



Rendimiento en el salto vertical en deportistas de élite: un estudio de las diferencias basadas en el sexo y el deporte

Vertical jump performance in elite athletes: a study of sex -and sport-based differences

Martín-Miguel, I^{1A,B,C,D,F}; Martínez-Ortega, JdD^{2B,C,F}; Torrontegi-Ronco, E^{3, B,C,D}; Moreno-Martín, A^{4,A,B}; Montalvo-Zenarruzabeitia, Z^{5,B,C}; de Rozas-Galán, A^{6,B,F}

¹ Instituto de Ciencias de la Salud y del Deporte, Facultad de Ciencias de la Salud, Universidad Francisco de Vitoria. Madrid, España, ivan.martinmiguel@ufv.es

² Consejo Superior de Deportes, España, jdtri17@gmail.com

³ Consejo Superior de Deportes, España, elaia.torrontegui@externos.csd.gob.es

⁴ Consejo Superior de Deportes, España, adrian.moreno@externos.csd.gob.es

⁵ Consejo Superior de Deportes, España, zigor.montalvo@csd.gob.es

⁶ Consejo Superior de Deportes, España, alejandro.derozas@externos.csd.gob.es

Responsabilidades. (A Diseño de la investigación; B Recolector de datos; C Redactor del trabajo; D Tratamiento estadístico; E Apoyo económico; F Idea original y coordinador de toda la investigación)

Recibido el 23 de junio de 2025

Aceptado el 8 de diciembre de 2025

DOI: 10.24310/riccafd.14.3.2025.22034

Correspondencia: Iván Martín-Miguel. Ivan.martinmiguel@ufv.es

RESUMEN

Este estudio tuvo como objetivo establecer valores de referencia para las pruebas de salto vertical en atletas de alto rendimiento, tanto hombres como mujeres, así como identificar diferencias entre distintas disciplinas deportivas. Se analizaron un total de 1.423 saltos (hombres: 891; mujeres: 532) provenientes de 444 atletas de élite (hombres: 258; mujeres: 186) pertenecientes a 15 deportes diferentes, agrupados en cinco categorías: deportes de equipo, deportes de combate, deportes de raqueta, deportes de resistencia y esgrima. Las pruebas de salto vertical evaluadas incluyeron el salto con contramovimiento (CMJ), el salto Abalakov (ABK), el salto desde squat jump (SJ) y el drop jump (DJ). Los resultados mostraron diferencias significativas en las alturas alcanzadas en los distintos tipos de salto, tanto en atletas masculinos como femeninos. En los hombres, el salto ABK registró las mayores alturas (diferencia

media [MD]: 5,517 a 8,744 cm), seguido por el CMJ (MD: 3,227 cm), sin diferencias significativas entre el SJ y el DJ ($p = 1$; MD: 0,367 cm). Entre las disciplinas deportivas, los atletas de resistencia obtuvieron las alturas más bajas en las pruebas de CMJ, SJ, ABK y DJ, en comparación con los deportistas de combate, raqueta, esgrima y deportes de equipo, siendo estos últimos quienes, en general, alcanzaron los valores más altos. En las mujeres, el ABK también produjo los saltos de mayor altura (MD: 3,617 a 5,686 cm), seguido por el CMJ (MD: 2,069 cm). No se encontraron diferencias significativas entre SJ y DJ ($p = 0,185$; MD = -1,168 cm), ni entre CMJ y DJ ($p = 0,567$; MD: 0,901 cm). Al igual que en los hombres, las atletas de resistencia presentaron los valores más bajos en todas las pruebas, mientras que las deportistas de deportes de equipo obtuvieron los registros más altos en CMJ, ABK y DJ. También se observaron diferencias en el índice de fuerza reactiva (RSI), con un rendimiento superior en los atletas de deportes de equipo en comparación con los de deportes de combate y de resistencia, en ambos sexos.

PALABRAS CLAVE: rendimiento deportivo, prueba de salto, sexo, return-to-play, evaluación física

ABSTRACT

This study aimed to establish reference values for vertical jump tests in male and female high-performance athletes, as well as to identify differences between sports disciplines. A total of 1423 jumps (male: 891; female: 532) from 444 elite athletes (male: 258; female: 186) across 15 different sports were analyzed, divided into five categories: team sports, combat sports, racket sports, endurance sports, and fencing. The vertical jumps assessed included the countermovement jump (CMJ), Abalakov jump (ABK), squat jump (SJ), and drop jump (DJ). The results showed significant differences in vertical jump heights across tests for both male and female athletes. In males, the ABK produced the highest jumps (MD: 5.517 to 8.744 cm), followed by the CMJ (MD: 3.227 cm), with no significant difference between SJ and DJ ($p=1$; MD: 0.367 cm). Among sports disciplines, endurance athletes had the lowest jump heights in CMJ, SJ, ABK, and DJ compared to combat, racket, fencing, and team sports. Team sports athletes generally had the highest values. In females, the ABK also yielded the highest jumps (MD: 3.617 to 5.686 cm), followed by the CMJ (MD: 2.069 cm). No significant differences were found between SJ-DJ ($p=0.185$; MD= -1.168 cm) or CMJ-DJ ($p=0.567$; MD: 0.901 cm). Endurance athletes showed the lowest jump heights in all tests compared to other disciplines, particularly team sports athletes, who demonstrated the highest values in CMJ, ABK, and DJ. Differences in reactive strength index (RSI) were also noted, with team sports outperforming combat and endurance sports in both sexes.

KEY WORDS: sport performance, jump test, sex, return-to-play, physical measurement

INTRODUCCIÓN

Las pruebas de salto vertical son ampliamente utilizadas para evaluar el rendimiento neuromuscular, la fatiga y el nivel de preparación del deportista a lo largo del tiempo, así como para monitorizar el progreso y personalizar las estrategias de entrenamiento (1). Estas pruebas ofrecen información relevante sobre la fuerza explosiva y reactiva, la coordinación intermuscular (2), y generalmente inducen niveles bajos de fatiga en los atletas (3,4). El rendimiento neuromuscular, además, se entiende como la capacidad de transmitir eficazmente señales desde el sistema nervioso central (corteza cerebral y médula espinal) hacia las unidades motoras de los músculos esqueléticos. Los potenciales de acción se propagan a lo largo de las neuronas motoras, transmitiendo señales electroquímicas a través de la sinapsis neuromuscular y liberando neurotransmisores como la acetilcolina, que estimulan la contracción muscular. Esta definición se basa en lo planteado por López-Chicharro & Fernández-Vaquero (5) y Haff & Triplett (6), quienes destacan la capacidad del sistema nervioso para regular y controlar la contracción muscular.

Entre las principales pruebas estandarizadas para medir el salto vertical se encuentran el salto con contramovimiento (CMJ), el squat jump (SJ), el salto Abalakov (ABK) y el drop jump (DJ) (7). El CMJ es la prueba estandarizada más común para evaluar la capacidad de salto vertical, reconocida por su alta fiabilidad (coeficiente de correlación intraclase, 0.989) y su eficacia para valorar la potencia del tren inferior (7). Esta prueba se caracteriza por la implicación del ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC), el cual incluye una rápida contracción excéntrica, seguida por una breve fase isométrica y concluye con una contracción concéntrica. Estas fases actúan de forma sinérgica para mejorar la producción de fuerza concéntrica, a través de mecanismos como el aprovechamiento de la energía elástica y la actividad refleja muscular (8,9). Esta característica distingue al CMJ de otras pruebas, como el SJ, que evalúa la capacidad para generar fuerza de manera rápida en un movimiento exclusivamente concéntrico (10). El ABK también involucra el SSC; sin embargo, la inclusión del movimiento de los brazos puede proporcionar mayor tiempo para acumular estimulación y reducir la laxitud muscular, debido a la generación de fuerzas gravitacionales adicionales que aplican una tensión al complejo músculo-tendón (11). Por último, el DJ permite evaluar la capacidad reactiva de la musculatura implicada, definida como la habilidad para utilizar rápidamente el SSC, la cual se cuantifica mediante el Índice de Fuerza Reactiva (RSI). Este índice se calcula dividiendo la altura del salto entre el tiempo de contacto (12). En los últimos años, se ha introducido el Índice de Fuerza Reactiva Modificado (RSI-mod), propuesto por Ebben & Petushek (13), utilizado para una evaluación más lenta del SSC durante el CMJ. En esta modificación, el tiempo de contacto es reemplazado por el tiempo hasta el despegue, medido desde el inicio de la fase excéntrica hasta el momento del despegue.

Estas pruebas han demostrado estar asociadas con capacidades físicas fundamentales como la velocidad de sprint (7,14), el cambio de dirección (15), el monitoreo del rendimiento (16) y la detección del riesgo de lesión, especialmente en el caso del DJ (17). En concreto, el DJ depende del desarrollo de capacidades

biomotoras esenciales como la fuerza máxima, la velocidad de desarrollo de la fuerza, la funcionalidad del SSC y la rigidez de las extremidades inferiores (9). Además, la altura del salto, más que la potencia, permite realizar comparaciones y expresar diferencias entre los distintos tipos de salto (10). Por tanto, esta información puede ayudar tanto a entrenadores como a deportistas a gestionar los planes de entrenamiento y establecer estrategias para la mejora del rendimiento.

En consecuencia, al igual que otros autores han establecido valores de referencia para ejercicios como el SJ (18) o pruebas isométricas (19), lo cual ha contribuido a mejorar el rendimiento de los atletas, los valores de referencia en las pruebas de salto vertical, dada su estrecha relación con el rendimiento deportivo y la salud del deportista, permiten comprender el estado físico del atleta para desarrollar un trabajo individualizado. Asimismo, debido a las diferencias físicas, técnicas y tácticas entre las diversas disciplinas deportivas (20,21), resulta fundamental diferenciar estos valores según el deporte practicado, con el fin de facilitar un entrenamiento aún más específico para cada atleta.

El objetivo de este estudio es establecer valores de referencia para las pruebas de salto vertical en atletas de alto rendimiento, tanto hombres como mujeres, así como identificar las diferencias entre disciplinas deportivas. La hipótesis principal plantea que cada prueba de salto ofrece datos específicos que deben interpretarse de forma diferenciada. De igual manera, se espera que cada disciplina deportiva, en función de sus características particulares, presente valores distintos que deben ser tenidos en cuenta según el contexto del deporte practicado.

MATERIAL Y METODOS

Muestra

Un total de 444 atletas de élite (186 mujeres y 258 hombres) procedentes de 15 disciplinas deportivas participaron en el estudio. Con el fin de representar adecuadamente a cada grupo de deportistas, las disciplinas se agruparon en distintas categorías: deportes de equipo (rugby 7, rugby 15, hockey sobre hierba, voleibol), deportes de combate (judo, kárate, lucha olímpica, taekwondo), deportes de raqueta (tenis de mesa, bádminton), deportes de resistencia (atletismo de medio fondo, pruebas combinadas en atletismo, marcha atlética, orientación, triatlón) y esgrima.

Los participantes fueron incluidos en el análisis si cumplían con los siguientes criterios: estar compitiendo a nivel internacional como integrantes de una selección nacional y no presentar lesiones previas o haber completado exitosamente un proceso de rehabilitación y contar con el alta médica correspondiente. Asimismo, se exigió que los deportistas tuvieran familiaridad previa con las pruebas de rendimiento, garantizando que no se tratara de su primera experiencia con dichas evaluaciones. En los casos en que un deportista hubiera realizado varias pruebas en años anteriores, se seleccionó la evaluación

más reciente, con el fin de asegurar una mayor familiaridad con los procedimientos.

El estudio fue aprobado por un comité ético institucional independiente. Todos los participantes firmaron un consentimiento informado, tras recibir una explicación verbal y escrita de los procedimientos. En el caso de los menores de 18 años, se requirió el consentimiento de los padres o tutores legales.

Procedimiento

Este estudio empleó un diseño observacional retrospectivo. Las mediciones se llevaron a cabo en la Unidad de Análisis del Rendimiento del Centro de Alto Rendimiento (CAR) de Madrid (España), entre enero de 2018 y junio de 2024. Todos los atletas estaban familiarizados con las pruebas, ya que las incorporaban regularmente en sus rutinas de entrenamiento. Las mediciones se realizaron en horario de 9:00 a 14:00 horas. Aunque los atletas fueron evaluados en distintos momentos del año según su calendario deportivo, solo se incluyeron en la muestra aquellos que fueron evaluados durante el periodo competitivo de la temporada, asegurando así que se encontraban en óptimas condiciones físicas y cercanos a su máximo rendimiento.

Las pruebas de salto se llevaron a cabo utilizando un sensor de fotocélulas OptoGait (OptoGait, Microgate, Bolzano, Italia), instrumento utilizado en estudios previos (22). Se analizaron cuatro tipos de salto vertical: (i) CMJ: desde posición erguida, se inicia un movimiento descendente seguido de un movimiento ascendente que culmina en el despegue (10); (ii) SJ: el deportista desciende hasta una posición de semi-cuclillas y la mantiene durante aproximadamente 3 segundos antes de despegar (10); (iii) ABK: similar al CMJ, pero se permite el uso de los brazos para generar mayor impulso (23); (iv) DJ: el deportista se deja caer desde una plataforma y, al tocar el suelo, realiza de inmediato un salto vertical. Este test se centra especialmente en mantener un tiempo mínimo de contacto y una flexión mínima de piernas (24), con una altura de 40 cm, de acuerdo con la metodología de Markwick et al. (16).

En todas las pruebas se registraron las siguientes variables: altura del salto (calculada mediante el impulso y el momento (25)), tiempo de contacto, tiempo de vuelo y el RSI-mod, definido como la relación entre la altura del salto y el tiempo hasta el despegue (13), específicamente en el DJ. Cada tipo de salto se realizó en cinco intentos, con un intervalo de cinco segundos entre ellos. Se descartaron el mejor y el peor resultado, y se calculó el promedio ponderado de los tres intentos restantes.

Análisis estadístico

Los datos se presentan en forma de media \pm desviación estándar (DE), junto con el intervalo de confianza del 95 %. Los valores de referencia (bajo, medio y alto) se establecieron a partir de los percentiles 25, 50 y 75 (P25, P50, P75). Para proporcionar una caracterización más detallada según cada disciplina deportiva, se analizaron los valores correspondientes al P25, la mediana y el P75

del rango intercuartílico. Se excluyeron del análisis aquellos valores atípicos definidos como observaciones que excedían 1.5 veces el rango intercuartílico. La prueba de Kolmogórov-Smirnov se utilizó para verificar la normalidad de las variables, mientras que la prueba de Levene permitió evaluar la homogeneidad de las varianzas. Para determinar las diferencias significativas en el rendimiento de salto entre las distintas disciplinas deportivas, se aplicaron un ANOVA de un factor y pruebas post hoc de Bonferroni. Se consideraron estadísticamente significativos aquellos resultados con un valor de p inferior a 0.05. Todos los cálculos se realizaron utilizando el software JASP v.0.17.3, y las visualizaciones gráficas fueron generadas mediante Flourish Studio.

RESULTADOS

Los valores de referencia para los atletas masculinos (Tabla 1) revelan diferencias significativas en las alturas de salto vertical entre las distintas pruebas ($gl = 3$; $F = 2121.212$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.613$). El ABK registró las mayores alturas de salto en comparación con las demás ($p < 0.001$; diferencia media [DM]: 5.517 a 8.744 cm), seguida por el CMJ, que mostró valores superiores al SJ ($p < 0.001$; DM: 3.227 cm) y al salto DJ ($p < 0.001$; DM: 2.861 cm). No se observaron diferencias significativas entre SJ y DJ ($p = 1$; DM: 0.367 cm). En cuanto a las diferencias entre disciplinas deportivas en atletas masculinos (Figura 1), se observaron variaciones significativas en la prueba de CMJ ($gl = 4$; $F = 20.664$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.246$). Los atletas de deportes de resistencia presentaron menores alturas de salto en comparación con los de deportes de combate (-6.544 cm), esgrima (-10.468 cm), deportes de raqueta (-5.950 cm) y deportes de equipo (-10.855 cm). Los atletas de deportes de combate también mostraron valores inferiores respecto a esgrima (-3.923 cm) y deportes de equipo (-4.311 cm), al igual que los de deportes de raqueta frente a esgrima (-4.517 cm) y deportes de equipo (-4.905 cm). Patrones similares se observaron en la prueba SJ ($gl = 4$; $F = 18.313$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.225$), en la que los atletas de resistencia obtuvieron valores inferiores frente a los de combate (-5.528 cm), esgrima (-9.326 cm), raqueta (-5.367 cm) y equipo (-9.597 cm). También se encontraron diferencias entre combate y esgrima (-3.799 cm) y equipo (-4.070 cm), así como entre raqueta y esgrima (-3.960 cm) y equipo (-4.230 cm). En la prueba ABK ($gl = 4$; $F = 13.790$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.306$), los atletas de resistencia registraron valores más bajos en comparación con combate (-8.517 cm), esgrima (-11.278 cm) y equipo (-15.710 cm). Los atletas de deportes de equipo mostraron valores superiores a los de combate (7.193 cm) y raqueta (9.961 cm). En el caso del DJ ($gl = 4$; $F = 9.322$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.134$), nuevamente los deportistas de resistencia obtuvieron resultados inferiores respecto a combate (-5.648 cm), raqueta (-4.812 cm) y equipo (-7.299 cm). Finalmente, se observaron diferencias en el RSI ($gl = 4$; $F = 3.207$; $p = 0.014$; $\eta^2 = 0.052$), donde los atletas de deportes de combate presentaron valores más bajos en comparación con los de deportes de equipo (-0.259 cm).

Tabla 1. Análisis descriptivo de las pruebas de salto en atletas masculinos, diferenciadas según la disciplina deportiva.

			95% Intervalo de confianza de la media				Percentil		
		Muestra	Media	Superior	Inferior	Desviación estandar	25th	50th	75th
SJ	Total	258	34.003	34.807	33.200	6.556	29.100	33.683	38.750
	Deportes de combate	89	33.870	35.107	32.632	5.875	29.500	33.667	38.000
	Deportes de resistencia	44	28.342	29.733	26.951	4.574	25.500	28.317	31.300
	Esgrima	25	37.668	40.267	35.070	6.295	32.667	38.700	41.000
	Deportes de raqueta	53	33.709	35.548	31.870	6.672	28.467	32.500	37.800
	Deportes de equipo	47	37.939	39.538	36.340	5.445	35.708	38.533	41.325
CMJ	Total	258	36.992	37.858	36.125	7.066	31.954	36.800	42.175
	Deportes de combate	89	37.064	38.378	35.750	6.237	32.300	37.200	41.267
	Deportes de resistencia	44	30.520	32.083	28.957	5.142	27.550	30.117	33.996
	Esgrima	25	40.988	43.761	38.214	6.720	35.100	41.733	45.233
	Deportes de raqueta	53	36.470	38.324	34.616	6.727	31.367	36.000	40.300
	Deportes de equipo	47	41.375	43.147	39.603	6.036	38.850	41.100	45.667

ABK	Total	130	42.635	44.019	41.250	7.978	37.050	43.417	48.375
	Deportes de combate	50	42.021	43.791	40.250	6.230	37.125	42.648	45.883
	Deportes de resistencia	9	33.504	36.668	30.339	4.117	30.800	32.600	36.950
	Esgrima	8	44.781	51.116	38.447	7.577	41.108	47.409	50.775
	Deportes de raqueta	32	39.253	41.694	36.812	6.771	34.825	40.050	43.763
	Deportes de equipo	31	49.214	52.084	46.344	7.824	46.000	50.300	53.850
DJ altura de salto	Total	245	33.772	34.583	32.961	6.444	29.600	33.400	37.933
	Deportes de combate	89	34.759	35.954	33.564	5.673	30.900	33.400	38.400
	Deportes de resistencia	43	29.112	30.813	27.410	5.529	25.225	29.000	33.700
	Esgrima	14	32.570	35.800	29.341	5.593	29.100	33.350	36.925
	Deportes de raqueta	53	33.924	35.673	32.175	6.347	29.700	33.700	37.900
	Deportes de equipo	46	36.410	38.463	34.357	6.913	31.775	36.450	41.650
DJ tiempo de contacto	Total	33	0.203	0.223	0.182	0.057	0.177	0.193	0.209
	Deportes de combate	2	0.169	0.271	0.067	0.011	0.165	0.169	0.173
	Deportes de resistencia	2	0.186	0.434	-0.061	0.028	0.177	0.186	0.196
	Esgrima								
	Deportes de raqueta	14	0.186	0.200	0.172	0.024	0.177	0.188	0.198
	Deportes de equipo	15	0.225	0.267	0.183	0.076	0.191	0.206	0.216
DJ tiempo de vuelo	Total	32	0.536	0.559	0.514	0.062	0.492	0.533	0.578
	Deportes de combate	2	0.598	0.852	0.344	0.028	0.588	0.598	0.608
	Deportes de resistencia	2	0.484	1.068	-0.100	0.065	0.461	0.484	0.507
	Esgrima								
	Deportes de raqueta	14	0.535	0.567	0.504	0.055	0.493	0.542	0.569
	Deportes de equipo	14	0.536	0.576	0.497	0.068	0.495	0.525	0.585
RSI	Total	239	1.568	1.629	1.507	0.478	1.202	1.553	1.928
	Deportes de combate	89	1.480	1.583	1.376	0.493	1.130	1.480	1.850
	Deportes de resistencia	41	1.487	1.612	1.363	0.394	1.160	1.546	1.735
	Esgrima	14	1.474	1.690	1.257	0.375	1.256	1.498	1.608
	Deportes de raqueta	52	1.666	1.821	1.510	0.557	1.296	1.582	2.007
	Deportes de equipo	43	1.738	1.858	1.618	0.389	1.498	1.816	2.017

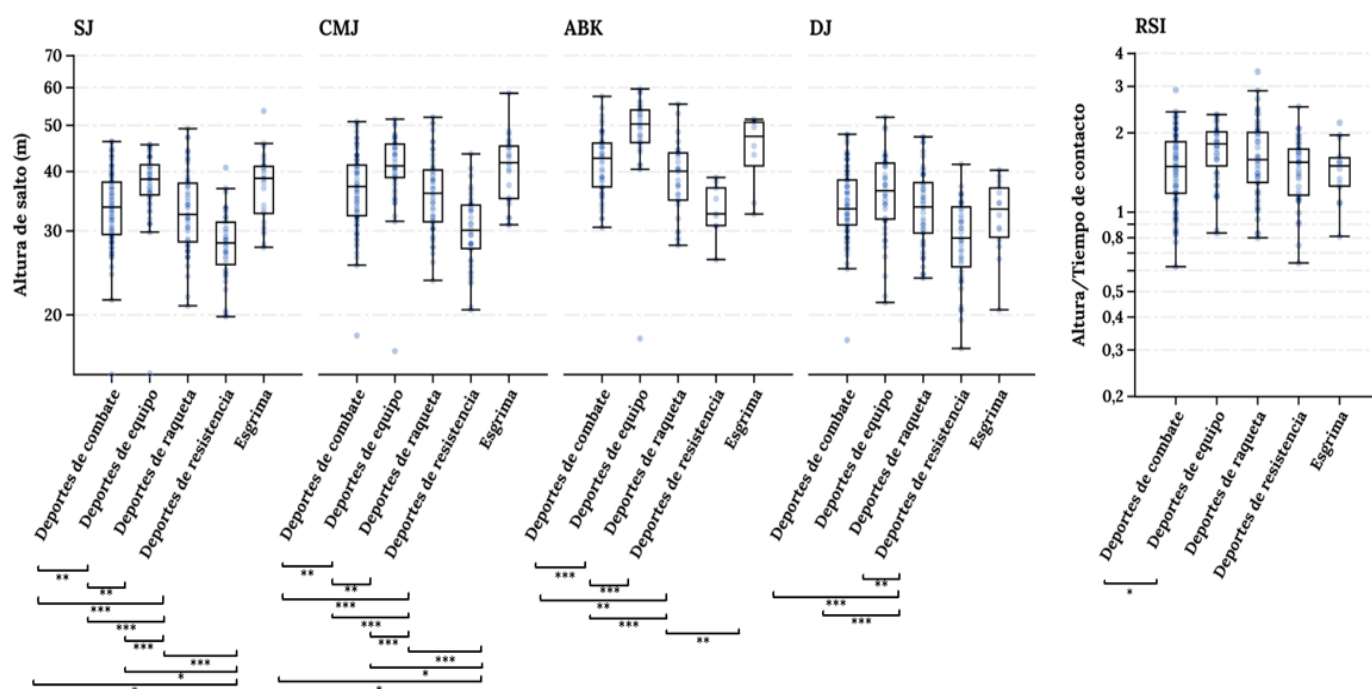


Figura 1. Prueba post-hoc ANOVA según Bonferroni sobre la altura de salto y la relación altura/tiempo de contacto en los diferentes test de salto en atletas masculinos. Las cajas representan los percentiles 25 y 75. Las líneas horizontales dentro de las cajas indican la mediana. Los valores mínimo y máximo se representan mediante líneas exteriores. Las diferencias significativas entre deportes se indican como * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$.

Los valores de referencia para las atletas femeninas (Tabla 2) muestran diferencias significativas en las alturas de salto vertical entre las distintas pruebas ($gl = 3$; $F = 42.044$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.483$), con variaciones notables en la altura alcanzada según el tipo de salto. El ABK presentó las mayores alturas de salto, superando significativamente a las demás ($p < 0.001$; DM: 3.617 a 5.686 cm). Asimismo, el CMJ mostró valores más altos que el salto SJ ($p = 0.001$; DM: 2.069 cm). No se encontraron diferencias significativas entre las pruebas SJ-DJ ($p = 0.185$; DM = -1.168 cm) ni entre CMJ-DJ ($p = 0.567$; DM: 0.901 cm). Respecto a las diferencias entre disciplinas deportivas en atletas femeninas (Figura 2), se observaron variaciones significativas en el SJ ($gl = 4$; $F = 11.602$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.236$), donde las deportistas de resistencia obtuvieron alturas menores en comparación con las de deportes de combate (-4.436 cm), esgrima (-3.569 cm) y deportes de equipo (-6.441 cm). En el CMJ ($gl = 4$; $F = 16.059$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.281$), las atletas de resistencia también mostraron valores inferiores respecto a combate (-5.464 cm), esgrima (-4.097 cm), deportes de raqueta (-4.764 cm) y equipo (-7.973 cm). Además, se observaron diferencias entre esgrima y deportes de equipo (-3.876 cm). En la prueba ABK ($gl = 4$; $F = 8.298$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.364$), las atletas de resistencia registraron valores más bajos en comparación con combate (-8.472 cm), raqueta (-8.996 cm) y equipo (-10.046 cm), mientras que esgrima mostró valores inferiores respecto a deportes

de equipo (-6.659 cm). En el DJ ($gl = 4$; $F = 7.211$; $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.171$), las atletas de resistencia también presentaron resultados más bajos frente a combate (-4.320 cm), raqueta (-4.605 cm) y equipo (-5.243 cm). Finalmente, se observaron diferencias en el RSI ($gl = 4$; $F = 4.097$; $p = 0.004$; $\eta^2 = 0.105$), donde las atletas de deportes de equipo exhibieron valores más altos en comparación con las de combate (-0.253 cm) y resistencia (-0.253 cm).

Tabla 2. Análisis descriptivo de las pruebas de salto en atletas femeninas, diferenciadas según la disciplina deportiva.

			95% Intervalo de confianza de la media				Percentil			
			Muestra	Media	Superior	Inferior	Desviación estandar	25th	50th	75th
SJ	Total	155	26.723	27.506	25.940	4.934	23.700	26.700	30.167	
	Deportes de combate	31	26.979	28.842	25.116	5.079	23.967	25.350	30.817	
	Deportes de resistencia	32	22.543	24.661	20.426	5.874	19.000	21.950	25.608	
	Esgrima	19	26.112	27.673	24.552	3.239	24.517	26.100	29.017	
	Deportes de raqueta	11	26.474	27.989	24.959	2.256	25.067	26.350	27.050	
	Deportes de equipo	62	28.984	29.893	28.076	3.577	26.717	29.167	31.950	
CMJ	Total	169	29.133	29.981	28.286	5.581	25.867	29.033	32.867	
	Deportes de combate	31	29.239	30.987	27.491	4.765	26.450	27.700	33.367	
	Deportes de resistencia	32	23.775	26.031	21.519	6.258	19.583	23.017	26.558	
	Esgrima	19	27.872	29.639	26.105	3.666	24.900	28.400	30.215	
	Deportes de raqueta	11	28.539	30.495	26.584	2.911	26.315	27.167	29.583	
	Deportes de equipo	76	31.748	32.782	30.713	4.528	28.992	31.617	34.618	
ABK	Total	63	32.436	33.783	31.089	5.349	29.750	33.300	35.800	
	Deportes de combate	16	32.936	35.183	30.690	4.216	30.550	33.300	35.700	
	Deportes de resistencia	6	24.464	29.313	19.615	4.620	20.633	23.700	27.992	
	Esgrima	6	27.851	35.101	20.601	6.909	27.058	28.750	31.292	
	Deportes de raqueta	5	33.460	38.320	28.600	3.914	30.000	35.200	35.200	
	Deportes de equipo	30	34.510	35.989	33.031	3.961	32.125	34.300	36.650	

DJ altura de salto	Total	145	27.920	28.737	27.103	4.976	25.500	27.800	30.800
	Deportes de combate	31	28.628	30.005	27.250	3.756	26.350	27.767	31.300
	Deportes de resistencia	32	24.308	26.439	22.178	5.909	19.525	24.250	27.425
	Esgrima	13	27.000	30.056	23.945	5.056	24.700	27.050	28.500
	Deportes de raqueta	11	28.914	31.257	26.570	3.489	26.000	29.800	30.350
	Deportes de equipo	58	29.551	30.665	28.438	4.236	27.100	29.700	31.525
DJ tiempo de contacto	Total	22	0.225	0.246	0.204	0.047	0.193	0.213	0.246
	Deportes de combate	1	0.174				0.174	0.174	0.174
	Deportes de resistencia	2	0.191	-0.146	0.527	0.037	0.177	0.191	0.204
	Esgrima	0							
	Deportes de raqueta	5	0.214	0.190	0.238	0.019	0.194	0.217	0.230
	Deportes de equipo	14	0.238	0.208	0.268	0.051	0.196	0.217	0.287
DJ tiempo de vuelo	Total	22	0.508	0.525	0.492	0.037	0.491	0.506	0.530
	Deportes de combate	1	0.522				0.522	0.522	0.522
	Deportes de resistencia	2	0.469	0.444	0.494	0.002	0.468	0.469	0.470
	Esgrima	0							
	Deportes de raqueta	5	0.481	0.444	0.517	0.029	0.459	0.496	0.496
	Deportes de equipo	14	0.523	0.503	0.543	0.034	0.500	0.522	0.531
RSI	Total	144	1.293	1.354	1.232	0.371	1.051	1.294	1.517
	Deportes de combate	31	1.178	1.340	1.015	0.444	0.897	1.160	1.420
	Deportes de resistencia	30	1.177	1.342	1.013	0.441	0.862	1.147	1.439
	Esgrima	14	1.193	1.367	1.020	0.301	1.011	1.244	1.326
	Deportes de raqueta	11	1.339	1.499	1.179	0.238	1.178	1.330	1.445
	Deportes de equipo	58	1.431	1.503	1.358	0.275	1.237	1.411	1.587

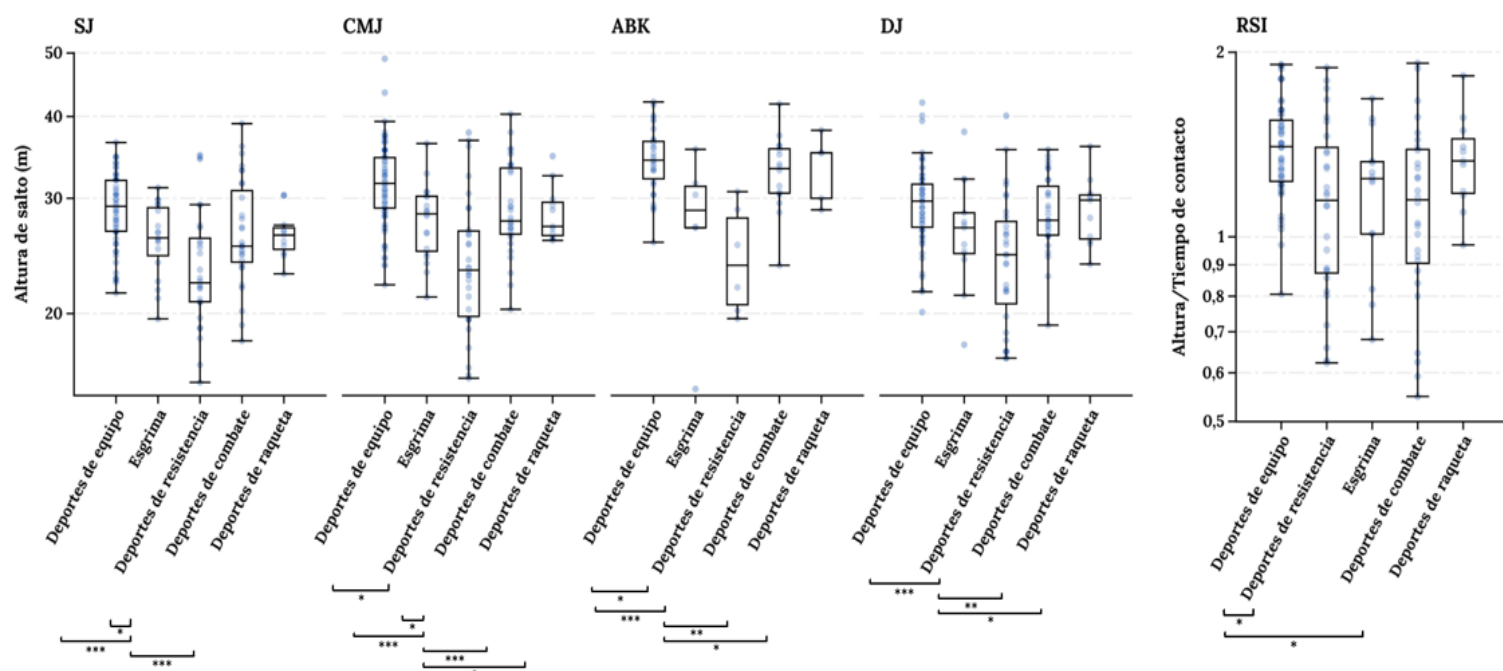


Figura 2. Prueba post-hoc ANOVA según Bonferroni sobre la altura de salto y la relación altura/tiempo de contacto en los diferentes test de salto en atletas femeninas. Las cajas representan los percentiles 25 y 75. Las líneas horizontales dentro de las cajas indican la mediana. Los valores mínimo y máximo se representan mediante líneas exteriores. Las diferencias significativas entre deportes se indican como * p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001.

DISCUSIÓN

Los principales resultados obtenidos fueron los siguientes: en el caso de los atletas masculinos, i) se observaron mayores alturas de salto en el ABK (hombres: 42.635 ± 7.978 cm; mujeres: 32.436 ± 5.349 cm), seguidas por el CMJ (hombres: 36.992 ± 7.066 cm; mujeres: 29.133 ± 5.581 cm), el salto desde SJ (hombres: 34.003 ± 6.556 cm; mujeres: 26.723 ± 4.934 cm) y, finalmente, el DJ (hombres: 33.772 ± 6.444 cm; mujeres: 27.920 ± 4.97 cm); ii) en el DJ, se registraron los siguientes valores: tiempo de contacto (hombres: 0.203 ± 0.057 s; mujeres: 0.225 ± 0.047 s), tiempo de vuelo (hombres: 0.536 ± 0.062 s; mujeres: 0.508 ± 0.037 s) y RSI (hombres: 1.568 ± 0.478 ; mujeres: 1.293 ± 0.371 cm/s); iii) tanto en hombres como en mujeres, los deportistas de disciplinas de resistencia destacaron por presentar las menores alturas de salto respecto al resto de disciplinas, con diferencias específicas adicionales en función del tipo de salto y el sexo.

El ABK evidenció las mayores alturas de salto en comparación con las demás pruebas, independientemente del sexo, con diferencias medias que oscilaron entre 5.517 y 8.744 cm en mujeres y 3.617 a 5.686 cm en hombres. Estudios previos también han informado resultados superiores en la prueba ABK frente a otras modalidades, aunque dichas diferencias pueden depender del instrumento de medición empleado (26). El CMJ también mostró mayores alturas de salto que el SJ y el DJ, con diferencias medias de 2.861 a 3.227 cm en

hombres y valores superiores al SJ en mujeres (DM: 2.069 cm), en línea con los resultados de Glatthorn et al. (27).

La superioridad en la altura de salto observada en el ABK y el CMJ frente al SJ puede explicarse por tres factores principales señalados por Bobbert y Casius (28). Primero, el estiramiento muscular durante el movimiento excéntrico en el CMJ desencadena respuestas neurales que aumentan la estimulación muscular durante la fase propulsiva, incrementando así la fuerza generada. Segundo, el estiramiento también potencia la capacidad de generación de fuerza del aparato contráctil. Tercero, tanto en el CMJ como en el SJ, las fibras musculares comienzan la fase de propulsión en la rama descendente de la curva fuerza-longitud; sin embargo, en el CMJ, gracias al estiramiento de los elementos elásticos en serie, estas fibras se sitúan más cerca de su longitud óptima, lo que permite una mayor producción de fuerza desde el inicio de la fase concéntrica. Además, el movimiento de bajada en el CMJ implica una mayor participación de los extensores de cadera, lo que facilita una aplicación de fuerza más eficaz (28).

Por otro lado, el uso del balanceo de brazos durante el salto permite acumular más tiempo de estimulación muscular y reduce la laxitud muscular, al generar fuerzas gravitacionales adicionales que estiran la unidad músculo-tendinosa (10). De este modo, un salto con movimiento de brazos representa una combinación compleja de potencia de tren inferior y coordinación intersegmentaria (29), siendo particularmente relevante en disciplinas deportivas que requieren movimientos de brazos, como el baloncesto. Por ello, en este tipo de deportes, la prueba ABK se considera especialmente eficaz para evaluar la capacidad de salto (7).

Según Montoro-Bombú et al. (30), el DJ constituye un movimiento complejo en el que, durante la fase de caída libre, el sistema neuromuscular se prepara para contrarrestar la gravedad mediante preactivación neuromuscular y la participación de receptores propioceptivos integrados en el sistema nervioso central, lo que garantiza una recepción eficaz. Al contactar con el suelo, se activa el SSC, el cual incluye una fase excéntrica. En esta fase, la unidad músculo-tendinosa preactivada inicia el frenado y alargamiento, acumulando energía elástica en los tendones y generando impulso mecánico. Tras la estabilización y la transición de la fase excéntrica a la concéntrica —durante la cual la velocidad alcanza momentáneamente un valor nulo—, comienza la fase concéntrica, en la que se libera la energía almacenada, asistida por el reflejo de estiramiento, lo que da lugar a un movimiento más potente. Este proceso requiere no solo fuerza, sino también un control del movimiento eficiente y seguro (9). Por lo tanto, la menor altura de salto observada en el DJ en comparación con el CMJ y el ABK podría deberse a diferencias en la duración de la fase excéntrica, en el uso del SSC y al impacto de la fatiga sobre el rendimiento en el DJ. Además, individuos con insuficiente fuerza y/o habilidades neuromusculares para atenuar eficazmente fuerzas de impacto elevadas pueden adoptar estrategias compensatorias articulares que incrementan las demandas de trabajo negativo, con un mayor porcentaje de energía disipada en la rodilla (31). Si bien estas estrategias pueden reducir la exposición a cargas excesivas y mitigar el riesgo de lesión, también conllevan mayores demandas neuromusculares y

energéticas, lo que repercute negativamente en el rendimiento del DJ (32). La menor diferencia entre el rendimiento en DJ y CMJ observada en mujeres frente a hombres podría explicarse por una mayor puntuación en saltos defectuosos (fold jump), es decir, errores técnicos más frecuentes. Las mujeres tendieron a aterrizar con mayor valgo de rodilla y a ser evaluadas con peor control articular durante las recepciones del DJ (33). El RSI es un indicador clave del rendimiento neuromuscular (32), y valores más altos de RSI se asocian positivamente con un mejor desempeño deportivo. Esta relación se manifiesta especialmente en deportes de equipo, donde un RSI elevado se correlaciona con mayores velocidades de sprint máximo (34). Así, valores elevados de RSI, junto con tiempos de vuelo y de contacto que se aproximan o superan el percentil 75, se relacionan con un mejor rendimiento deportivo.

La comparación entre deportes revela una alta variabilidad en los valores de salto según la disciplina, lo que subraya la importancia de la individualización por deporte, especialmente en varones. A pesar de esta variabilidad, los deportes de resistencia presentan sistemáticamente los valores más bajos de salto en ambos sexos. Fisiológicamente, los atletas de resistencia presentan una mayor proporción de fibras musculares tipo I, especializadas en contracciones de larga duración. Por el contrario, los atletas de disciplinas de fuerza y potencia cuentan con más fibras tipo IIA y IIX, adaptadas a esfuerzos anaeróbicos de corta duración (35). Esta diferencia en la tipología de fibras musculares explica, en parte, la menor fuerza y potencia de salto observadas en los atletas de resistencia. En los deportes de equipo, el carácter dinámico del juego, que alterna acciones ofensivas y defensivas, junto con la producción de fuerza excéntrica y las desaceleraciones frecuentes, favorecen valores de salto superiores debido a una mayor activación del SSC (36). Por tanto, la individualización del entrenamiento y la evaluación en función del deporte practicado es esencial, dado que, por ejemplo, los valores medios de salto en el CMJ difieren notablemente entre atletas masculinos de deportes de equipo (media: 41.375 cm) y de resistencia (media: 30.520 cm).

LIMITACIONES Y CAMINOS FUTUROS

Este estudio presenta ciertas limitaciones que deben tenerse en cuenta para una correcta interpretación y aplicación de los resultados. La primera limitación se relaciona con el instrumento de medición utilizado. Aunque el sistema OptoGait está validado y es ampliamente accesible para la mayoría de entrenadores, el uso de herramientas diferentes, como aplicaciones móviles o plataformas de fuerza, podría generar variaciones en los resultados. Por ello, futuras investigaciones deberían enfocarse en comparar distintos dispositivos de medición para valorar posibles discrepancias en los datos de salto. Tales comparaciones permitirían integrar los hallazgos del presente estudio con aquellas desviaciones, mejorando así la precisión de las conclusiones.

Otra limitación del estudio se relaciona con la composición de la muestra. Si bien se contó con un número considerable de atletas de élite, lo cual permite generalizar los resultados a esta población sin necesidad de comparaciones con deportistas amateurs o con la población general, una mayor especificidad en la

categorización de los deportes y un número más amplio de participantes por disciplina resultaría beneficioso. Investigaciones futuras podrían centrarse en realizar comparaciones más detalladas entre deportes, especialmente aquellos que comparten características similares. Por ejemplo, comparar deportes de equipo como fútbol, baloncesto y rugby podría ofrecer un análisis más profundo y adaptado a las exigencias específicas de cada disciplina.

CONCLUSIONES

A pesar de estas limitaciones, los hallazgos del presente estudio proporcionan a los entrenadores una herramienta valiosa para la evaluación de la condición física de los atletas, mejorando la comprensión del estado físico según el sexo y la disciplina deportiva. Los datos obtenidos en atletas de alto rendimiento permiten definir valores de referencia físicos clave para optimizar el rendimiento deportivo. Por ejemplo, los valores de altura de salto en el CMJ difieren entre atletas varones (media: 36.992 cm) y mujeres (media: 29.133 cm), lo cual subraya la importancia de individualizar las evaluaciones en función del sexo para una interpretación precisa de los resultados. Además, estos valores de referencia pueden integrarse con resultados procedentes de otros estudios que analicen capacidades físicas específicas (37), ampliando así el marco comparativo disponible para los entrenadores y favoreciendo una planificación más completa y contextualizada del deportista.

Asimismo, los resultados permiten a entrenadores de disciplinas no incluidas en el análisis, como la halterofilia, extrapolar los hallazgos. Por ejemplo, si un halterófilo presenta una altura de salto en el CMJ inferior a 31.954 cm (percentil 25), esto podría interpretarse como una posible limitación física que afectaría su rendimiento deportivo.

Además, la comparación entre distintas disciplinas deportivas permite un enfoque más específico y adaptado al deporte en la planificación del entrenamiento. Por ejemplo, en atletas femeninas, aunque los valores del SJ son relativamente homogéneos entre deportes, se observan diferencias significativas en el rendimiento del ABK, como entre deportes de equipo (media: 34.510 cm) y deportes de resistencia (media: 24.464 cm). Estas diferencias ayudan a los entrenadores a comprender mejor las características físicas particulares de las atletas, permitiendo una planificación del entrenamiento más precisa y orientada a las necesidades específicas de cada deporte.

REFERENCIAS

1. Bishop C, Jordan M, Torres-Ronda L, Loturco I, Harry J, Virgile A, et al. Selecting metrics that matter: comparing the use of the countermovement jump for performance profiling, neuromuscular fatigue monitoring, and injury rehabilitation testing. *Strength Cond J.* 2023;45:545–53.
2. Di Domenico F, Esposito G, Aliberti S, D'Elia F, D'Isanto T. Determining the Relationship between Squat Jump Performance and Knee Angle in Female University Students. *J Funct Morphol Kinesiol.* 2024;9(1):26.

3. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Cuadrado-Peñafiel V, Conceição F, González-Badillo JJ, Morin JB. Effect of countermovement on power–force–velocity profile. *Eur J Appl Physiol*. 2014 Oct 16;114(11):2281–8.
4. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(9):1725–34.
5. López-Chicharro J, Fernández-Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 4ª. Editorial médica Panamericana; 2023. 181 p.
6. Haff GG, Triplett NT. Essentials of strength training and conditioning . NSCA - National Strength and Conditioning Association. 2016;2–9.
7. Rodríguez-Rosell D, Mora-Custodio R, Franco-Márquez F, Yáñez-García JM, González-Badillo JJ. Traditional vs. Sport-specific vertical jump tests: Reliability, validity, and relationship with the legs strength and sprint performance in adult and teen soccer and basketball players. *J Strength Cond Res*. 2017;31(1):196–206.
8. Turner AN, Jeffreys I. The Stretch-Shortening Cycle Proposed Mechanisms and Methods for Enhancement. *Strength Cond J*. 2010;32(4):87–99.
9. Pedley JS, Lloyd RS, Read P, Moore IS, Oliver JL. Drop Jump: A Technical Model for Scientific Application. *Strength Cond J*. 2017;39(5):36–44.
10. Van-Hooren B, Zolotarjova J. The difference between countermovement and squat jump performances: A review of underlying mechanisms with practical applications. *J Sports Sci*. 2017;38(19):2273–8.
11. Domire ZJ, Challis JH. An induced energy analysis to determine the mechanism for performance enhancement as a result of arm swing during jumping. *Sports Biomech*. 2010;9(1):38–46.
12. Louder T, Thompson BJ, Bressel E. Association and Agreement between Reactive Strength Index and Reactive Strength Index-Modified Scores. *Sports*. 2021;9(7):97.
13. Ebben WP, Petushek EJ. Using the Reactive Strength Index Modified to Evaluate Plyometric Performance. *J Strength Cond Res*. 2010;24(8):1983–7.
14. Vescovi JD, McGuigan MR. Relationships between sprinting, agility, and jump ability in female athletes. *J Sports Sci*. 2008;26(1):97–107.
15. Barnes JL, Schilling BK, Falvo MJ, Weiss LW, Creasy AK. Relationship of jumping and agility performance in female volleyball athletes. *J Strength Cond Res*. 2007;21(4):1192–6.
16. Markwick WJ, Bird SP, Tufano JJ, Seitz LB, Haff GG. The intraday reliability of the reactive strength index calculated from a drop jump in professional men's basketball. *Int J Sports Physiol Perform*. 2015;10(4):482–8.
17. Noyes FR, Barber-Westin SD, Fleckenstein C, Walsh C, West J. The drop-jump screening test: Difference in lower limb control by gender and effect of neuromuscular training in female athletes. *American Journal of Sports Medicine*. 2005;33(2):197–207.
18. Valenzuela PL, McGuigan M, Sánchez-Martínez G, Torrontegi E, Vázquez-Carrión J, Montalvo Z, et al. Reference power values for the jump squat exercise in elite athletes: A multicenter study. *J Sports Sci*. 2020;38(19):2273–8.
19. Johansson F, Asker M, Malmberg A, Fernandez-Fernandez J, Warnqvist A, Cools A. Eccentric and Isometric Shoulder Rotation Strength and Range of Motion: Normative Values for Adolescent Competitive Tennis Players. *Front Sports Act Living*. 2022;4.

20. James LP, Haff GG, Kelly VG, Beckman EM. Towards a Determination of the Physiological Characteristics Distinguishing Successful Mixed Martial Arts Athletes: A Systematic Review of Combat Sport Literature. *Sports Medicine*. 2016;46(10):1525–51.
21. Martín-Miguel I, Escudero-Tena A, Sánchez-Alcaraz BJ, Courel-Ibáñez J, Muñoz D. Physiological, physical and anthropometric parameters in padel: A systematic review. *Int J Sports Sci Coach*. 2024.
22. Prieske O, Chaabene H, Puta C, Behm DG, Büsch D, Granacher U. Effects of drop height on jump performance in Male and female elite adolescent handball players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(5):674–80.
23. Vargas-Molina S, García-Sillero M, Kreider RB, Salinas E, Petro JL, Benítez-Porres J, et al. A randomized open-labeled study to examine the effects of creatine monohydrate and combined training on jump and scoring performance in young basketball players. *J Int Soc Sports Nutr*. 2022;19(1):529–42.
24. Komi PV, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports*. 1978;10(4):261–5.
25. Philipp NM, Cabarkapa D, Nijem RM, Blackburn SD, Fry AC. Vertical Jump Neuromuscular Performance Characteristics Determining On-Court Contribution in Male and Female NCAA Division 1 Basketball Players. *Sports*. 2023;11(12).
26. Soler-López A, García-de-Alcaraz A, Moreno-Villanueva A, Pino-Ortega J. Concurrent Validity and Reliability of Devices to Measure Jump Height in Men's Handball Players. *Sensors*. 2022;22(23).
27. Glatthorn JF, Gouge S, Nussbaumer S, Stauffacher S, Impellizzeri FM, Maffiuletti NA. Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res*. 2011;25(2):556–60.
28. Bobbert MF, Casius LJR. Is the effect of a countermovement on jump height due to active state development? *Med Sci Sports Exerc*. 2005 Mar;37(3):440–6.
29. Markovic G, Dizdar D, Jukic I, Cardinale M. Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *J Strength Cond Res*. 2004;18(3):551–5.
30. Montoro-Bombú R, Sarmiento H, Buzzichelli C, Moura NA, Gonzáles Badillo JJ, Santos A, et al. Methodological considerations for determining the volume and intensity of drop jump training. A systematic, critical and prepositive review. *Front Physiol*. 2023;14.
31. McBride JM, Nimphius S. Biological system energy algorithm reflected in sub-system joint work distribution movement strategies: influence of strength and eccentric loading. *Sci Rep*. 2020;10(1).
32. Harper DJ, Cohen DD, Rhodes D, Carling C, Kiely J. Drop jump neuromuscular performance qualities associated with maximal horizontal deceleration ability in team sport athletes. *Eur J Sport Sci*. 2022;22(7):1005–16.
33. Arundale AJH, Kvist J, Häggglund M, Fältström A. Jump performance in male and female football players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*. 2020;28(2):606–13.
34. Douglas J, Pearson S, Ross A, McGuigan M. Reactive and eccentric strength contribute to stiffness regulation during maximum velocity sprinting in team sport athletes and highly trained sprinters. *J Sports Sci*. 2020;38(1):29–37.
35. Wilson JM, Loenneke JP, Jo E, Wilson GJ, Zourdos MC, Kim JS. The Effects of Endurance, Strength, and Power Training on Muscle Fiber Type Shifting. *J Strength Cond Res*. 2012;26(6):1724–9.

36. Barker LA, Harry JR, Mercer JA. Relationships Between Countermovement Jump Ground Reaction Forces and Jump Height, Reactive Strength Index, and Jump Time. *J Strength Cond Res.* 2018;32(1):248–54.
37. Martín-Miguel I, Torrontegi-Ronco E, Martínez-Ortega JD, Moreno-Martín A, Montalvo-Zenarruzabeitia Z. Relative Values of Maximal Isometric Strength in Lower Limbs Across Different Sports Disciplines in High-Performance Athletes. *J Strength Cond Res.* 2025;39(8):982–990.