness in Elite Volleyball Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(5), 731-740.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.2019-0251>
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed). L. Erlbaum Associates.
- Conceição, F., Fernandes, J., Lewis, M., González-Badillo, J. J., & Jiméniz-Reyes, P. (2016). Movement velocity as a measure of exercise intensity in three lower limb exercises. *Journal of Sports Sciences*, 34(12), 1099-1106. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1090010>
- Córdova, A., Martin, J. F., Reyes, E., & Alvarez-Mon, M. (2004). Protection against muscle damage in competitive sports players: The effect of the immunomodulator AM3. *Journal of Sports Sciences*, 22(9), 827-833. <https://doi.org/10.1080/02640410410001716742>

- Cormack, S. J., Newton, R. U., McGuigan, M. R., & Doyle, T. L. A. (2008). Reliability of measures obtained during single and repeated countermovement jumps. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 3(2), 131-144. <https://doi.org/10.1123/ijsp.3.2.131>
- Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2007). Validation of power measurement techniques in dynamic lower body resistance exercises. *Journal of Applied Biomechanics*, 23(2), 103-118. <https://doi.org/10.1123/jab.23.2.103>
- Courel-Ibáñez, J., Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Escribano-Peñas, P., Chavarren-Cabrero, J., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Reproducibility and Repeatability of Five Different Technologies for Bar Velocity Measurement in Resistance Training. *Annals of Biomedical Engineering*, 47(7), 1523-1538. <https://doi.org/10.1007/s10439-019-02265-6>
- Coutts, A. J., & Reaburn, P. (2008). Monitoring changes in rugby league players' perceived stress and recovery during intensified training. *Perceptual and Motor Skills*, 106(3), 904-916. <https://doi.org/10.2466/pms.106.3.904-916>
- Coutts, A. J., Reaburn, P., Piva, T. J., & Rowsell, G. J. (2007). Monitoring for overreaching in rugby league players. *European Journal of Applied Physiology*, 99(3), 313-324. <https://doi.org/10.1007/s00421-006-0345-z>
- Coutts, A. J., Slattery, K. M., & Wallace, L. K. (2007). Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10(6), 372-381. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2007.02.007>
- Coutts, A., Reaburn, P., Piva, T. J., & Murphy, A. (2007). Changes in selected biochemical, muscular strength, power, and endurance measures during deliberate overreaching and tapering in rugby league players. *International Journal of Sports Medicine*, 28(2), 116-124. <https://doi.org/10.1055/s-2006-924145>
- Crewther, B. T., Kilduff, L. P., Cunningham, D. J., Cook, C., Owen, N., & Yang, G.-Z. (2011). Validating two systems for estimating force and power. *International Journal of Sports Medicine*, 32(4), 254-258. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1270487>
- Cronin, J. B., Hing, R. D., & McNair, P. J. (2004). Reliability and validity of a linear position transducer for measuring jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 590-593. [https://doi.org/10.1519/1533-4287\(2004\)18<590:RAVOAL>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1519/1533-4287(2004)18<590:RAVOAL>2.0.CO;2)

- Cunniffe, B., Hore, A. J., Whitcombe, D. M., Jones, K. P., Baker, J. S., & Davies, B. (2010). Time course of changes in immunoendocrine markers following an international rugby game. *European Journal of Applied Physiology*, *108*(1), 113-122. <https://doi.org/10.1007/s00421-009-1200-9>
- Cunniffe, B., Proctor, W., Baker, J. S., & Davies, B. (2009). An evaluation of the physiological demands of elite rugby union using Global Positioning System tracking software. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *23*(4), 1195-1203. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a3928b>
- Dal Pupo, J., Detanico, D., Ache-Dias, J., & Santos, S. G. D. (2017). The fatigue effect of a simulated futsal match protocol on sprint performance and kinematics of the lower limbs. *Journal of Sports Sciences*, *35*(1), 81-88. <https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1156727>
- de Alcaraz, A. G., Valadés, D., & Palao, J. M. (2017). Evolution of Game Demands From Young to Elite Players in Men's Volleyball. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(6), 788-795. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0027>
- Debien, P. B., Mancini, M., Coimbra, D. R., de Freitas, D. G. S., Miranda, R., & Bara Filho, M. G. (2018). Monitoring Training Load, Recovery, and Performance of Brazilian Professional Volleyball Players During a Season. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(9), 1182-1189. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0504>
- Doğramaci, S., Watsford, M., & Murphy, A. (2015). Changes in futsal activity profiles in a multiday tournament. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *55*(7-8), 722-729.
- Dorrell, H. F., Moore, J. M., Smith, M. F., & Gee, T. I. (2019). Validity and reliability of a linear positional transducer across commonly practised resistance training exercises. *Journal of Sports Sciences*, *37*(1), 67-73. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1482588>
- Drew, M. K., & Finch, C. F. (2016). The Relationship Between Training Load and Injury, Illness and Soreness: A Systematic and Literature Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *46*(6), 861-883. <https://doi.org/10.1007/s40279-015-0459-8>
- Duarte, T. S., Coimbra, D. R., Miranda, R., Toledo, H. C., Werneck, F. Z., Freitas, D. G. S. de, & Bara, M. G. (2019). MONITORING TRAINING LOAD AND RECOVERY IN VOLLEYBALL PLAYERS DURING A SEASON. *Revista Brasileira de Medicina Do Esporte*, *25*, 226-229. <https://doi.org/10.1590/1517-869220192503195048>
- Duffield, R., Murphy, A., Snape, A., Minett, G. M., & Skein, M. (2012). Post-match changes in neuromuscular function and the relationship to match demands in amateur rugby league matches.



*Journal of Science and Medicine in Sport*, 15(3), 238-243.

<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.10.003>

- Esco, M. R., & Flatt, A. A. (2014). Ultra-Short-Term Heart Rate Variability Indexes at Rest and Post-Exercise in Athletes: Evaluating the Agreement with Accepted Recommendations. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(3), 535-541.
- Farinha, J. B., Steckling, F. M., Stefanello, S. T., Cardoso, M. S., Nunes, L. S., Barcelos, R. P., Duarte, T., Kretzmann, N. A., Mota, C. B., Bresciani, G., Moresco, R. N., Duarte, M. M. M. F., Dos Santos, D. L., & Soares, F. A. A. (2015). Response of oxidative stress and inflammatory biomarkers to a 12-week aerobic exercise training in women with metabolic syndrome. *Sports Medicine - Open*, 1(1), 19. <https://doi.org/10.1186/s40798-015-0011-2>
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., & Buchner, A. (2007). G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175-191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146>
- Ferrioli, D., Bosio, A., Bilsborough, J. C., La Torre, A., Tornaghi, M., & Rampinini, E. (2018). The Preparation Period in Basketball: Training Load and Neuromuscular Adaptations. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(8), 991-999. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0434>
- Fernandes, J. F. T., Lamb, K. L., Clark, C. C. T., Moran, J., Drury, B., Garcia-Ramos, A., & Twist, C. (2018). Comparison of the FitroDyne and GymAware Rotary Encoders for Quantifying Peak and Mean Velocity During Traditional Multijointed Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002952>
- Ferreira, M., Camões, M., Lima, R. F., Silva, R., Castro, H. de O., Mendes, B., Bezerra, P., & Clemente, F. M. (2021). Variations of workload and well-being measures across a professional basketball season. *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, 23. <https://doi.org/10.1590/1980-0037.2021v23e75863>
- Ferro, A., Floría, P., Villaceros, J., & Muñoz-López, A. (2019). Maximum velocity during loaded countermovement jumps obtained with an accelerometer, linear encoder and force platform: A comparison of technologies. *Journal of Biomechanics*, 95, 109281. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2019.07.025>

- Filaire, E., Bernain, X., Sagnol, M., & Lac, G. (2001). Preliminary results on mood state, salivary testosterone:cortisol ratio and team performance in a professional soccer team. *European Journal of Applied Physiology*, 86(2), 179-184. <https://doi.org/10.1007/s004210100512>
- Filoux, E., Mamou, J., Aristizábal, O., & Ketterling, J. A. (2011). Characterization of the spatial resolution of different high-frequency imaging systems using a novel anechoic-sphere phantom. *IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control*, 58(5), 994-1005. <https://doi.org/10.1109/TUFFC.2011.1990>
- Finaud, J., Lac, G., & Filaire, E. (2006). Oxidative stress: Relationship with exercise and training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 36(4), 327-358. <https://doi.org/10.2165/00007256-200636040-00004>
- Foster, C. (1998). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(7), 1164-1168. <https://doi.org/10.1097/00005768-199807000-00023>
- Freitas, V. H., Nakamura, F. Y., Miloski, B., Samulski, D., & Bara-Filho, M. G. (2014). Sensitivity of physiological and psychological markers to training load intensification in volleyball players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(3), 571-579.
- Gabbett, T. J. (2016). The training-injury prevention paradox: Should athletes be training smarter and harder? *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 273-280. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095788>
- Gamble, P. (2006). Periodization of Training for Team Sports Athletes. *Strength & Conditioning Journal*, 28(5), 56-66.
- García-Ramos, A., Jaric, S., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Feriche, B. (2017). Reliability and magnitude of mechanical variables assessed from unconstrained and constrained loaded countermovement jumps. *Sports Biomechanics*, 16(4), 514-526. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1246598>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Gregory Haff, G. (2018). Mean Velocity vs. Mean Propulsive Velocity vs. Peak Velocity: Which Variable Determines Bench Press Relative Load With Higher Reliability? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1273-1279. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001998>
- García-Ramos, A., Pestaña-Melero, F. L., Pérez-Castilla, A., Rojas, F. J., & Haff, G. G. (2018). Differences in the Load-Velocity Profile Between 4 Bench-Press Variants. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(3), 326-331. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0158>

- García-Ramos, A., Stirn, I., Strojnik, V., Padial, P., De la Fuente, B., Argüelles-Cienfuegos, J., & Feriche, B. (2016). Comparison of the force-, velocity-, and power-time curves recorded with a force plate and a linear velocity transducer. *Sports Biomechanics*, *15*(3), 329-341. <https://doi.org/10.1080/14763141.2016.1161821>
- García-Ramos, A., Torrejón, A., Feriche, B., Morales-Artacho, A. J., Pérez-Castilla, A., Padial, P., & Haff, G. G. (2018). Prediction of the Maximum Number of Repetitions and Repetitions in Reserve From Barbell Velocity. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *13*(3), 353-359. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2017-0302>
- García-Santos, D., Pino-Ortega, J., García-Rubio, J., Vaquera, A., & Ibáñez, S. J. (2019). Internal and External Demands in Basketball Referees during the U-16 European Women's Championship. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(18), E3421. <https://doi.org/10.3390/ijerph16183421>
- Garnacho-Castaño, M. V., López-Lastra, S., & Maté-Muñoz, J. L. (2015). Reliability and validity assessment of a linear position transducer. *Journal of Sports Science & Medicine*, *14*(1), 128-136.
- Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *10*(1), 84-92. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0413>
- Gill, N. D., Beaven, C. M., & Cook, C. (2006). Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *British Journal of Sports Medicine*, *40*(3), 260-263. <https://doi.org/10.1136/bjism.2005.022483>
- Giroux, C., Rabita, G., Chollet, D., & Guilhem, G. (2015). What is the best method for assessing lower limb force-velocity relationship? *International Journal of Sports Medicine*, *36*(2), 143-149. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1385886>
- Glassbrook, D. J., Brown, S. R., Helms, E. R., Duncan, S., & Storey, A. G. (2019). The High-Bar and Low-Bar Back-Squats: A Biomechanical Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *33* Suppl 1, S1-S18. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001836>
- Gonzalez, A. M., Mangine, G. T., Spitz, R. W., Ghigiarelli, J. J., & Sell, K. M. (2019). Agreement between the Open Barbell and Tendo Linear Position Transducers for Monitoring Barbell Velocity during Resistance Exercise. *Sports*, *7*(5). <https://doi.org/10.3390/sports7050125>

- González-Badillo, J. J., Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J. L., Del Ojo-López, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2015). Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1329-1338. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000764>
- González-Badillo, J. J., & Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal of Sports Medicine*, 31(5), 347-352. <https://doi.org/10.1055/s-0030-1248333>
- Grgic, J., Scapec, B., Pedisic, Z., & Mikulic, P. (2020). Test-Retest Reliability of Velocity and Power in the Deadlift and Squat Exercises Assessed by the GymAware PowerTool System. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.561682>
- Hader, K., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Kilduff, L. P., Girard, O., & Silva, J. R. (2019). Monitoring the Athlete Match Response: Can External Load Variables Predict Post-match Acute and Residual Fatigue in Soccer? A Systematic Review with Meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 5(1), 48. <https://doi.org/10.1186/s40798-019-0219-7>
- Haff, G. G., & Nimphius, S. (2012). Training Principles for Power. *Strength & Conditioning Journal*, 34(6), 2-12. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31826db467>
- Hagstrom, A. D., & Shorter, K. A. (2018). Creatine kinase, neuromuscular fatigue, and the contact codes of football: A systematic review and meta-analysis of pre- and post-match differences. *European Journal of Sport Science*, 18(9), 1234-1244. <https://doi.org/10.1080/17461391.2018.1480661>
- Halson, S. L. (2014). Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, 44(Suppl 2), 139-147. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0253-z>
- Hansen, K. T., Cronin, J. B., & Newton, M. J. (2011a). The reliability of linear position transducer, force plate and combined measurement of explosive power-time variables during a loaded jump squat in elite athletes. *Sports Biomechanics*, 10(1), 46-58. <https://doi.org/10.1080/14763141.2010.547592>
- Hansen, K. T., Cronin, J. B., & Newton, M. J. (2011b). The reliability of linear position transducer and force plate measurement of explosive force-time variables during a loaded jump squat in elite athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(5), 1447-1456. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d85972>

- Harper, D. J., Carling, C., & Kiely, J. (2019). High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 49(12), 1923-1947. <https://doi.org/10.1007/s40279-019-01170-1>
- Harris, N. K., Cronin, J., Taylor, K.-L., Boris, J., & Sheppard, J. (2010). Understanding Position Transducer Technology for Strength and Conditioning Practitioners. *Strength & Conditioning Journal*, 32(4), 66-79. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181eb341b>
- Hartmann, U., & Mester, J. (2000). Training and overtraining markers in selected sport events. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(1), 209-215. <https://doi.org/10.1097/00005768-200001000-00031>
- Hewitt, J., Cronin, J., Button, C., & Hume, P. (2011). Understanding Deceleration in Sport. *Strength & Conditioning Journal*, 33(1), 47-52. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e3181fbd62c>
- Hoffman, J. R., Epstein, S., Yarom, Y., Zigel, L., & Einbinder, M. (1999). Hormonal and Biochemical Changes in Elite Basketball Players During a 4-Week Training Camp. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(3), 280-285.
- Hopkins, W. G. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 30(1), 1-15. <https://doi.org/10.2165/00007256-200030010-00001>
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 3-13. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31818cb278>
- Hori, N., Newton, R., Nosaka, K., & McGuigan, M. (2006). Comparison of Different Methods of Determining Power Output in Weightlifting Exercises. *Strength and Conditioning Journal*, 28(2), 34-40.
- Hori, N., Newton, R. U., Andrews, W. A., Kawamori, N., McGuigan, M. R., & Nosaka, K. (2007). Comparison of four different methods to measure power output during the hang power clean and the weighted jump squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 314-320. <https://doi.org/10.1519/R-22896.1>
- Horta, T. A. G., Bara Filho, M. G., Coimbra, D. R., Miranda, R., & Werneck, F. Z. (2019). Training Load, Physical Performance, Biochemical Markers, and Psychological Stress During a Short Preparatory

- Period in Brazilian Elite Male Volleyball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(12), 3392-3399. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002404>
- Hughes, L. J., Banyard, H. G., Dempsey, A. R., & Scott, B. R. (2019). Using a Load-Velocity Relationship to Predict One repetition maximum in Free-Weight Exercise: A Comparison of the Different Methods. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2409-2419. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002550>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A., & Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-based training load in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(6), 1042-1047. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000128199.23901.2f>
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., & Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583-592. <https://doi.org/10.1080/02640410400021278>
- Ispirlidis, I., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Michailidis, I., Douroudos, I., Margonis, K., Chatzinikolaou, A., Kalistratos, E., Katrabasas, I., Alexiou, V., & Taxildaris, K. (2008). Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 18(5), 423-431. <https://doi.org/10.1097/JSM.0b013e3181818e0b>
- Issurin, V. B. (2010). New horizons for the methodology and physiology of training periodization. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 40(3), 189-206. <https://doi.org/10.2165/11319770-000000000-00000>
- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J. J., Häkkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X., & Gorostiaga, E. M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 100(5), 1647-1656. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01400.2005>
- Jennings, C. L., Viljoen, W., Durandt, J., & Lambert, M. I. (2005). The reliability of the FitroDyne as a measure of muscle power. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 859-863. <https://doi.org/10.1519/R-15984.1>
- Jiménez-Alonso, A., García-Ramos, A., Cepero, M., Miras-Moreno, S., Rojas, F. J., & Pérez-Castilla, A. (2020). Effect of Augmented Feedback on Velocity Performance During Strength-Oriented and

- Power-Oriented Resistance Training Sessions. *Journal of Strength and Conditioning Research*.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003705>
- Johnston, R. D., Gabbett, T. J., Jenkins, D. G., & Hulin, B. T. (2015). Influence of physical qualities on post-match fatigue in rugby league players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *18*(2), 209-213. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.01.009>
- Keaney, L. C., Kilding, A. E., Merien, F., & Dulson, D. K. (2018). The impact of sport related stressors on immunity and illness risk in team-sport athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *21*(12), 1192-1199. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.05.014>
- Kellis, E., Arambatzi, F., & Papadopoulos, C. (2005). Effects of load on ground reaction force and lower limb kinematics during concentric squats. *Journal of Sports Sciences*, *23*(10), 1045-1055. <https://doi.org/10.1080/02640410400022094>
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *20 Suppl 2*, 95-102. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01192.x>
- Kelly, V. G., & Coutts, A. J. (2007). Planning and Monitoring Training Loads During the Competition Phase in Team Sports. *Strength & Conditioning Journal*, *29*(4), 32-37.
- Kenttä, G., & Hassmén, P. (1998). Overtraining and recovery. A conceptual model. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *26*(1), 1-16. <https://doi.org/10.2165/00007256-199826010-00001>
- Kim, S. Y., Park, J. E., Lee, Y. J., Seo, H.-J., Sheen, S.-S., Hahn, S., Jang, B.-H., & Son, H.-J. (2013). Testing a tool for assessing the risk of bias for nonrandomized studies showed moderate reliability and promising validity. *Journal of Clinical Epidemiology*, *66*(4), 408-414. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2012.09.016>
- Kiss, O., Sydó, N., Vargha, P., Vágó, H., Czibalmos, C., Édes, E., Zima, E., Apponyi, G., Merkely, G., Sydó, T., Becker, D., Allison, T. G., & Merkely, B. (2016). Detailed heart rate variability analysis in athletes. *Clinical Autonomic Research: Official Journal of the Clinical Autonomic Research Society*, *26*(4), 245-252. <https://doi.org/10.1007/s10286-016-0360-z>
- Koo, T. K., & Li, M. Y. (2016). A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of Chiropractic Medicine*, *15*(2), 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.jcm.2016.02.012>

- Kristiansen, M., Rasmussen, G. H. F., Sloth, M. E., & Voigt, M. (2019). Inter- and intra-individual variability in the kinematics of the back squat. *Human Movement Science*, *67*, 102510. <https://doi.org/10.1016/j.humov.2019.102510>
- Król, H., & Gołaś, A. (2017). Effect of Barbell Weight on the Structure of the Flat Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *31*(5), 1321-1337. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001816>
- Krzyszczkowski, J., & Kipp, K. (2020). Load-dependent mechanical demands of the lower extremity during the back and front squat. *Journal of Sports Sciences*, *38*(17), 2005-2012. <https://doi.org/10.1080/02640414.2020.1766738>
- Lahti, J., Hegyi, A., Vigotsky, A. D., & Ahtiainen, J. P. (2019). Effects of barbell back squat stance width on sagittal and frontal hip and knee kinetics. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, *29*(1), 44-54. <https://doi.org/10.1111/sms.13305>
- Lamm, M. E. (1997). Interaction of antigens and antibodies at mucosal surfaces. *Annual Review of Microbiology*, *51*, 311-340. <https://doi.org/10.1146/annurev.micro.51.1.311>
- Lamm, M. E., Nedrud, J. G., Kaetzel, C. S., & Mazanec, M. B. (1995). IgA and mucosal defense. *APMIS: Acta Pathologica, Microbiologica, et Immunologica Scandinavica*, *103*(4), 241-246. <https://doi.org/10.1111/j.1699-0463.1995.tb01101.x>
- Le Meur, Y., Hausswirth, C., & Mujika, I. (2012). Tapering for competition: A review. *Science & Sports*, *27*(2), 77-87. <https://doi.org/10.1016/j.scispo.2011.06.013>
- Le Meur, Y., Hausswirth, C., Natta, F., Couturier, A., Bignet, F., & Vidal, P. P. (2013). A multidisciplinary approach to overreaching detection in endurance trained athletes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, *114*(3), 411-420. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01254.2012>
- Le Meur, Y., Pichon, A., Schaal, K., Schmitt, L., Louis, J., Gueneron, J., Vidal, P. P., & Hausswirth, C. (2013). Evidence of parasympathetic hyperactivity in functionally overreached athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *45*(11), 2061-2071. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3182980125>
- Linthorne, N. P. (2001). Analysis of standing vertical jumps using a force platform. *American Journal of Physics*, *69*(11), 1198-1204. <https://doi.org/10.1119/1.1397460>



- Linthorne, N. P. (2021). The correlation between jump height and mechanical power in a countermovement jump is artificially inflated. *Sports Biomechanics*, 20(1), 3-21. <https://doi.org/10.1080/14763141.2020.1721737>
- Lippi, G., Schena, F., Montagnana, M., Salvagno, G. L., & Guidi, G. C. (2008). Influence of acute physical exercise on emerging muscular biomarkers. *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 46(9), 1313-1318. <https://doi.org/10.1515/CCLM.2008.250>
- Lorenzetti, S., Lamparter, T., & Lüthy, F. (2017). Validity and reliability of simple measurement device to assess the velocity of the barbell during squats. *BMC Research Notes*, 10(1), 707. <https://doi.org/10.1186/s13104-017-3012-z>
- Mackala, K., Stodółka, J., Siemiński, A., & Coh, M. (2013). Biomechanical analysis of squat jump and countermovement jump from varying starting positions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(10), 2650-2661. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828909ec>
- Mann, T. N., Lamberts, R. P., & Lambert, M. I. (2014). High Responders and Low Responders: Factors Associated with Individual Variation in Response to Standardized Training. *Sports Medicine*, 44(8), 1113-1124. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0197-3>
- Manzi, V., D'Ottavio, S., Impellizzeri, F. M., Chaouachi, A., Chamari, K., & Castagna, C. (2010). Profile of weekly training load in elite male professional basketball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1399-1406. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181d7552a>
- Margonis, K., Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Nikolaidis, M. G., Douroudos, I., Chatzinikolaou, A., Mitrakou, A., Mastorakos, G., Papassotiropoulos, I., Taxildaris, K., & Kouretas, D. (2007). Oxidative stress biomarkers responses to physical overtraining: Implications for diagnosis. *Free Radical Biology & Medicine*, 43(6), 901-910. <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2007.05.022>
- Marin, D. P., Bolin, A. P., Campoio, T. R., Guerra, B. A., & Otton, R. (2013). Oxidative stress and antioxidant status response of handball athletes: Implications for sport training monitoring. *International Immunopharmacology*, 17(2), 462-470. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2013.07.009>
- Martínez, A. C., Seco Calvo, J., Tur Marí, J. A., Abecia Inchaurregui, L. C., Orella, E. E., & Biescas, A. P. (2010). Testosterone and cortisol changes in professional basketball players through a season competition. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(4), 1102-1108. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181ce2423>

- Martinez-Amat, A., Boulaiz, H., Prados, J., Marchal, J., Padiá, P., Caba, O., Rodríguez-Serrano, F., & Aranega, A. (2005). Release of  $\alpha$ -actin into serum after skeletal muscle damage. *British Journal of Sports Medicine*, 39(11), 830-834. <https://doi.org/10.1136/bjism.2004.017566>
- Martínez-Cava, A., Hernández-Belmonte, A., Courel-Ibáñez, J., Morán-Navarro, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2020). Reliability of technologies to measure the barbell velocity: Implications for monitoring resistance training. *PLoS ONE*, 15(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232465>
- Martínez-Cava, A., Morán-Navarro, R., Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Velocity- and power-load relationships in the half, parallel and full back squat. *Journal of Sports Sciences*, 37(10), 1088-1096. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1544187>
- Martinovic, J., Dopsaj, V., Dopsaj, M. J., Kotur-Stevuljevic, J., Vujovic, A., Stefanovic, A., & Nestic, G. (2009). Long-term effects of oxidative stress in volleyball players. *International Journal of Sports Medicine*, 30(12), 851-856. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1238289>
- Martins, W. P., & Natri, C. O. (2014). Interpreting reproducibility results for ultrasound measurements. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology: The Official Journal of the International Society of Ultrasound in Obstetrics and Gynecology*, 43(4), 479-480. <https://doi.org/10.1002/uog.13320>
- Maso, F., Lac, G., Filaire, E., Michaux, O., & Robert, A. (2004). Salivary testosterone and cortisol in rugby players: Correlation with psychological overtraining items. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 260-263. <https://doi.org/10.1136/bjism.2002.000254>
- McGrath. (2018). *Velocity based training: Validity of monitoring devices to assess mean concentric velocity in a multi joint bench press exercise | UL - University of Limerick*. Recuperado 7 de marzo de 2021, de <https://www.ul.ie/research/velocity-based-training-validity-monitoring-devices-assess-mean-concentric-velocity-multi-joint>
- McLellan, C. P., & Lovell, D. I. (2012). Neuromuscular responses to impact and collision during elite rugby league match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(5), 1431-1440. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318231a627>
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2010). Creatine kinase and endocrine responses of elite players pre, during, and post rugby league match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 2908-2919. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181c1fcb1>

- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011a). Markers of postmatch fatigue in professional Rugby League players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(4), 1030-1039. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181cc22cc>
- McLellan, C. P., Lovell, D. I., & Gass, G. C. (2011b). Biochemical and endocrine responses to impact and collision during elite Rugby League match play. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(6), 1553-1562. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181db9bdd>
- McMaster, D. T., Gill, N., Cronin, J., & McGuigan, M. (2014). A brief review of strength and ballistic assessment methodologies in sport. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 44(5), 603-623. <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0145-2>
- Meeus, M., Nijs, J., Hermans, L., Goubert, D., & Calders, P. (2013). The role of mitochondrial dysfunctions due to oxidative and nitrosative stress in the chronic pain or chronic fatigue syndromes and fibromyalgia patients: Peripheral and central mechanisms as therapeutic targets? *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, 17(9), 1081-1089. <https://doi.org/10.1517/14728222.2013.818657>
- Meeusen, R., Duclos, M., Foster, C., Fry, A., Gleeson, M., Nieman, D., Raglin, J., Rietjens, G., Steinacker, J., Urhausen, A., European College of Sport Science, & American College of Sports Medicine. (2013). Prevention, diagnosis, and treatment of the overtraining syndrome: Joint consensus statement of the European College of Sport Science and the American College of Sports Medicine. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(1), 186-205. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318279a10a>
- Mendes, B., Palao, J. M., Silvério, A., Owen, A., Carriço, S., Calvete, F., & Clemente, F. M. (2018). Daily and weekly training load and wellness status in preparatory, regular and congested weeks: A season-long study in elite volleyball players. *Research in Sports Medicine (Print)*, 26(4), 462-473. <https://doi.org/10.1080/15438627.2018.1492393>
- Mesa, J. A. M. (2020). FATIGA. TIPOS Y CAUSAS. *Revista Cubana de Medicina del Deporte y la Cultura Física*, 8(3), Article 3. <http://www.revmedep.sld.cu/index.php/medep/article/view/233>
- Miguel, M., Oliveira, R., Loureiro, N., García-Rubio, J., & Ibáñez, S. J. (2021). Load Measures in Training/Match Monitoring in Soccer: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(5), 2721. <https://doi.org/10.3390/ijerph18052721>
- Milanez, V. F., Pedro, R. E., Moreira, A., Boullosa, D. A., Salle-Neto, F., & Nakamura, F. Y. (2011). The role of aerobic fitness on session rating of perceived exertion in futsal players. *International*

- Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(3), 358-366.  
<https://doi.org/10.1123/ijsp.6.3.358>
- Milanez, V. F., Ramos, S. P., Okuno, N. M., Boullosa, D. A., & Nakamura, F. Y. (2014). Evidence of a Non-Linear Dose-Response Relationship between Training Load and Stress Markers in Elite Female Futsal Players. *Journal of Sports Science & Medicine*, 13(1), 22-29.
- Miloski, B., de Freitas, V. H., Nakamura, F. Y., de A Nogueira, F. C., & Bara-Filho, M. G. (2016). Seasonal Training Load Distribution of Professional Futsal Players: Effects on Physical Fitness, Muscle Damage and Hormonal Status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1525-1533.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001270>
- Mitter, B., Hölbling, D., Bauer, P., Stöckl, M., Baca, A., & Tschan, H. (2019). Concurrent Validity of Field-Based Diagnostic Technology Monitoring Movement Velocity in Powerlifting Exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003143>
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(7), e1000097. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1000097>
- Moher, D., Shamseer, L., Clarke, M., Ghersi, D., Liberati, A., Petticrew, M., Shekelle, P., Stewart, L. A., & PRISMA-P Group. (2015). Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Systematic Reviews*, 4(1), 1. <https://doi.org/10.1186/2046-4053-4-1>
- Mora-Custodio, R., Rodríguez-Rosell, D., Yáñez-García, J. M., Sánchez-Moreno, M., Pareja-Blanco, F., & González-Badillo, J. J. (2018). Effect of different inter-repetition rest intervals across four load intensities on velocity loss and blood lactate concentration during full squat exercise. *Journal of Sports Sciences*, 36(24), 2856-2864. <https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1480052>
- Morais, E., Ferreira, A., Cunha, S. A., Barros, R. M. L., Rocha, A., & Goldenstein, S. (2014). A multiple camera methodology for automatic localization and tracking of futsal players. *Pattern Recognition Letters*, 39, 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2013.09.007>
- Morán-Navarro, R., Martínez-Cava, A., Sánchez-Medina, L., Mora-Rodríguez, R., González-Badillo, J. J., & Pallarés, J. G. (2019). Movement Velocity as a Measure of Level of Effort During Resistance Exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(6), 1496-1504.  
<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002017>

- Moreira, A., Arsati, F., de Oliveira Lima-Arsati, Y. B., de Freitas, C. G., & de Araújo, V. C. (2011). Salivary immunoglobulin A responses in professional top-level futsal players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1932-1936. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e7fbc0>
- Moreira, A., Freitas, C. G., Nakamura, F. Y., Drago, G., Drago, M., & Aoki, M. S. (2013). Effect of match importance on salivary cortisol and immunoglobulin A responses in elite young volleyball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(1), 202-207. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31825183d9>
- Moreno-Villanueva, A., Pino-Ortega, J., & Rico-González, M. (2021). Validity and reliability of linear position transducers and linear velocity transducers: A systematic review. *Sports Biomechanics*, 1-30. <https://doi.org/10.1080/14763141.2021.1988136>
- Moreno-Villanueva, A., Rico-González, M., & Pino-Ortega, J. (2022). Monitoring of internal and external loads to interpret acute and chronic fatigue in indoor team sports: A systematic review. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 17479541221096396. <https://doi.org/10.1177/17479541221096396>
- Mundy, P. D., Lake, J. P., Carden, P. J. C., Smith, N. A., & Lauder, M. A. (2016). Agreement between the force platform method and the combined method measurements of power output during the loaded countermovement jump. *Sports Biomechanics*, 15(1), 23-35. <https://doi.org/10.1080/14763141.2015.1123761>
- Muñoz-López, M., Marchante, D., Cano-Ruiz, M. A., Chicharro, J. L., & Balsalobre-Fernández, C. (2017). Load-, Force-, and Power-Velocity Relationships in the Prone Pull-Up Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(9), 1249-1255. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0657>
- Mylonas, C., & Kouretas, D. (1999). Lipid peroxidation and tissue damage. *In Vivo (Athens, Greece)*, 13(3), 295-309.
- Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Rabelo, F. N., Ramirez-Campillo, R., & Loturco, I. (2016). Faster Futsal Players Perceive Higher Training Loads and Present Greater Decreases in Sprinting Speed During the Preseason. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(6), 1553-1562. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001257>
- Naser, N., Ali, A., & Macadam, P. (2017). Physical and physiological demands of futsal. *Journal of Exercise Science and Fitness*, 15(2), 76-80. <https://doi.org/10.1016/j.jesf.2017.09.001>

- Neville, V., Gleeson, M., & Folland, J. P. (2008). Salivary IgA as a risk factor for upper respiratory infections in elite professional athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(7), 1228-1236. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31816be9c3>
- Nikolaidis, M. G., Jamurtas, A. Z., Paschalis, V., Kostaropoulos, I. A., Kladi-Skandali, A., Balamitsi, V., Koutedakis, Y., & Kouretas, D. (2006). Exercise-induced oxidative stress in G6PD-deficient individuals. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(8), 1443-1450. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000228938.24658.5f>
- Nikolaidis, M. G., Kyparos, A., Hadziioannou, M., Panou, N., Samaras, L., Jamurtas, A. Z., & Kouretas, D. (2007). Acute exercise markedly increases blood oxidative stress in boys and girls. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 32(2), 197-205. <https://doi.org/10.1139/h06-097>
- Nimmo, M. A., Ekblom, B., & International Association of Athletics Federations. (2007). Fatigue and illness in athletes. *Journal of Sports Sciences*, 25 Suppl 1, S93-102. <https://doi.org/10.1080/02640410701607379>
- Noakes, T. D. (2012). Fatigue is a Brain-Derived Emotion that Regulates the Exercise Behavior to Ensure the Protection of Whole Body Homeostasis. *Frontiers in Physiology*, 3, 82. <https://doi.org/10.3389/fphys.2012.00082>
- Orange, S. T., Metcalfe, J. W., Marshall, P., Vince, R. V., Madden, L. A., & Liefeyth, A. (2020). Test-Retest Reliability of a Commercial Linear Position Transducer (GymAware PowerTool) to Measure Velocity and Power in the Back Squat and Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(3), 728-737. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002715>
- O'Reilly, M., Caulfield, B., Ward, T., Johnston, W., & Doherty, C. (2018). Wearable Inertial Sensor Systems for Lower Limb Exercise Detection and Evaluation: A Systematic Review. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(5), 1221-1246. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0878-4>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- Pareja-Blanco, F., Rodríguez-Rosell, D., Sánchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yáñez-García, J. M., Morales-Alamo, D., Pérez-Suárez, I., Calbet, J. a. L., & González-Badillo, J. J. (2017). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(7), 724-735. <https://doi.org/10.1111/sms.12678>
- Paulauskas, H., Kreivyte, R., Scanlan, A. T., Moreira, A., Siupsinskas, L., & Conte, D. (2019). Monitoring Workload in Elite Female Basketball Players During the In-Season Phase: Weekly Fluctuations and Effect of Playing Time. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 14(7), 941-948. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2018-0741>
- Pereira, M. I. R., & Gomes, P. S. C. (2003). Movement velocity in resistance training. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 33(6), 427-438. <https://doi.org/10.2165/00007256-200333060-00004>
- Pérez-Castilla, A., Feriche, B., Jaric, S., Padial, P., & García-Ramos, A. (2017). Validity of a Linear Velocity Transducer for Testing Maximum Vertical Jumps. *Journal of Applied Biomechanics*, 33(5), 388-392. <https://doi.org/10.1123/jab.2016-0142>
- Pérez-Castilla, A., García-Ramos, A., Padial, P., Morales-Artacho, A. J., & Feriche, B. (2020). Load-Velocity Relationship in Variations of the Half-Squat Exercise: Influence of Execution Technique. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 34(4), 1024-1031. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002072>
- Pérez-Castilla, A., Jiménez-Alonso, A., Cepero, M., Miras-Moreno, S., Rojas, F. J., & García-Ramos, A. (2020). Velocity Performance Feedback During Ballistic Training: Which Is the Optimal Frequency of Feedback Administration? *Motor Control*, 25(1), 19-32. <https://doi.org/10.1123/mc.2020-0039>
- Pérez-Castilla, A., Piepoli, A., Delgado-García, G., Garrido-Blanca, G., & García-Ramos, A. (2019). Reliability and Concurrent Validity of Seven Commercially Available Devices for the Assessment of Movement Velocity at Different Intensities During the Bench Press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(5), 1258-1265. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003118>
- Petridis, L., Utczás, K., Tróznai, Z., Kalabiska, I., Pálinkás, G., & Szabó, T. (2019). Vertical Jump Performance in Hungarian Male Elite Junior Soccer Players. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 90(2), 251-257. <https://doi.org/10.1080/02701367.2019.1588934>

- Pialoux, V., Brugniaux, J. V., Rock, E., Mazur, A., Schmitt, L., Richalet, J.-P., Robach, P., Clottes, E., Coudert, J., Fellmann, N., & Mounier, R. (2010). Antioxidant status of elite athletes remains impaired 2 weeks after a simulated altitude training camp. *European Journal of Nutrition*, *49*(5), 285-292. <https://doi.org/10.1007/s00394-009-0085-z>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2012). Heart rate variability in elite triathletes, is variation in variability the key to effective training? A case comparison. *European Journal of Applied Physiology*, *112*(11), 3729-3741. <https://doi.org/10.1007/s00421-012-2354-4>
- Plews, D. J., Laursen, P. B., Stanley, J., Kilding, A. E., & Buchheit, M. (2013). Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: Opening the door to effective monitoring. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *43*(9), 773-781. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0071-8>
- Podlog, L., Buhler, C. F., Pollack, H., Hopkins, P. N., & Burgess, P. R. (2015). Time trends for injuries and illness, and their relation to performance in the National Basketball Association. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *18*(3), 278-282. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.05.005>
- Portier, H., Louisy, F., Laude, D., Berthelot, M., & Guézennec, C. Y. (2001). Intense endurance training on heart rate and blood pressure variability in runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *33*(7), 1120-1125. <https://doi.org/10.1097/00005768-200107000-00009>
- Pouregbali, S., Arede, J., Rehfeld, K., Schöllhorn, W., & Leite, N. (2020). Want to Impact Physical, Technical, and Tactical Performance during Basketball Small-Sided Games in Youth Athletes? Try Differential Learning Beforehand. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *17*(24), E9279. <https://doi.org/10.3390/ijerph17249279>
- Rabelo, F. N., Pasquarelli, B. N., Gonçalves, B., Matzenbacher, F., Campos, F. A. D., Sampaio, J., & Nakamura, F. Y. (2016). Monitoring the Intended and Perceived Training Load of a Professional Futsal Team Over 45 Weeks: A Case Study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(1), 134-140. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001090>
- Raglin, J. S., & Morgan, W. P. (1994). Development of a scale for use in monitoring training-induced distress in athletes. *International Journal of Sports Medicine*, *15*(2), 84-88. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021025>
- Rahmani, A., Viale, F., Dalleau, G., & Lacour, J. R. (2001). Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *European Journal of Applied Physiology*, *84*(3), 227-232. <https://doi.org/10.1007/PL00007956>



- Raysmith, B. P., & Drew, M. K. (2016). Performance success or failure is influenced by weeks lost to injury and illness in elite Australian track and field athletes: A 5-year prospective study. *Journal of Science and Medicine in Sport, 19*(10), 778-783. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.12.515>
- Rebelo, A. N., Ascensão, A. A., Magalhães, J. F., Bischoff, R., Bendiksen, M., & Krstrup, P. (2011). Elite futsal refereeing: Activity profile and physiological demands. *Journal of Strength and Conditioning Research, 25*(4), 980-987. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181a392ed>
- Reina Román, M., García-Rubio, J., Feu, S., & Ibáñez, S. J. (2018). Training and Competition Load Monitoring and Analysis of Women's Amateur Basketball by Playing Position: Approach Study. *Frontiers in Psychology, 9*, 2689. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02689>
- Ribeiro, J. N., Gonçalves, B., Coutinho, D., Brito, J., Sampaio, J., & Travassos, B. (2020). Activity Profile and Physical Performance of Match Play in Elite Futsal Players. *Frontiers in Psychology, 0*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01709>
- Rico-González, M., Clemente, F. M., Oliveira, R., Bustamante-Hernández, N., & Pino-Ortega, J. (2021). Part I: Relationship among Training Load Management, Salivary Immunoglobulin A, and Upper Respiratory Tract Infection in Team Sport: A Systematic Review. *Healthcare (Basel, Switzerland), 9*(4), 366. <https://doi.org/10.3390/healthcare9040366>
- Rico-González, M., Los Arcos, A., Nakamura, F. Y., Moura, F. A., & Pino-Ortega, J. (2020). The use of technology and sampling frequency to measure variables of tactical positioning in team sports: A systematic review. *Research in Sports Medicine (Print), 28*(2), 279-292. <https://doi.org/10.1080/15438627.2019.1660879>
- Rico-González, M., Los Arcos, A., Rojas-Valverde, D., Clemente, F. M., & Pino-Ortega, J. (2020). A Survey to Assess the Quality of the Data Obtained by Radio-Frequency Technologies and Microelectromechanical Systems to Measure External Workload and Collective Behavior Variables in Team Sports. *Sensors, 20*(8), 2271. <https://doi.org/10.3390/s20082271>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Clemente, F., & Arcos, A. L. (2021). Guidelines for performing systematic reviews in sports science. *Biology of Sport, 39*(2). <https://doi.org/10.5114/biolsport.2022.106386>
- Rico-González, M., Pino-Ortega, J., Clemente, F. M., & Bustamante-Hernández, N. (2021). Relationship between Training Load Management and Immunoglobulin A to Avoid Immunosuppression after

- Soccer Training and Competition: A Theoretical Framework Based on COVID-19 for Athletes' Healthcare. *Healthcare*, 9(7), 856. <https://doi.org/10.3390/healthcare9070856>
- Salazar, H., Svilar, L., Aldalur-Soto, A., & Castellano, J. (2020). Differences in Weekly Load Distribution Over Two Euroleague Seasons with a Different Head Coach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), 2812. <https://doi.org/10.3390/ijerph17082812>
- Sánchez-Medina, L., & González-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725-1734. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213f880>
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., Pérez, C. E., & Pallarés, J. G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. Bench press exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(3), 209-216. <https://doi.org/10.1055/s-0033-1351252>
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J. G., Pérez, C. E., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of Relative Load From Bar Velocity in the Full Back Squat Exercise. *Sports Medicine International Open*, 1(2), E80-E88. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102933>
- Sanchez-Medina, L., Perez, C. E., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Importance of the propulsive phase in strength assessment. *International Journal of Sports Medicine*, 31(2), 123-129. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1242815>
- Sato, K., Beckham, G. K., Carroll, K., Bazylar, C., Sha, Z., & G, G. H. (2015). Validity of wireless device measuring velocity of resistance exercises. *Journal of Trainology*, 4(1), 15-18. [https://doi.org/10.17338/trainology.4.1\\_15](https://doi.org/10.17338/trainology.4.1_15)
- Saw, A. E., Main, L. C., & Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: Subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 50(5), 281-291. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094758>
- Scanlan, A. T., Tucker, P. S., Dascombe, B. J., Berkelmans, D. M., Hiskens, M. I., & Dalbo, V. J. (2015). Fluctuations in Activity Demands Across Game Quarters in Professional and Semiprofessional Male Basketball. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(11), 3006-3015. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000967>
- Scharhag, J., George, K., Shave, R., Urhausen, A., & Kindermann, W. (2008). Exercise-associated increases in cardiac biomarkers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40(8), 1408-1415. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318172cf22>

- Schelling, X., Calleja, J., & Terrados, N. (2009). HORMONAL ANALYSIS IN ELITE BASKETBALL DURING A SEASON. *Revista de Psicología Del Deporte.*, 18, 6.
- Schippinger, G., Fankhauser, F., Abuja, P. M., Winklhofer-Roob, B. M., Nadlinger, K., Halwachs-Baumann, G., & Wonisch, W. (2009). Competitive and seasonal oxidative stress in elite alpine ski racers. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 19(2), 206-212. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00763.x>
- Schneider, B. S. P., & Tiidus, P. M. (2007). Neutrophil infiltration in exercise-injured skeletal muscle: How do we resolve the controversy? *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 37(10), 837-856. <https://doi.org/10.2165/00007256-200737100-00002>
- Serpiello, F. R., Hopkins, W. G., Barnes, S., Tavrou, J., Duthie, G. M., Aughey, R. J., & Ball, K. (2018). Validity of an ultra-wideband local positioning system to measure locomotion in indoor sports. *Journal of Sports Sciences*, 36(15), 1727-1733. <https://doi.org/10.1080/02640414.2017.1411867>
- Shetler, K., Marcus, R., Froelicher, V. F., Vora, S., Kalisetti, D., Prakash, M., Do, D., & Myers, J. (2001). Heart rate recovery: Validation and methodologic issues. *Journal of the American College of Cardiology*, 38(7), 1980-1987. [https://doi.org/10.1016/s0735-1097\(01\)01652-7](https://doi.org/10.1016/s0735-1097(01)01652-7)
- Silva, J. R., Ascensão, A., Marques, F., Seabra, A., Rebelo, A., & Magalhães, J. (2013). Neuromuscular function, hormonal and redox status and muscle damage of professional soccer players after a high-level competitive match. *European Journal of Applied Physiology*, 113(9), 2193-2201. <https://doi.org/10.1007/s00421-013-2633-8>
- Silva, J. R., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Castagna, C., Farooq, A., Girard, O., & Hader, K. (2018). Acute and Residual Soccer Match-Related Fatigue: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 48(3), 539-583. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0798-8>
- Slim, K., Nini, E., Forestier, D., Kwiatkowski, F., Panis, Y., & Chipponi, J. (2003). Methodological index for non-randomized studies (minors): Development and validation of a new instrument. *ANZ Journal of Surgery*, 73(9), 712-716. <https://doi.org/10.1046/j.1445-2197.2003.02748.x>
- Smart, D. J., Hopkins, W. G., & Gill, N. D. (2013). Differences and changes in the physical characteristics of professional and amateur rugby union players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(11), 3033-3044. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31828c26d3>

- Snyder, A. C., Jeukendrup, A. E., Hesselink, M. K., Kuipers, H., & Foster, C. (1993). A physiological/psychological indicator of over-reaching during intensive training. *International Journal of Sports Medicine*, *14*(1), 29-32. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1021141>
- Spanidis, Y., Goutzourelas, N., Stagos, D., Mpesios, A., Priftis, A., Bar-Or, D., Spandidos, D. A., Tsatsakis, A. M., Leon, G., & Kouretas, D. (2016). Variations in oxidative stress markers in elite basketball players at the beginning and end of a season. *Experimental and Therapeutic Medicine*, *11*(1), 147-153. <https://doi.org/10.3892/etm.2015.2843>
- Spyrou, K., Freitas, T. T., Marín-Cascales, E., & Alcaraz, P. E. (2020). Physical and Physiological Match-Play Demands and Player Characteristics in Futsal: A Systematic Review. *Frontiers in Psychology*, *11*, 569897. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.569897>
- Swinton, P. A., Lloyd, R., Keogh, J. W. L., Agouris, I., & Stewart, A. D. (2012). A biomechanical comparison of the traditional squat, powerlifting squat, and box squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *26*(7), 1805-1816. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182577067>
- Swinton, P. A., Stewart, A., Agouris, I., Keogh, J. W. L., & Lloyd, R. (2011). A biomechanical analysis of straight and hexagonal barbell deadlifts using submaximal loads. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *25*(7), 2000-2009. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181e73f87>
- Taylor, T., West, D. J., Howatson, G., Jones, C., Bracken, R. M., Love, T. D., Cook, C. J., Swift, E., Baker, J. S., & Kilduff, L. P. (2015). The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *18*(3), 328-332. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.04.004>
- Teixeira, J. E., Forte, P., Ferraz, R., Leal, M., Ribeiro, J., Silva, A. J., Barbosa, T. M., & Monteiro, A. M. (2021). Monitoring Accumulated Training and Match Load in Football: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *18*(8), 3906. <https://doi.org/10.3390/ijerph18083906>
- Thompson, S. W., Rogerson, D., Dorrell, H. F., Ruddock, A., & Barnes, A. (2020). The Reliability and Validity of Current Technologies for Measuring Barbell Velocity in the Free-Weight Back Squat and Power Clean. *Sports (Basel, Switzerland)*, *8*(7). <https://doi.org/10.3390/sports8070094>
- Thorpe, R. T., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2017). Monitoring Fatigue Status in Elite Team-Sport Athletes: Implications for Practice. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(Suppl 2), S227-S234. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0434>

- Thorpe, R. T., Strudwick, A. J., Buchheit, M., Atkinson, G., Drust, B., & Gregson, W. (2016). Tracking Morning Fatigue Status Across In-Season Training Weeks in Elite Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11(7), 947-952. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0490>
- Timoteo, T. F., Seixas, M. B., Fernanda, M., Faldi, A., Debieu, P. B., Miloski, B., & Filho, M. G. B. (2018). *Impact of Consecutive Games on Workload, State of Recovery and Well-Being of Professional Volleyball Players*. 11.
- Tsolakis, C., & Bogdanis, G. C. (2012). Acute effects of two different warm-up protocols on flexibility and lower limb explosive performance in male and female high level athletes. *Journal of Sports Science & Medicine*, 11(4), 669-675.
- Twist, C., & Highton, J. (2013). Monitoring fatigue and recovery in rugby league players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 8(5), 467-474. <https://doi.org/10.1123/ijsp.8.5.467>
- Twist, C., Waldron, M., Highton, J., Burt, D., & Daniels, M. (2012). Neuromuscular, biochemical and perceptual post-match fatigue in professional rugby league forwards and backs. *Journal of Sports Sciences*, 30(4), 359-367. <https://doi.org/10.1080/02640414.2011.640707>
- Underdown, B. J., & Schiff, J. M. (1986). Immunoglobulin A: Strategic defense initiative at the mucosal surface. *Annual Review of Immunology*, 4, 389-417. <https://doi.org/10.1146/annurev.iy.04.040186.002133>
- Vanrenterghem, J., Nedergaard, N. J., Robinson, M. A., & Drust, B. (2017). Training Load Monitoring in Team Sports: A Novel Framework Separating Physiological and Biomechanical Load-Adaptation Pathways. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 47(11), 2135-2142. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0714-2>
- Vernon, A., Joyce, C., & Banyard, H. G. (2020). Readiness to train: Return to baseline strength and velocity following strength or power training. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 15(2), 204-211. <https://doi.org/10.1177/1747954119900120>
- Vervoorn, C., Quist, A. M., Vermulst, L. J., Erich, W. B., de Vries, W. R., & Thijssen, J. H. (1991). The behaviour of the plasma free testosterone/cortisol ratio during a season of elite rowing training. *International Journal of Sports Medicine*, 12(3), 257-263. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024677>

- Veskoukis, A. S., Nikolaidis, M. G., Kyparos, A., Kokkinos, D., Nepka, C., Barbanis, S., & Kouretas, D. (2008). Effects of xanthine oxidase inhibition on oxidative stress and swimming performance in rats. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism = Physiologie Appliquee, Nutrition Et Metabolisme*, 33(6), 1140-1154. <https://doi.org/10.1139/H08-102>
- Vieira, L. H. P., Pagnoca, E. A., Milioni, F., Barbieri, R. A., Menezes, R. P., Alvarez, L., Déniz, L. G., Santana-Cedr s, D., & Santiago, P. R. P. (2017). Tracking futsal players with a wide-angle lens camera: Accuracy analysis of the radial distortion correction based on an improved Hough transform algorithm. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering: Imaging & Visualization*, 5(3), 221-231. <https://doi.org/10.1080/21681163.2015.1072055>
- Viru, A. M., Hackney, A. C., V lja, E., Karelson, K., Janson, T., & Viru, M. (2001). Influence of prolonged continuous exercise on hormone responses to subsequent exercise in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 85(6), 578-585. <https://doi.org/10.1007/s004210100498>
- Wadhi, T., Rauch, J. T., Tamulevicius, N., Andersen, J. C., & De Souza, E. O. (2018). Validity and Reliability of the GymAware Linear Position Transducer for Squat Jump and Counter-Movement Jump Height. *Sports*, 6(4), 177. <https://doi.org/10.3390/sports6040177>
- Walsh, M. S., Ford, K. R., Bangen, K. J., Myer, G. D., & Hewett, T. E. (2006). The validation of a portable force plate for measuring force-time data during jumping and landing tasks. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 730-734. <https://doi.org/10.1519/R-18225.1>
- Weakley, J. J. S., Wilson, K. M., Till, K., Read, D. B., Darrall-Jones, J., Roe, G. A. B., Phibbs, P. J., & Jones, B. (2019). Visual Feedback Attenuates Mean Concentric Barbell Velocity Loss and Improves Motivation, Competitiveness, and Perceived Workload in Male Adolescent Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2420-2425. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002133>
- Weakley, J., Morrison, M., Garc a-Ramos, A., Johnston, R., James, L., & Cole, M. H. (2021). The Validity and Reliability of Commercially Available Resistance Training Monitoring Devices: A Systematic Review. *Sports Medicine*, 51(3), 443-502. <https://doi.org/10.1007/s40279-020-01382-w>
- West, D. J., Finn, C. V., Cunningham, D. J., Shearer, D. A., Jones, M. R., Harrington, B. J., Crewther, B. T., Cook, C. J., & Kilduff, L. P. (2014). Neuromuscular function, hormonal, and mood responses to a professional rugby union match. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 194-200. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318291b726>

- Wik, E. H., Luteberget, L. S., & Spencer, M. (2017). Activity Profiles in International Women's Team Handball Using PlayerLoad. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *12*(7), 934-942. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0732>
- Williams, S., Trewartha, G., Kemp, S., & Stokes, K. (2013). A meta-analysis of injuries in senior men's professional Rugby Union. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, *43*(10), 1043-1055. <https://doi.org/10.1007/s40279-013-0078-1>

## **PARTE VIII.**

# **CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS**



## CONCLUSIONES Y APLICACIONES PRÁCTICAS

Una vez analizados los diferentes estudios, se enumeran a continuación de forma esquemática las principales conclusiones y aplicaciones prácticas de esta Tesis

Doctoral:

- i. El final de los periodos preparatorios y la segunda fase de los periodos competitivos, caracterizados por altas concentraciones de cargas de trabajo en un pequeño espacio de tiempo, con escaso margen de recuperación entre sesiones y/o partidos, parecen ser los momentos más fatigantes de la temporada. Estas conclusiones quedan justificadas por la detección de altos niveles de RPE, CK, LDH y marcadores de estrés oxidativo, así como disminuciones en la ratio T/C.
- ii. Más concretamente, las semanas congestionadas, caracterizadas por el desarrollo de dos o más competiciones semanales, promueven el desarrollo de altos niveles de fatiga aguda y subaguda, como así lo indican el descubrimiento de altos niveles de DOMS y fatiga junto con bajos niveles de RPE.
- iii. La complejidad y casuística que rodea el fenómeno de la fatiga implica que se tengan que analizar variables de las diferentes dimensiones que la conforman (física, psicológica y fisiológica), de forma integradora y regular para identificar estados de fatiga con la mayor precisión y rigurosidad posible.
- iv. Los LPT pueden ser dispositivos válidos y fiables para la evaluación de la velocidad de movimiento durante ejercicios no pliométricos, independientemente del rango de carga. Sin embargo, estos dispositivos pierden cierta validez y fiabilidad en protocolos sin pausa previa al régimen de contracción concéntrica,

con mayores errores de medida cuanto mayor sea la frecuencia de muestreo. Además, la confiabilidad de los LPT fue sensible a la realización de ejercicios en múltiples planos (peso libre).

- v. Los principales errores de origen tecnológico se derivan de (i) la frecuencia de muestreo, (ii) la capacidad de detectar el inicio real de la fase concéntrica del movimiento y (iii) los procedimientos de cálculo de la velocidad y las variables resultantes (es decir, potencia y aceleración) por derivación. Entre los principales factores de origen biológico se encuentran (i) la ejecución de ejercicios sin fase isométrica de transición hacia la fase concéntrica (ii) la realización de ejercicios en múltiples planos (peso libre), (iii) el carácter pliométrico o no pliométrico de ejercicio y (iv) ejercicios realizados con intensidades de carga muy bajas (<30% de 1RM).
- vi. El encoder ADR, de reciente aparición en el mercado Deportivo, es un dispositivo LPT que proporciona resultados fiables para la evaluación y seguimiento de MPV en la fase concéntrica, para ejercicios de press de banca realizados en la máquina Smith en todo el espectro de carga. No obstante, es importante tener en cuenta que el encoder ADR subestimó considerablemente y sistemáticamente todos los resultados de MPV en comparación con T-Force (considerado el dispositivo estandar de oro), por lo que estos dispositivos no son intercambiables entre sí.
- vii. La monitorización del NMS a través de la sentadilla trasera aporta mayor sensibilidad y objetividad a los resultados obtenidos que los correspondientes al CMJ, debido a una extrapolación neuromuscular más directa a las exigencias físicas del fútbol sala.

## APLICACIONES PRÁCTICAS

- i. La identificación de los períodos de la temporada que son más propensos a generar fatiga en modalidades colectivas de interior pueden ser útiles para tomar las pautas de periodización de cargas de entrenamiento y competición apropiadas para acción, que permitan reducir el número de lesiones y sobrecargas no funcionales sin perjuicio de la pérdida de aptitud física.
- ii. Atendiendo al conocimiento expuesto sobre los niveles de validez y fiabilidad de los transductores lineares ante diferentes protocolos de ejecución, parece que el ejercicio ideal para minimizar limitaciones biológicas y tecnológicas derivadas de dichos dispositivos serían ejercicios no pliométricos, realizados en el plano 2D, con pausa isométrica previa al inicio de la fase concéntrica del movimiento.
- iii. En lo respectivo al encoder ADR, pese a que demostró unos niveles de validez y fiabilidad adecuados a la exigencia expuesta en nuestro estudio, se debe tener en cuenta la subestimación de los valores de velocidad cuando se compara con un dispositivo estándar de oro, por lo que este dispositivo no es intercambiable con T-Force.
- iv. Finalmente, la mayor sensibilidad demostrada por el test de sentadilla trasera con carga (tanto MV como MPV) frente al test de salto en contramovimiento para monitorizar el NMS y el estado de fatiga en futbolistas puede ayudar a los entrenadores de fuerza y acondicionamiento a identificar episodios de fatiga aguda y crónica en atletas de una manera válida y confiable a través de

un procedimiento no invasivo ni excesivamente fatigante mediante transductores lineares.

## **PARTE IX.**

# **FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Una vez extraídas las conclusiones de los estudios desarrollados, y con el afán de seguir progresando en este campo de conocimiento a través del coconimiento científico, a continuación se exponen posibles vías de investigación:

- i) Futuras investigaciones deberían abordar la identificación de episodios de fatiga en deportes colectivos de interior integrando variables de distinta naturaleza (principalmente físicas, psicológicas y fisiológicas) al análisis, con el fin de extraer conclusiones que den una respuesta sólida y rigurosa al complejo adaptativo de los atletas.
- ii) Desde el punto de vista de la periodización de las cargas de entrenamiento y/o competición, se deberá analizar cómo unas determinadas cargas de trabajo influyen sobre los índices de fatiga a corto (inter o intra diario), medio (inter o intra semanal) y largo plazo (pretemporada, periodos preparatorios y periodos competitivos).
- iii) En lo respectivo a los transductores lineares, futuras investigaciones deberán investigar la frecuencia óptima de dichos dispositivos, teniendo en cuenta las características del protocolo de evaluación (naturaleza pliométrica o no del ejercicio, planos de ejecución, cargas a vencer, así como ausencia o no de pausa isométrica previa al inicio de la fase concéntrica del movimiento).
- iv) Concretamente en el dispositivo encoder ADR, se deben establecer rangos de carga más sensibles a los establecidos en nuestro estudio para corroborar la

alta confiabilidad demostrada por el encoder ADR durante la presente investigación.

- v) Respecto al artículo del test de salto en contramovimiento y sentadilla trasera con carga, futuras investigaciones deberían analizar si las conclusiones aquí extraídas son extrapolables a otros grupos de deportistas, así como a otros momentos de la temporada, ya que tanto las demandas físicas como la periodización de cargas de trabajo varían considerablemente entre unos deportes de interior y otros.