

Efectos del estrés de viaje transmeridiano sobre el rendimiento neuromuscular en jugadores de fireball

Effects of transmeridian travel stress on neuromuscular performance in fireball players

Pedro Jaime Gotoo-Vázquez¹, Felipe Aja², Teresa Berenice Martinez-Leyva³,
Salvador Dirceu Cruz-Flores⁵, Alexa Martinez-García⁴, Marco Antonio
Ramos-Basterra⁶, Carlos Manuel Chacón-Rodríguez⁷, Felipe Villegaz⁸, Kimberly
Vania Rosas-Santillán⁹, Martha Olivia Figueroa-Jimenez^{10,11}, Pablo Tadeo
Ríos-Gallardo¹²

¹LEFDyR, Internacional FXC Organization Inc, USA. 0009-0000-7282-7275 ,
pjgotoo@gmail.com

²LEFDyR, Internacional FXC Organization Inc, USA. felipe.aja.12.16@gmail.com

³LEFDyR, Internacional FXC Organization Inc, USA. berenice.martinez45@hotmail.com

⁴LEFDyR, Internacional FXC Organization Inc, USA. amg.respaldo²⁴@gmail.com

⁵MEBC, Departamento de Formación Integral, Universidad Cristóbal Colón, México.
0009-0007-4595-0965 , dirceu@ucc.mx

⁶LEFDyR, Departamento de Formación Integral, Universidad Cristóbal Colón, México.
0009-0006-6707-1569 , marcoramos.rb@gmail.com

⁷Dr, Facultad de Nutrición, Departamento Educación Física, Deporte y Recreación,
Campus Xalapa, Universidad Veracruzana, México. 0000-0001-8782-5504 ,
cchacon@uv.mx

⁸MRD-FA, Instituto Universitario Veracruzano, México. 0009-0002-4948-9946 ,
felipe.villegas@iuv.edu.mx

⁹LED, Escuela Nacional de Entrenadores Deportivos, México. rosas.kim@hotmail.com

¹⁰LAD, Faculdade de Motricidade Humana da Universidade de Lisboa, Portugal.
marthafigueroaj@outlook.com

¹¹LAD, GOALS Master Student-UFR3S-Sport Department, University of Lille, Francia.
marthafigueroaj@outlook.com

¹²Dr, Facultad de Organización Deportiva, Universidad Autónoma de Nuevo León,
México. 0000-0002-3240-1277 , pablo.riosg@uanl.edu.mx

RESUMEN

Objetivo: Analizar las variaciones estacionales en el rendimiento neuromuscular y la composición corporal de la selección nacional de Fireball Extreme Challenge ante el estrés de un viaje internacional. **Métodos:** Se evaluó a 11 atletas mediante un diseño longitudinal, comparando un campamento de preparación de verano a nivel del mar (México) frente a una competencia invernal (Italia). Se midió la fuerza explosiva, fuerza isométrica de prensión manual y variables morfológicas. **Resultados:** La fuerza explosiva del tren inferior mostró un descenso de magnitud moderada y relevancia práctica ($d = -0.48$; IC 95% aprox. -0.99 a 0.05). En contraste, la fuerza isométrica máxima del tren superior se mantuvo

estable ($d = -0.13$ a -0.22). La masa corporal total no presentó alteraciones significativas. **Conclusiones:** Las respuestas neuromusculares ante el estrés del viaje transmeridiano, los contrastes ambientales y la carga competitiva son disociadas. Resulta imperativo diseñar estrategias asimétricas de recuperación para proteger el tren inferior durante competencias internacionales.

Palabras clave: rendimiento deportivo, fatiga, fuerza muscular, biomecánica, viajes internacionales.

ABSTRACT

Objective: To analyze seasonal variations in neuromuscular performance and body composition of the Fireball Extreme Challenge national team

facing the stress of international travel. Methods: Eleven athletes were evaluated using a longitudinal design, comparing a summer training camp at sea level (Mexico) with a winter competition (Italy). Explosive strength, isometric handgrip strength, and morphological variables were measured. Results: Lower-limb explosive strength showed a decrease of moderate magnitude and practical relevance ($d = -0.48$ IC95% aprox. -0.99 to 0.05). In contrast, maximum upper-limb isometric strength remained

stable ($d = -0.13$ to -0.22). Total body mass showed no significant alterations. Conclusions: Neuromuscular responses to the combined stress of transmeridian travel, environmental contrasts, and competitive load are dissociated. It is imperative to design asymmetrical recovery strategies to protect the lower limbs during international competitions.

Keywords: sports performance, fatigue, muscle strength, biomechanics, international travel.

Citar como: Gotoo-Vázquez, P. J., Aja, F., Martínez-Leyva, T. B., Cruz-Flores, S. D., Martínez-García, A., Ramos-Basterra, M. A., Chacón-Rodríguez, C. M., Villegaz, F., Rosas-Santillán, K. V., Figueroa-Jimenez, M. O., & Ríos-Gallardo, P. T. (2026). Efectos del estrés de viaje transmeridiano sobre el rendimiento neuromuscular en jugadores de fireball. CDEFIS Revista Científica, 4(7).

Recibido: 11 de marzo de 2026 / Aceptado: 24 de marzo de 2026 / Publicado: 04 de junio de 2026.



INTRODUCCIÓN

El Fireball Extreme Challenge™ se configura como un deporte coeducacional de alta intensidad intermitente, caracterizado por acciones explosivas repetidas, cambios de dirección multidireccionales, esfuerzos isométricos de estabilización y una interacción constante entre potencia neuromuscular y tolerancia metabólica. Un estudio reciente han demostrado que el rendimiento en esta disciplina se estructura principalmente en dos dominios interdependientes: la potencia neuromuscular y la capacidad metabólica, los cuales explican una proporción sustancial de la varianza del desempeño competitivo en atletas de selección nacional (Ríos-Gallardo *et al.*, 2026).

Desde la perspectiva de la teoría del entrenamiento, la temporada deportiva representa un sistema dinámico de cargas acumulativas, procesos adaptativos y fluctuaciones funcionales. La periodización contemporánea reconoce que las adaptaciones neuromusculares no son lineales, sino dependientes del volumen, la intensidad, la densidad competitiva y las condiciones ambientales (Issurin, 2008; Mujika & Padilla, 2003). En este contexto, los cambios estacionales representan un estresor adicional que pueden modular la expresión del rendimiento, particularmente cuando se combinan con desplazamientos transmeridianos y competencias internacionales.

La transición desde un entorno de preparación caracterizado por estrés térmico por calor y alta humedad (como el predominante en la costa de Veracruz durante el verano) hacia un escenario competitivo en condiciones invernales europeas implica no solo un contraste térmico significativo, sino también la exposición a fatiga por viaje (*jet lag*), desincronización circadiana y alteraciones en la calidad del sueño. La literatura en cronobiología del deporte ha documentado que los viajes a través de múltiples husos horarios pueden afectar el rendimiento físico, la percepción subjetiva de fatiga y la función neuromuscular durante varios días posteriores al traslado (Botonis *et al.*, 2025; Reilly *et al.*, 1997). Asimismo, la exposición a bajas temperaturas puede modificar la rigidez musculotendinosa, la velocidad de conducción nerviosa y la eficiencia del ciclo estiramiento-acortamiento (Bergh & Ekblom, 1979; Racinais & Oksa, 2010), factores determinantes en acciones explosivas repetidas.

El monitoreo sistemático del estado neuromuscular mediante pruebas estandarizadas de campo ha demostrado ser una herramienta sensible para detectar adaptaciones agudas y crónicas bajo condiciones de carga elevada. El salto con contramovimiento (CMJ) se ha consolidado como un marcador válido y confiable de la función del ciclo estiramiento-acortamiento y de la disponibilidad neuromuscular global, siendo particularmente sensible a la fatiga residual y a la acumulación de carga competitiva (Claudino *et al.*, 2017; R. Gathercole *et al.*, 2015; R. J. Gathercole *et al.*, 2015). Su aplicabilidad práctica y bajo costo lo han convertido en una herramienta central dentro del monitoreo longitudinal en deportes de alto rendimiento.

De manera complementaria, la dinamometría manual constituye una medida fiable de la fuerza isométrica máxima, con elevada reproducibilidad y utilidad clínica y deportiva (Roberts *et al.*, 2011). En disciplinas donde el control técnico del implemento y la estabilización manual son críticos, la fuerza de prensión puede actuar como indicador indirecto de la integridad funcional del sistema neuromuscular bajo fatiga central y periférica.

Por otra parte, la composición corporal no debe considerarse únicamente como un descriptor morfológico, sino como un modulador funcional del rendimiento. La masa libre de grasa se asocia positivamente con la producción de potencia, mientras que alteraciones en la hidratación y la masa grasa pueden influir en la eficiencia metabólica y la capacidad de disipación térmica (Ackland *et al.*, 2012; Campa *et al.*, 2021). En deportes emergentes donde los perfiles antropométricos aún no están normativizados, el seguimiento longitudinal durante giras internacionales adquiere especial relevancia, aunque frecuentemente se ve condicionado por limitaciones logísticas inherentes al trabajo en campo.

A pesar del avance reciente en la caracterización multidimensional de atletas de Fireball (Ríos-Gallardo *et al.*, 2026), persiste una brecha en la literatura respecto a cómo estas variables interactúan ante cambios drásticos de entorno, particularmente en jugadores expuestos simultáneamente a variaciones logísticas, climáticas y competitivas marcadas. La comprensión de estas interacciones no solo aporta conocimiento fisiológico, sino que también tiene implicaciones directas en la planificación del tapering, la gestión del viaje internacional y la protección del sistema neuromuscular en contextos de alto rendimiento.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue comparar las variaciones en los niveles de fuerza explosiva (CMJ), fuerza isométrica de prensión manual y composición corporal en integrantes de la selección nacional de Fireball Extreme Challenge™ en dos contextos contrastantes: un campamento de preparación en verano y una competencia internacional en invierno. Se hipotetizó que el estrés combinado del viaje transmeridiano, el cambio climático y la carga competitiva induciría un detrimento en la potencia explosiva del tren inferior (CMJ), mientras que la fuerza isométrica de presión manual del tren superior mostraría mayor resiliencia ante los mismos estresores (Claudino *et al.*, 2017; Cronin *et al.*, 2017).

MÉTODOS

Diseño de investigación y participantes

Se empleó un diseño cuasi-experimental de corte longitudinal para evaluar a la selección nacional mexicana de Fireball Extreme Challenge™. El proceso de evaluación abarcó dos momentos correspondientes a las fases del ciclo competitivo: un campamento preparatorio de verano (T1) y una competencia internacional en invierno (T2). Inicialmente, la preselección en T1 estuvo conformada por 21 atletas (13 hombres y 8 mujeres). Sin embargo, tras los filtros de rendimiento, el grupo final que viajó a la sede internacional se redujo. Adicionalmente, una atleta se integró como refuerzo directo en T2, por lo que fue excluida del análisis estadístico para evitar sesgos en las comparaciones pareadas.

La muestra longitudinal final analizada constó de 11 atletas (6 hombres, 5 mujeres; edad: 26.7 ± 4.7 años) que completaron íntegramente ambas evaluaciones. El estudio se desarrolló bajo los lineamientos de la Declaración de Helsinki para la investigación en seres humanos y todos los participantes otorgaron su consentimiento informado por escrito.

Dadas las restricciones inherentes al trabajo con una selección nacional intacta ($n=11$), no fue posible realizar un reclutamiento dirigido por análisis de poder a priori. El tamaño muestral representa una limitación estructural del diseño y restringe el poder estadístico para detectar efectos moderados (aprox. 0.40 para $d=0.5$, $\alpha=.05$, bilateral), incrementando la probabilidad de error tipo II. Los resultados deben interpretarse en función del tamaño del efecto y no exclusivamente del valor p (Cohen, 2013).

Procedimientos y control de viaje transmeridiano

Las evaluaciones en T1 se llevaron a cabo en el Puerto de Veracruz, México, bajo condiciones de estrés térmico por calor a nivel del mar (10 ms.n.m). Las mediciones de T2 se realizaron en Lignano Sabbiadoro, Italia, durante la etapa de invierno. El traslado a la sede europea implicó un trayecto terrestre de 8 horas (Veracruz a Ciudad de México), seguido de un vuelo transatlántico de 11 horas a Roma, y un traslado final de 45 minutos hacia Lignano, Sabaddioro, Italia (0-2 ms.n.m).

Para mitigar los efectos del síndrome de cambio de zona horaria (*jet lag*) y la fatiga aguda por viaje, las pruebas físicas en T2 se realizaron exactamente 24 horas después del arribo, garantizando un mínimo de 8 horas efectivas de sueño reparador. En ambos momentos temporales (T1 y T2), las evaluaciones se programaron a las 16:00 horas (tiempo local). Esta estrategia cronobiológica se implementó para igualar la ventana temporal de esfuerzo, controlar las variaciones diurnas del rendimiento y minimizar el impacto del desplazamiento transmeridiano sobre los ritmos circadianos de los atletas. El mismo evaluador realizó todas las mediciones en T1 y T2, y los instrumentos primarios de rendimiento neuromuscular viajaron con la delegación para garantizar la equivalencia instrumental.

Tal como se ha descrito en protocolos previos del equipo (Ríos-Gallardo et al., 2026), todas las valoraciones de rendimiento y antropometría se realizaron en instalaciones deportivas techadas. En T1, las pruebas se distribuyeron en dos sesiones separadas por 48 a 72 horas para asegurar la recuperación y disipar la fatiga residual, registrándose la temperatura ambiente y la humedad relativa al inicio y final de cada sesión mediante un termohigrómetro digital (Extech Instruments, Nashua, NH, USA) (Figura 1).

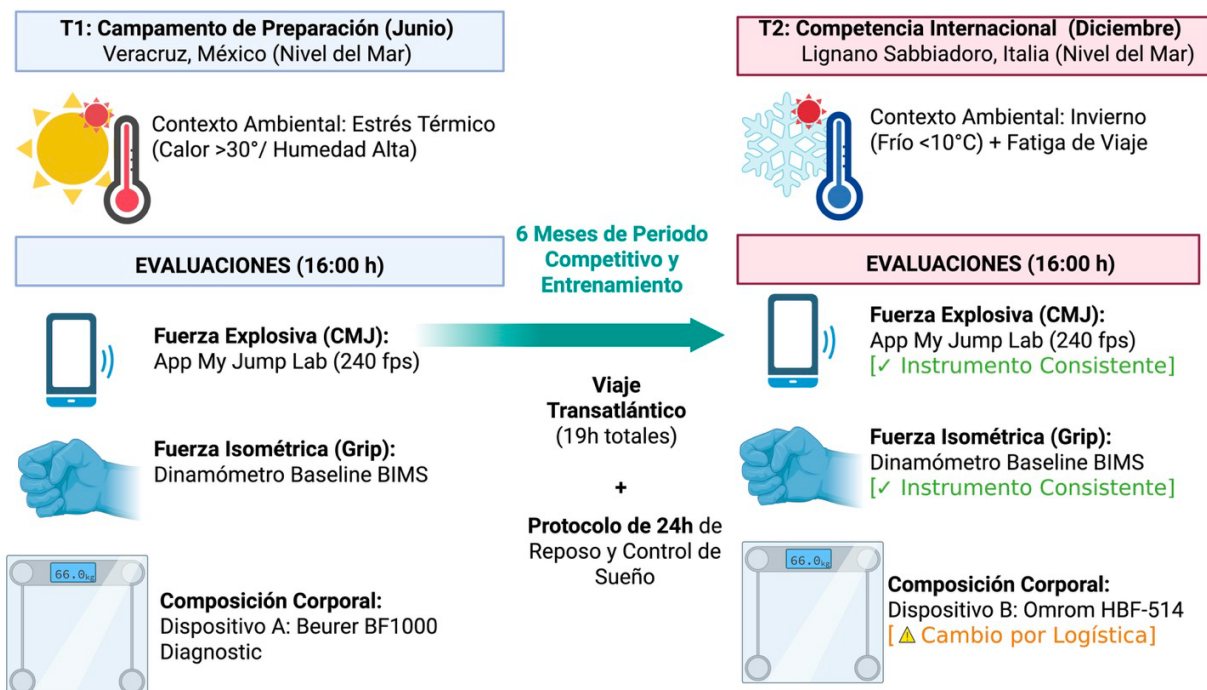
Instrumentos de medición

Para garantizar la fiabilidad de las variables de rendimiento neuromuscular, los instrumentos primarios viajaron con la delegación y fueron idénticos en ambos momentos:

- **Fuerza isométrica de prensión manual:** Se evaluó mediante un dinamómetro digital Baseline BIMS Digital Grip Dynamometer (Fabrication Enterprises, White Plains, NY, USA), registrando los valores de la extremidad superior derecha e izquierda en kilogramos (Rolsted et al., 2024).
- **Fuerza explosiva (CMJ):** La altura del salto con contramovimiento se cuantificó utilizando la aplicación móvil validada científicamente My Jump Lab, instalada en un dispositivo iPhone 14 Pro (Apple Inc., Cupertino, CA, USA) grabando a alta velocidad (240 fps) para asegurar la precisión cinemática del tiempo de vuelo (Balsalobre-Fernández et al., 2015; Montalvo et al., 2021; Ríos-Gallardo et al., 2026).
- **Composición Corporal:** Dadas las restricciones logísticas de transportación internacional de equipaje biomédico, las estimaciones morfológicas se realizaron con los instrumentos bioeléctricos disponibles en cada sede. En T1 se utilizó una báscula segmentaria de super-precisión BF1000 Diagnostic (Beurer GmbH, Ulm, Germany) (González-Marengo et al., 2023), mientras que en T2 se empleó un monitor Omron HBF-514C (Omron Healthcare, Kyoto, Japan) (Siedler et al., 2023). Las diferencias entre dispositivos de bioimpedancia (con algoritmos propietarios distintos, frecuencias de corriente y unidades de medición no equivalentes) impiden la comparación inferencial directa de los compartimentos corporales específicos, por lo que se reportan exclusivamente con carácter descriptivo para caracterización muestral (Campa et al., 2021; González-Marengo et al., 2023; Siedler et al., 2023).

Figura 1.

Diseño metodológico longitudinal, contexto ambiental y consistencia instrumental entre evaluaciones T1 y T2.



Nota: El diagrama ilustra el diseño de medidas repetidas (N=11) en dos contextos geográficos y climáticos contrastantes. Se destaca la consistencia de los instrumentos portátiles para las variables principales de rendimiento (CMJ y Grip), en contraste con el cambio obligado de dispositivo para la composición corporal debido a las restricciones logísticas del viaje internacional. Figura original elaborada con BioRender/ <https://app.biorender.com/>

Análisis estadístico

El procesamiento de datos se realizó en el entorno RStudio (v. 2026.01.1)(Citing RStudio, 2024). La normalidad de las distribuciones para todas las variables continuas se verificó mediante la prueba de Shapiro-Wilk ($p > .05$). Para determinar los cambios estacionales en el rendimiento neuromuscular (CMJ y dinamometría), se aplicó una prueba t de Student para muestras relacionadas. La magnitud de las diferencias se calculó utilizando el tamaño del efecto d de Cohen, interpretándose como trivial (< 0.20), pequeño ($0.20-0.49$), moderado ($0.50-0.79$) o grande (≥ 0.80). Debido a la incompatibilidad de algoritmos y unidades métricas entre los analizadores de bioimpedancia utilizados en T1 y T2, la composición corporal se excluyó del análisis inferencial, reportándose de manera estrictamente descriptiva. El nivel de significancia se estableció en $\alpha = .05$. Dado el tamaño muestral reducido ($n=11$), el poder estadístico para detectar efectos moderados ($d= 0.5$) mediante la prueba t bilateral con $\alpha = .05$ es aproximadamente 0.40; por lo tanto, los resultados deben interpretarse priorizando el tamaño del efecto y sus intervalos de confianza sobre el valor p (Cohen, 2013; Lakens, 2013).

RESULTADOS

El análisis de distribución de los datos mediante la prueba de Shapiro-Wilk confirmó que todas las variables evaluadas cumplieron con el supuesto de normalidad en ambos momentos de medición ($p > .05$), lo que justificó el empleo de estadística inferencial paramétrica para las comparaciones de rendimiento (Tabla 1).

Tabla 1

Resultados de la Prueba de Normalidad Shapiro-Wilk por Variable y Momento de Medición (n = 11).

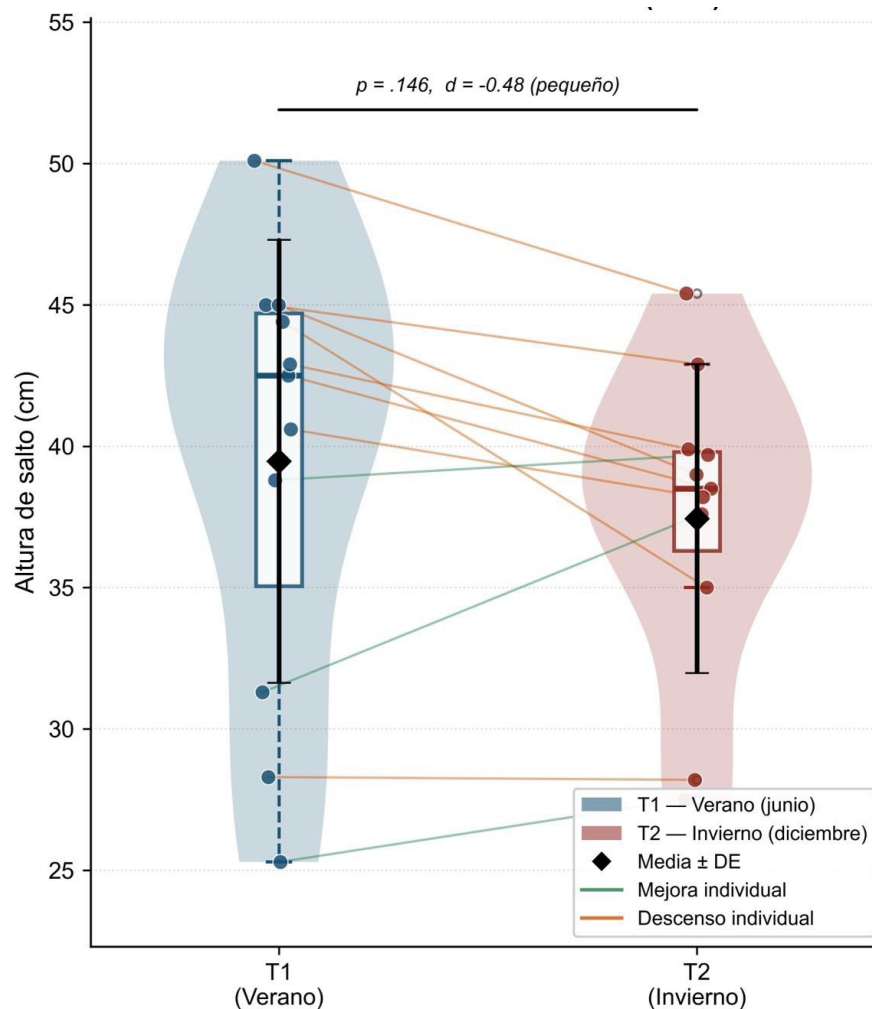
Variable	T1-Verano		T2 -Invierno		Distribución
	W	p	W	p	
Variables principales					
CMJ (cm)	0.899	= .180	0.896	= .167	Normal
Prensión Manual D (kg)	0.917	= .296	0.956	= .717	Normal
Prensión Manual I (kg)	0.899	= .180	0.945	= .578	Normal
Variables de composición corporal					
Peso Corporal (kg) ^a	0.973	= .914	0.982	= .977	Normal
Grasa Corporal (%) ^a	0.921	= .328	0.957	= .730	Normal

Nota: T1 = Verano (junio); T2 = Invierno (diciembre); W = estadístico de Shapiro-Wilk. $p > .05$ indica distribución compatible con la normalidad. aMedidas con dispositivos de marcas distintas en T1 y T2; los resultados deben interpretarse con extrema cautela. La variable Masa Muscular se excluye de este análisis por unidades incomparables entre momentos (T1: %; T2: kg).

Rendimiento neuromuscular (Variables principales)

Los estadísticos descriptivos e inferenciales referentes a las variaciones estacionales del rendimiento físico se detallan en la Tabla 2. En cuanto a la fuerza explosiva de las extremidades inferiores (CMJ), se observó una disminución de los valores medios en T2 (37.45 ± 5.46 cm) con respecto a la evaluación en T1 (39.47 ± 7.83 cm). Aunque esta diferencia de -2.03 cm no alcanzó significancia estadística ($p = .146$), el análisis del tamaño del efecto reveló una magnitud de cambio pequeña a moderada ($d = -0.48$), indicando una reducción de interés práctico en la capacidad neuromuscular (Figura 2 y Figura 4).

Figura 2.
Evaluación de salto con contramovimiento (CMJ).



Nota. Cada línea conecta los valores individuales de un mismo atleta. □ = Media ± DE grupal. T1 = verano (junio); T2 = invierno (diciembre). d = d de Cohen para muestras relacionadas.

Respecto a la fuerza isométrica de prensión manual, la extremidad derecha presentó un ligero descenso en T2, con una reducción media de -0.95 kg ($p = .485$), mostrando un tamaño del efecto pequeño ($d = -0.22$) (Figura 3 y Figura 4). Por su parte, el rendimiento de la extremidad izquierda se mantuvo sumamente estable, con una variación de apenas -0.75 kg entre ambas mediciones ($p = .665$) y un efecto de magnitud trivial ($d = -0.13$) (Tabla 2; Figura 4).

Tabla 2.

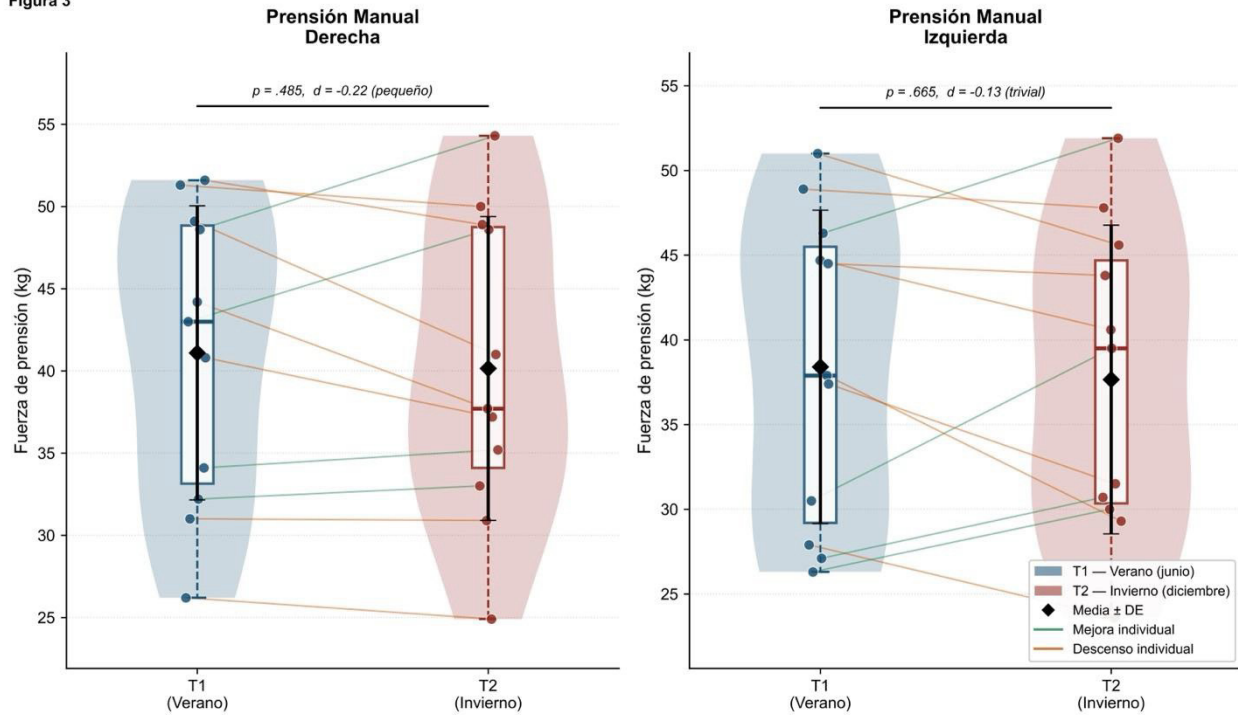
Estadísticos descriptivos e inferenciales para las variables de rendimiento físico y composición corporal entre T1 y T2 ($n = 11$).

Variable	T1 M (DE)	T2 M (DE)	Δ M (DE)	Prueba	Estadístico	p	d	TE
Variables principales								
CMJ (cm)	39.47 (7.83)	37.45 (5.46)	-2.03 (4.26)	t de Student	$t(10) =$ -1.58	.146	-0.48	pequeño
Prensión manual derecha (kg)	41.10 (8.94)	40.15 (9.24)	-0.95 (4.33)	t de Student	$t(10) =$ -0.72	.485	-0.22	pequeño
Prensión manual izquierda (kg)	38.41 (9.25)	37.66 (9.12)	-0.75 (5.55)	t de Student	$t(10) =$ -0.45	.665	-0.13	trivial
Variables de composición corporal								
Peso corporal (kg) ^a	70.48 (12.64)	70.48 (12.80)	-0.00 (3.93)	t de Student	$t(10) =$ -0.00	1.000	-0.00	trivial
Grasa corporal (%) ^a	57.84 (6.95)	27.23 (7.95)	-30.61 (13.88)	t de Student	$t(10) =$ -7.32	<.001	-2.21	grande

Nota M = media; DE = desviación estándar; Δ = cambio ($T2 - T1$); d = d de Cohen para muestras relacionadas; TE = tamaño del efecto (trivial: $|d| < 0.20$; pequeño: $0.20-0.49$; moderado: $0.50-0.79$; grande: ≥ 0.80). Se empleó la prueba t de Student para muestras relacionadas cuando ambas distribuciones cumplieron el criterio de normalidad (Shapiro-Wilk, $p > .05$). En caso contrario, se aplicó la prueba de Wilcoxon de rangos con signo. ^aVariables medidas con dispositivos de marcas distintas en T1 y T2; los resultados inferenciales deben interpretarse únicamente con valor descriptivo y extrema cautela. La variable masa muscular fue excluida del análisis inferencial debido a la incongruencia en las unidades de medición entre momentos (% en T1 vs. kg en T2).

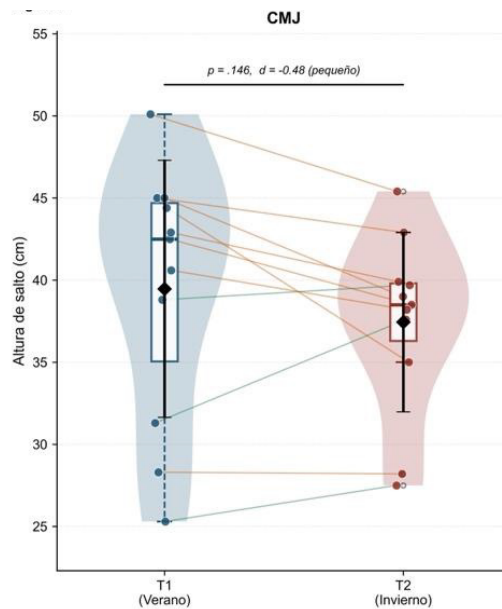
Figura 3.
Presión manual en verano e invierno.

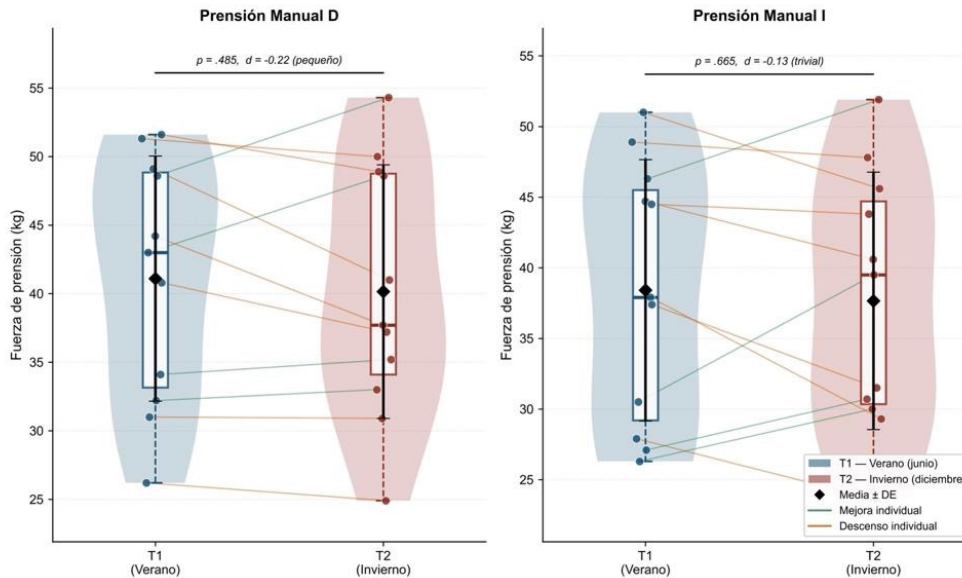
Figura 3



Nota: Cada línea conecta los valores individuales de un mismo atleta. □ = Media ± DE grupal. T1= verano (junio); T2= invierno (diciembre). d= d de Cohen para muestras relacionadas.

Figura 4.
Salto contramovimiento y presión manual en verano e invierno.





Nota: Cada línea conecta los valores individuales de un mismo atleta. □ = Media ± DE grupal. T1= verano (junio); T2= invierno (diciembre). d= d de Cohen para muestras relacionadas.

Composición corporal (Variables secundarias)

Debido a las limitantes logísticas inherentes al traslado internacional de equipamiento, los datos de composición corporal se reportan con un fin estrictamente descriptivo para la caracterización de la muestra en cada contexto (Tabla 2). La masa corporal total de los atletas se mantuvo sin variaciones entre la evaluación de verano (70.48 ± 12.64 kg) y la de invierno (70.48 ± 12.80 kg). Los valores correspondientes al porcentaje de grasa y masa muscular fueron excluidos del análisis inferencial pareado debido a la incompatibilidad algorítmica y de unidades métricas entre los analizadores de bioimpedancia empleados en T1 y T2.

DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue examinar de manera rigurosa las variaciones estacionales en el rendimiento neuromuscular y la composición corporal de jugadores de la selección nacional mexicana de Fireball Extreme Challenge™, evaluando los efectos de un ciclo competitivo internacional en invierno tras un periodo de preparación en verano. La hipótesis planteaba un detrimento diferencial: mayor en el tren inferior (CMJ) y menor en el tren superior (presión manual), lo que fue confirmado por los resultados ($d = -0.48$ vs. $D = -0.13$ a -0.22 , respectivamente). Los hallazgos obtenidos muestran un patrón de respuesta diferencial del sistema neuromuscular: mientras la fuerza explosiva del tren inferior experimentó una disminución de magnitud moderada, la fuerza isométrica del tren superior se mantuvo relativamente preservada.

La reducción observada en la altura del salto con contramovimiento (CMJ) en T2, aunque no alcanzó el umbral tradicional de significancia estadística ($p = .146$), presentó un tamaño del efecto de magnitud moderada ($d = -0.48$). Esta magnitud sugiere un deterioro funcional relevante en el contexto del rendimiento de alta competencia o altos logros a nivel deportivo, donde incluso pequeñas fluctuaciones en la potencia desarrollada

pueden influir en el resultado competitivo. La magnitud del efecto observado ($d = -0.48$) contrasta con la interpretación derivada exclusivamente del valor p ($p = .146$). Con $n = 11$, el poder estadístico para detectar efectos moderados mediante prueba t bilateral con $\alpha = .05$ es aproximadamente 0.40, lo que incrementa sustancialmente la probabilidad de error tipo II (Cohen, 2013). Por tanto, la ausencia de significancia estadística no debe interpretarse como evidencia de ausencia de efecto, sino como una consecuencia esperada del tamaño muestral. Estudios previos con poblaciones de características similares han reportado decrementos en CMJ de magnitud comparable tras viajes transmeridianos y exposición competitiva (Botonis et al., 2025; Garcia-Carrillo et al., 2026), lo que refuerza la relevancia práctica del hallazgo independiente del umbral de significancia convencional (Lakens, 2013). La literatura sistemática respalda la sensibilidad del CMJ como herramienta para monitorear cambios neuromusculares asociados a fatiga residual (Claudino et al., 2017; Miras Moreno, 2020).

Estas disminuciones en el rendimiento explosivo pueden estar asociadas no solo con la carga mecánica propia de la competencia internacional, sino también con fenómenos fisiológicos derivados del cruce de múltiples husos horarios. La literatura en fisiología del deporte y cronobiología ha documentado que el jet lag y la fatiga por viaje no solo interrumpen los ritmos circadianos, sino que impactan procesos fisiológicos relacionados con el rendimiento físico y la recuperación, como la calidad del sueño, la homeostasis hormonal y la percepción de esfuerzo, todo lo cual puede influir en la disponibilidad de fuerza máxima y potencia neuromuscular durante días posteriores al viaje (Janse van Rensburg et al., 2021a). Estudios de campo recientes refuerzan esta tendencia, mostrando reducciones transitorias en marcadores neuromusculares como la fuerza de prensión tras viajes de larga distancia, con recuperación progresiva en los días siguientes (Garcia-Carrillo et al., 2026).

En contraste con la tendencia decreciente observada en el CMJ, la fuerza isométrica máxima medida mediante dinamometría manual bilateral mostró estabilidad entre T1 y T2 (d entre -0.13 y -0.22), lo que sugiere que los mecanismos neuromusculares subyacentes a acciones isométricas del tren superior presentan una mayor resistencia al estrés combinado de viaje y competencia. La literatura especializada identifica que las pruebas de fuerza isométrica, especialmente en acciones de prensión manual, son altamente replicables y robustas ante fluctuaciones de carga moderada, siendo empleadas como indicadores de fuerza funcional en múltiples deportes sin sufrir grandes variaciones en condiciones de ligera fatiga periférica o central (Cronin et al., 2017). Esta resiliencia funcional del tren superior tiene implicaciones prácticas relevantes para deportes donde el control técnico del implemento o la estabilización manual son determinantes, ya que preserva la capacidad del atleta para ejecutar gestos técnicos bajo fatiga generalizada.

Desde la perspectiva de la composición corporal, la utilización de diferentes dispositivos de bioimpedancia entre T1 y T2 constituyó una limitación metodológica importante, inherentemente vinculada al contexto de trabajo con selecciones nacionales y las restricciones logísticas en escenarios internacionales. Aunque esta circunstancia restringe la validez inferencial de los compartimentos corporales específicos, el mantenimiento de la masa corporal total sugiere que las estrategias nutricionales y de manejo energético implementadas por el cuerpo técnico lograron atenuar fluctuaciones antropométricas indeseables durante el ciclo competitivo. Esto coincide con la comprensión general de que los atletas de alto nivel tienden a mantener el equilibrio

energético incluso en situaciones de estrés competitivo y de viaje, siempre que existan protocolos nutricionales y de recuperación bien estructurados.

Las implicaciones aplicadas de estos resultados apuntan a la necesidad de integrar estrategias de gestión del viaje y de acondicionamiento específicas en la planificación de cargas de entrenamiento de atletas internacionales. La evidencia científica sugiere que intervenciones destinadas a facilitar la re-sincronización circadiana (tales como el manejo de la exposición lumínica, la estructuración de los ciclos de sueño y la planificación nutricional pre- y post-viaje) pueden ayudar a mitigar la fatiga por viaje y a preservar el estado de rendimiento óptimo (Janse van Rensburg et al., 2021b). Además, el monitoreo longitudinal de parámetros como el CMJ, combinado con marcadores subjetivos de recuperación, podría proporcionar una visión más integral del estado de adaptación del atleta antes de competencias clave.

En síntesis, los resultados sugieren que el rendimiento neuromuscular de los jugadores de Fireball Extreme Challenge™ responde de forma diferenciada ante el estrés combinado de viajes transmeridianos, cambios estacionales y competición internacional. La fuerza explosiva del tren inferior mostró una disminución de magnitud moderada con relevancia práctica, mientras que la fuerza isométrica del tren superior se mantuvo funcionalmente estable.

Varias limitaciones deben reconocerse explícitamente. Primero, el diseño pre-post con grupo único no permite desagregar la contribución independiente del jet lag, la carga de entrenamiento de temporada, el efecto de la competencia internacional y el cambio de condiciones ambientales sobre las variaciones observadas; las inferencias sobre el papel específico del estrés de viaje transmeridiano deben considerarse con esta restricción. Segundo, el estudio no incluyó control sistematizado de variables nutricionales, hídricas ni de calidad de sueño; si bien se garantizaron 8 horas de sueño declaradas y condiciones estandarizadas, la ausencia de instrumentos objetivos (como actigrafía por smartwatch o registros de densidad calórica) impide descartar su contribución independiente a los cambios observados. Tercer, el estudio no incluyó marcadores bioquímicos (p. ej. pH sanguíneo, ionograma, creatina quinasa) dado que el alcance fue estrictamente biomecánico de campo en un escenario competitivo real; investigaciones futuras con diseño clínico controlado podrían triangular el origen fisiológico del descenso en la potencia, impulso o fuerza mecánica integrando estos marcadores.

CONCLUSIONES

Las variaciones estacionales y el estrés derivado de viajes transmeridianos hacia competencias internacionales generan respuestas disociadas en el sistema neuromuscular de los atletas de élite de Fireball Extreme Challenge™. Se concluye que la fuerza explosiva del tren inferior es un dominio funcional altamente susceptible a las alteraciones circadianas y al estrés térmico por frío, manifestando disminuciones de magnitud moderada con relevancia práctica para el rendimiento deportivo. Por el contrario, la fuerza isométrica máxima del tren superior demuestra una notable resiliencia ante estas mismas condiciones de fatiga sistémica acumulada y disrupción logística.

Desde una perspectiva metodológica, la estabilidad de la masa corporal total sugiere que las perturbaciones ambientales pueden ser atenuadas con un manejo nutricional adecuado, aunque el monitoreo de los compartimentos corporales específicos en giras

transatlánticas exige prever protocolos que sorteen la incompatibilidad tecnológica entre sedes.

En síntesis, estos hallazgos proporcionan evidencia crítica para las ciencias del deporte aplicadas, subrayando la necesidad de que los cuerpos técnicos no asuman una respuesta homogénea a la fatiga. Es imperativo diseñar estrategias de tapering asimétricas, optimizar los protocolos de calentamiento ante el frío extremo e implementar intervenciones agresivas de re-sincronización del jet lag para proteger específicamente la eficiencia del ciclo estiramiento-acortamiento de cara a las justas internacionales. Investigaciones de seguimiento con diseño clínico podrían integrar marcadores de daño muscular (p. ej., CK, LDH) y estado inflamatorio para determinar los mecanismos bioquímicos subyacentes a las variaciones neuromusculares documentadas en este estudio.

REFERENCIAS

- Ackland, T. R., Lohman, T. G., Sundgot-Borgen, J., Maughan, R. J., Meyer, N. L., Stewart, A. D., & Müller, W. (2012). Current status of body composition assessment in sport: Review and position statement on behalf of the ad hoc research working group on body composition health and performance, under the auspices of the I.O.C. Medical Commission. *Sports Medicine*, 42(3), 227–249. <https://doi.org/10.2165/11597140-000000000-00000>
- Balsalobre-Fernández, C., Glaister, M., & Lockey, R. A. (2015). The validity and reliability of an iPhone app for measuring vertical jump performance. *Journal of Sports Sciences*, 33(15), 1574–1579. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.996184>
- Bergh, U., & Ekblom, B. (1979). Influence of muscle temperature on maximal muscle strength and power output in human skeletal muscles. *Acta Physiologica Scandinavica*, 107(1), 33–37. <https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1979.tb06439.x>
- Botonis, P. G., Toubekis, A. G., Hill, D. W., & Mündel, T. (2025). Impact of long-haul airline travel on athletic performance and recovery: A critical review of the literature. *Experimental Physiology*, 110(11), 1584–1602. <https://doi.org/10.1113/EP091831>
- Campa, F., Toselli, S., Mazzilli, M., Gobbo, L. A., & Coratella, G. (2021). Assessment of Body Composition in Athletes: A Narrative Review of Available Methods with Special Reference to Quantitative and Qualitative Bioimpedance Analysis. *Nutrients*, 13(5), 1620. <https://doi.org/10.3390/nu13051620>
- Citing RStudio. (2024, abril 26). Posit Support. <https://support.posit.co/hc/en-us/articles/206212048-Citing-RStudio>
- 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>
- Cohen, J. (2013). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (0 ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>
- Cronin, J., Lawton, T., Harris, N., Kilding, A., & McMaster, D. T. (2017). A Brief Review of Handgrip Strength and Sport Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(11), 3187–3217. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000002149>
- García-Carrillo, E., Thapa, R. K., Hermosilla-Palma, F., Alarcón-Rivera, M., Farías-Valenzuela, C., Azócar-Gallardo, J., Yáñez-Sepúlveda, R., Olivares-Arancibia, J., Castillo-Paredes, A., Calleja-González, J., Judge, L. W., Fuentes-Barría, H., & Mello, J. B. (2026). Case Report: Jet lag and travel fatigue effects on performance in a world-class

- paralympic shot-putter after eastward long-haul transmeridian travel. *Frontiers in Sports and Active Living*, 8, 1745296. <https://doi.org/10.3389/fspor.2026.1745296>
- Gathercole, R. J., Sporer, B. C., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. G. (2015). Comparison of the Capacity of Different Jump and Sprint Field Tests to Detect Neuromuscular Fatigue. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(9), 2522–2531. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000912>
- Gathercole, R., Sporer, B., & Stellingwerff, T. (2015). Countermovement Jump Performance with Increased Training Loads in Elite Female Rugby Athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 36(09), 722–728. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1547262>
- González-Marengo, R., Medina-Escobedo, M., Blanco-Castillo, J., Euan-Zapata, J., Chan-Kantún, S., Sanguinó-Pinzon, J., & Gamboa-Pereyra, C. (2023). Estimates of Agreement Between Three Low-cost and One High-cost Bioelectrical Impedance Analyzers using Classical and Contemporary Dancers. *International Journal of Exercise Science*, 16(4), 353–363. <https://doi.org/10.70252/AHIY4511>
- Issurin, V. (2008). Block periodization versus traditional training theory: A review. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(1), 65–75.
- Janse van Rensburg, D. C., Jansen van Rensburg, A., Fowler, P. M., Bender, A. M., Stevens, D., Sullivan, K. O., Fullagar, H. H. K., Alonso, J.-M., Biggins, M., Claassen-Smithers, A., Collins, R., Dohi, M., Driller, M. W., Dunican, I. C., Gupta, L., Halson, S. L., Lastella, M., Miles, K. H., Nedelec, M., ... Botha, T. (2021a). Managing Travel Fatigue and Jet Lag in Athletes: A Review and Consensus Statement. *Sports Medicine*, 51(10), 2029–2050. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01502-0>
- Janse van Rensburg, D. C., Jansen van Rensburg, A., Fowler, P. M., Bender, A. M., Stevens, D., Sullivan, K. O., Fullagar, H. H. K., Alonso, J.-M., Biggins, M., Claassen-Smithers, A., Collins, R., Dohi, M., Driller, M. W., Dunican, I. C., Gupta, L., Halson, S. L., Lastella, M., Miles, K. H., Nedelec, M., ... Botha, T. (2021b). Managing Travel Fatigue and Jet Lag in Athletes: A Review and Consensus Statement. *Sports Medicine*, 51(10), 2029–2050. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01502-0>
- Lakens, D. (2013). Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: A practical primer for t-tests and ANOVAs. *Frontiers in Psychology*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00863>
- Miras Moreno, S. (2020). La altura del salto en contramovimiento como instrumento de control de la fatiga neuromuscular. Revisión sistemática (Counter-movement Jump height as a means to monitor neuromuscular fatigue. Systematic Review). *Retos*, 37, 820–826. <https://doi.org/10.47197/retos.v37i37.73302>
- Montalvo, S., Gonzalez, M. P., Dietze-Hermosa, M. S., Eggleston, J. D., & Dorgo, S. (2021). Common Vertical Jump and Reactive Strength Index Measuring Devices: A Validity and Reliability Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(5), 1234–1243. <https://doi.org/10.1519/JSC.00000000000003988>
- Mujika, I., & Padilla, S. (2003). Scientific bases for precompetition tapering strategies. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(7), 1182–1187. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000074448.73931.11>
- Racinais, S., & Oksa, J. (2010). Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20 Suppl 3, 1–18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2010.01204.x>
- Reilly, T., Atkinson, G., & Waterhouse, J. (1997). Travel fatigue and jet-lag. *Journal of Sports Sciences*, 15(3), 365–369. <https://doi.org/10.1080/026404197367371>
- Ríos-Gallardo, P. T., Carranza-García, L. E., Balsalobre-Fernández, C., & Montalvo, S. (2026). Reliability and Validity of an AI-Driven Smartphone Application for Measuring

- Countermovement Jump Height: A Comparison with Force Platform, Infrared Optical Timing, and Manual Video Analysis. *Measurement in Physical Education and Exercise Science*, 30(1), 73–86. <https://doi.org/10.1080/1091367X.2025.2532391>
- Ríos-Gallardo, P. T., Gotoo-Vázquez, P. J., López-Walle, J., Mendoza-Farias, F. J., Figueroa-Jimenez, M. O., & Montalvo, S. (2026). Profiling Fireball Extreme Challenge™ athletes: An exploratory multidimensional study in an emerging co-ed sport. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.25.17557-9>
- Roberts, H. C., Denison, H. J., Martin, H. J., Patel, H. P., Syddall, H., Cooper, C., & Sayer, A. A. (2011). A review of the measurement of grip strength in clinical and epidemiological studies: Towards a standardised approach. *Age and Ageing*, 40(4), 423–429. <https://doi.org/10.1093/ageing/afr051>
- Rolsted, S. K., Andersen, K. D., Dandanell, G., Dall, C. H., Zilmer, C. K., Bülow, K., & Kristensen, M. T. (2024). Comparison of two electronic dynamometers for measuring handgrip strength. *Hand Surgery and Rehabilitation*, 43(3), 101692. <https://doi.org/10.1016/j.hansur.2024.101692>
- Siedler, M. R., Rodriguez, C., Stratton, M. T., Harty, P. S., Keith, D. S., Green, J. J., Boykin, J. R., White, S. J., Williams, A. D., DeHaven, B., & Tinsley, G. M. (2023). Assessing the reliability and cross-sectional and longitudinal validity of fifteen bioelectrical impedance analysis devices. *The British Journal of Nutrition*, 130(5), 827–840. <https://doi.org/10.1017/S0007114522003749>