



Efectos de un entrenamiento neuromuscular basado en la mejora del patrón de salto y aterrizaje en jugadoras de balonmano adolescentes

Effects of a neuromuscular training program based on the improvement of jump-landing mechanics in adolescent female handball players

Autores

Maria Cadens Roca ¹
 Antoni Planas Anzano ¹
 Xavier Peirau Terés ¹
 Ariadna Benet Vigo ²
 Azahara Fort-Vanmeerhaeghe ^{2,3}

¹ Universidad de Lleida (España)

² Universidad Ramon Llull –
 Blanquerna (España)

³ Siglo XXI. Federación Catalana de
 Baloncesto (España)

Autor de correspondencia:

Maria Cadens Roca
 mcadens@gencat.cat

Cómo citar en APA

Cadens Roca, M., Planas Anzano, A., Peirau Terés, X., Benet Vigo, A., & Fort Vanmeerhaeghe, A. (2025). Efectos de un entrenamiento neuromuscular basado en la mejora del patrón de salto y aterrizaje en jugadoras de balonmano adolescentes. *Retos*, 70, 805-823. <https://doi.org/10.47197/retos.v70.103383>

Resumen

Introducción: El balonmano presenta un alto riesgo de lesión del ligamento cruzado anterior durante el aterrizaje después de un salto.

Objetivo: Evaluar los efectos de un programa de entrenamiento neuromuscular de ocho semanas en jugadoras de balonmano adolescentes, con un enfoque especial en mejorar el patrón de salto y aterrizaje.

Metodología: Diseño preexperimental de grupos paralelos con medidas repetidas. La muestra fue compuesta por 15 jugadoras de entre 12 y 13 años, divididas en dos grupos según la fase madurativa. Ambos grupos realizaron el mismo programa de entrenamiento neuromuscular. Se utilizó una batería de pruebas para determinar el rendimiento en salto, cambio de dirección y sprint, y para determinar las asimetrías entre las extremidades inferiores: salto unilateral vertical, horizontal y lateral, Tuck Jump Assessment (prueba estandarizada de análisis del patrón de salto y aterrizaje), cambios de dirección de 90° y 180° y sprint lineal de 10 m.

Resultados: Se observaron mejoras significativas en la puntuación total del Tuck Jump Assessment y en variables de rendimiento físico (saltos unilaterales y sprint). Las jugadoras en fase madurativa media mostraron una respuesta más positiva al programa en comparación a las jugadoras de maduración tardía.

Discusión: Los resultados obtenidos en este estudio coinciden con investigaciones previas que han demostrado mejoras en el rendimiento de salto y esprint tras programas de entrenamiento pliométrico en jóvenes deportistas.

Conclusiones: El programa propuesto demostró ser efectivo en reducir riesgos y mejorar el rendimiento, resaltando la importancia de la adaptación del entrenamiento a la madurez de las jugadoras.

Palabras clave

Balonmano; entrenamiento neuromuscular; fase madurativa; ligamento cruzado anterior; mujer; pliometría.

Abstract

Introduction: Handball poses a high risk of anterior cruciate ligament injury during landing after a jump.

Objective: To assess the effects of an eight-week neuromuscular training program in adolescent female handball players, with a specific focus on improving jump and landing patterns.

Methodology: Pre-experimental parallel-group design with repeated measures. The sample consisted of 15 female handball players aged 12 to 13, divided into two groups based on maturation phase. Both groups underwent the same neuromuscular training program. A test battery was employed to evaluate performance in jump, change of direction, and sprint actions, as well as to determine asymmetries between lower limbs: unilateral vertical, horizontal, and lateral jumps, Tuck Jump Assessment (standardized test for the analysis of jumping and landing technique), 90° and 180° directional changes, and a 10m linear sprint.

Results: Significant improvements were observed in the total score of the Tuck Jump Assessment and in physical performance variables (unilateral jumps and sprint). Players in the mid-maturation phase displayed a more positive response to the training program compared to late-maturing players.

Discussion: The results obtained in this study are consistent with previous research that has shown improvements in jump and sprint performance following plyometric training programs in young athletes.

Conclusions: The proposed program proved effective in reducing risks and enhancing performance, underscoring the importance of tailoring training to the maturation stage of the players.

Keywords

Anterior cruciate ligament; handball; maturation phase; neuromuscular training; plyometrics; woman.

Introducción

El balonmano es un deporte dinámico y de alto impacto que involucra movimientos explosivos, particularmente saltos y cambios de dirección realizados en su mayoría con una sola pierna. La repetición de estas acciones unipodales, en particular los saltos, en un contexto deportivo tan específico, puede dar lugar a adaptaciones neuromusculares que provocan asimetrías en las extremidades inferiores (Dos'Santos et al., 2020).

Los tipos de saltos y aterrizajes en deportes como el balonmano están condicionados por diversos factores: las limitaciones impuestas por el reglamento (como la restricción de realizar solo tres pasos con el balón en las manos), la ejecución simultánea de otras habilidades técnicas (por ejemplo, recibir un balón en el aire), y la posición de los compañeros u oponentes en el espacio. Estas condiciones aumentan la probabilidad de adoptar posturas de riesgo durante el salto y, especialmente en la fase de aterrizaje. Una de las más asociadas a la lesión del ligamento cruzado anterior (LCA) implica una posición de valgo de la rodilla en flexión, combinada con una rotación interna de la tibia en respecto al fémur (Hewett & Myer, 2011; Maniar et al., 2022). Este mecanismo puede ir acompañado de una inclinación ipsilateral y rotación contralateral del tronco, una abducción de la cadera y una rotación externa del pie (Della Villa et al., 2020).

Las lesiones del ligamento cruzado anterior (LCA) son frecuentes en el balonmano, especialmente entre las jugadoras adolescentes (LaBella et al., 2014). Aproximadamente el 50% de las lesiones del LCA en el balonmano practicado por mujeres se relacionan con el proceso de aterrizaje (Takahashi et al., 2019).

Durante estas acciones de aterrizaje, es común observar una escasa flexión de la rodilla y cadera. (Bencke et al., 2018) junto con un incremento en el valgo de la rodilla (Hewett et al., 2005). Estos déficits biomecánicos y de control neuromuscular y, en consecuencia, la disminución en la calidad del movimiento, se asocian con cargas de impacto significativamente más elevadas en la articulación de la rodilla y tensiones mecánicas durante el aterrizaje. Cuando estas tensiones superan el umbral de tolerancia del ligamento, aumenta el riesgo de una lesión del LCA (Donelon et al., 2020). Además, en las jugadoras adolescentes, después de haber superado la edad del punto máximo de velocidad de crecimiento (PHV), estos déficits neuromusculares se acentúan. Esto se debe a su menor capacidad para desarrollar el sistema neuromuscular en comparación con el sistema musculoesquelético (Hewett et al., 2005).

Para reducir el impacto del aterrizaje y, por consiguiente, disminuir el riesgo de lesión del LCA en jugadoras de balonmano, se han desarrollado diversas estrategias de entrenamiento neuromuscular que engloban múltiples componentes, incluyendo carrera, fuerza, equilibrio, agilidad y pliometría (Cadens et al., 2021). Diversas revisiones, como las de Petushek et al. (2019), Taylor et al. (2015) y Yoo et al. (2010), llegan a la conclusión que la combinación de entrenamiento de fuerza y pliometría es la más efectiva para disminuir el riesgo de lesión del LCA en niñas adolescentes. El entrenamiento pliométrico se fundamenta en el desarrollo del ciclo estiramiento-acortamiento (CEA), que implica la ejecución rápida de una fase de estiramiento muscular (acción excéntrica) para mejorar la siguiente fase de acortamiento (acción concéntrica) (Suchomel et al., 2019).

Estudios previos han demostrado que este tipo de entrenamiento contribuye a disminuir las fuerzas de impacto en el aterrizaje, así como los momentos de abducción y aducción de la rodilla (Hewett et al., 1996), y mejora la fuerza de los isquiotibiales (Wilkerson et al., 2004). Además, se han observado mejoras en el rendimiento de salto (Chelly et al., 2014; Saez de Villareal et al., 2023), cambios de dirección (Gaamouri et al., 2023; Hammami et al., 2020) y sprints (Chelly et al., 2014; Hammami et al., 2020) en jugadoras adolescentes de balonmano. Esta dualidad en los efectos del entrenamiento pliométrico permite comprender su implementación con un propósito doble: disminuir los factores de riesgo y aumentar el rendimiento. Esta estrategia es beneficiosa ya que exige un compromiso de tiempo mínimo y genera una motivación inherente para cumplir con el programa de entrenamiento (Noyes & Barber Westin, 2012).

En el proceso de implementación del entrenamiento pliométrico en etapas de maduración, se recomienda, en primer lugar, priorizar el aprendizaje de la técnica de aterrizaje tras un salto (Lloyd et al., 2011). Myer et al. (2008) observaron que los deportistas con patrones de salto y aterrizaje inadecuados tenían un mayor riesgo de lesión del LCA. Es esencial prestar atención en una ejecución segura, lo que



implica posicionar el centro de masas en relación con la base de apoyo y alinear las articulaciones adecuadamente para absorber la carga (Brewer, 2017). Posteriormente, se puede avanzar hacia ejercicios de mayor intensidad y velocidad, teniendo en cuenta que el aterrizaje requiere que la jugadora controle las fuerzas de reacción del suelo que pueden ser de 3 a 14 veces su peso corporal o incluso más, dependiendo de la trayectoria de vuelo, el tiempo y la velocidad del centro de masas (Mojaddarasil & Sadigh, 2021).

En la literatura se han identificado tres estudios (Cadens et al., 2021) donde se ha aplicado un programa de entrenamiento para la prevención de la lesión del LCA en jugadoras de balonmano adolescentes, que combina la pliometría con otros componentes como fuerza, equilibrio, carrera y agilidad (Achenbach et al., 2018; Olsen et al., 2005; Zebis et al., 2016). Resulta difícil identificar cuál de estos componentes es el principal responsable de los resultados obtenidos. Estos programas tampoco han tenido en cuenta la edad madurativa de las jugadoras ni la capacidad de respuesta en función de su proceso de maduración. Por otro lado, los estudios que se centran en la pliometría como método de entrenamiento en jugadoras de balonmano se enfocan únicamente en la mejora del rendimiento del salto (Ramirez-Campillo et al., 2020) sin considerar su implicación en la reducción del riesgo de lesiones.

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de un programa de entrenamiento neuromuscular con una duración de ocho semanas, centrado en mejorar el patrón de salto y aterrizaje, sobre factores biomecánicos y neuromusculares relacionados con el riesgo de lesión del LCA (Tuck Jump Assessment y asimetría entre extremidades inferiores). De forma secundaria, también se evaluó su impacto en el rendimiento físico (salto, sprint y cambio de dirección) en jugadoras de balonmano adolescentes. Por último, se compararon los efectos del programa según la edad de maduración de las participantes.

Método

Participantes

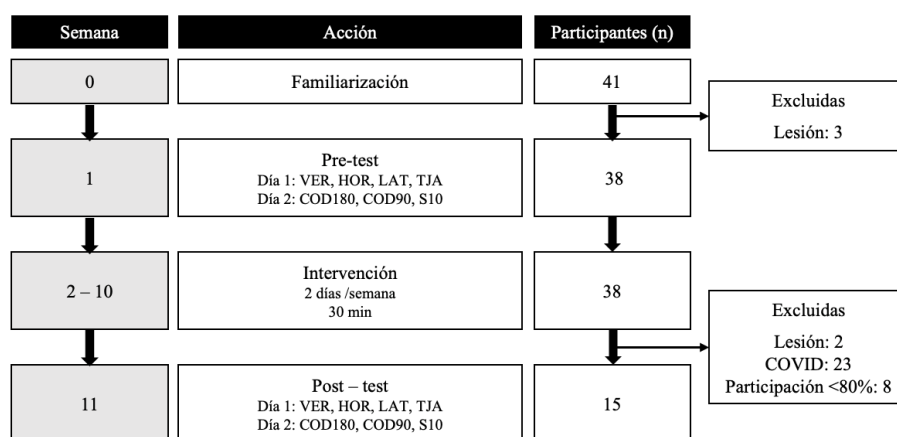
Quince jugadoras de balonmano participaron voluntariamente en este estudio (edad: 13.19 ± 0.44 años; estatura: 161.07 ± 9.00 cm, peso corporal: 50.81 ± 11.42 kg; años para PHV: 1.04 ± 0.78 años) (Tabla 1). Como criterios de inclusión, se estableció que las jugadoras estuvieran federadas, compitieran en la categoría U-12, entrenaran un mínimo de tres días a la semana con su equipo y pudieran participar durante todo el periodo de intervención. Las jugadoras fueron excluidas del estudio si no habían realizado más del 80% de los entrenamientos o presentaban algún tipo de lesión (sobresuso o aguda) o enfermedad el día de las evaluaciones (Figura 1). Todas las participantes y sus respectivos tutores legales fueron informados de los procedimientos, métodos, beneficios y posibles riesgos de participar en el estudio antes de dar su consentimiento por escrito (tutores). Este estudio se llevó a cabo siguiendo las directrices de la Declaración de Helsinki y fue aprobado por el comité de ética de la Secretaria General de l'Esport de Catalunya (20/2019/CEICEGC).

Tabla 1. Datos descriptivos de las participantes (media $\pm$ desviación estándar)

Variable	Total (n = 15)	Circa-PHV (n = 8)	Post-PHV (n = 7)	Valor p
Edad cronológica (años) ^a	13.19 ± 0.44	12.90 ± 0.29	13.51 ± 0.35	.003
Edad biológica ^a	1.04 ± 0.78	0.41 ± 0.26	1.75 ± 0.47	<.001
Masa corporal (kg) ^a	50.81 ± 11.42	41.26 ± 2.74	61.71 ± 5.93	<.001
Estatura (cm) ^a	161.07 ± 9.00	154.25 ± 5.93	168.86 ± 4.60	<.001
IMC (kg/m ²) ^b	31.34 ± 1.46	26.79 ± 2.23	36.53 ± 3.15	.006
Experiencia (años) ^a	3.13 ± 1.46	3.13 ± 1.36	3.14 ± 1.68	.982

^aPrueba t ^bManm Whitney

Figura 1. Diagrama de flujo de la participación de las jugadoras



Procedimiento

El estudio tuvo un diseño preexperimental de grupos paralelos con medidas repetidas, ya que no hubo aleatorización. Se utilizó una batería de pruebas para determinar el rendimiento en las acciones de salto, cambio de dirección y sprint, y para determinar las asimetrías entre las extremidades inferiores: salto unilateral vertical (VER), salto unilateral horizontal (HOR), salto unilateral lateral (LAT), Tuck Jump Assessment (TJA), cambios de dirección de 90° (COD90), cambios de dirección de 180° (COD180) y sprint lineal de 10 m (S10).

La muestra se dividió en dos grupos (Tabla 1) según la fase madurativa en la que se encontraban en el momento de la recopilación de datos: maduración media (circa-PHV), definida como ± 1 año desde el PHV, y maduración tardía (post-PHV), más de 1 año después del PHV (Sherar et al., 2005). Para calcular la edad biológica, se registraron cuatro variables para cada jugadora: edad cronológica, estatura, estatura sentada y peso corporal. Estas variables se utilizaron para calcular el PHV siguiendo la ecuación de regresión propuesta por Mirwald et al. (2002).

El período de entrenamiento duró ocho semanas y se llevó a cabo en el contexto de los entrenamientos habituales de la temporada. Las pruebas se realizaron en dos días no consecutivos: la semana anterior al inicio del período de entrenamientos (pretest) y la semana posterior a su finalización (postest) (Figura 1). Previamente, todas las jugadoras realizaron sesiones de familiarización, donde practicaron las pruebas un número ilimitado de veces hasta alcanzar un nivel técnico satisfactorio, con el fin de minimizar el efecto de aprendizaje. En cada una de las sesiones de evaluación, las jugadoras realizaron un protocolo de calentamiento de 10 minutos basado en el modelo RAMP (Jeffreys, 2019). En la fase de potenciación se realizaron tres repeticiones de cada tipo de prueba a intensidades progresivas (50% - 70% - 100% de esfuerzo percibido). Posteriormente se otorgaron tres minutos de descanso antes de comenzar las pruebas, que se administraron de manera aleatoria. Para cada prueba, se registraron tres intentos exitosos, separados por 180 segundos de descanso. El promedio de los tres intentos se utilizó para el análisis posterior. Durante la primera sesión, se recogió la fecha de nacimiento y los datos antropométricos (estatura, estatura sentada y peso corporal) y se realizaron las pruebas de salto en el siguiente orden: salto unilateral vertical, horizontal, lateral y TJA. En la segunda sesión, se realizaron las pruebas de velocidad: esprint lineal de 10 metros y cambios de dirección de 90° y 180°.

Programa de entrenamiento - intervención

Las jugadoras realizaron dos sesiones de entrenamiento semanal de 30 minutos cada una, no consecutivas, durante ocho semanas. Se centró en la adaptación de la jugadora a las fases excéntricas y el aprendizaje de las posiciones del aterrizaje (semana 1 y 2), antes de avanzar en el desarrollo de la fuerza concéntrica sin preocuparse tanto por el aterrizaje, manteniendo una separación entre la fase concéntrica y excéntrica (semana 3 y 4), para aumentar la complejidad y llegar a combinar el desarrollo excéntrico y concéntrico dentro del mismo movimiento, permitiendo que la parte del aterrizaje fuera más intensa (semana 5 y 6) y finalmente, agregar la continuidad y la variación del salto teniendo en cuenta el tiempo de contacto y el tiempo de vuelo (semana 7 y 8) (Tabla 2). Los criterios de progresión del

programa de entrenamiento se basaron en los principios fundamentales del aterrizaje (Tabla 3) y en las recomendaciones del entrenamiento pliométrico de investigaciones previas (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016; Lloyd et al., 2011). Los componentes de la carga fueron similares a los resultados de las revisiones sistemáticas de Bedoya et al. (2015) y de Johnson et al. (2011) (Tabla 4).

Tabla 2. Componentes del entrenamiento neuromuscular basado en el salto y el aterrizaje

S	Fase	Ejercicios día 1	Ejercicios día 2	Progresión	Observaciones
1	Patrones motores básicos (triple flexión y extensión en tren inferior)	A1 squat A2 tall to short B1 split B2 tall to short giro 90° C1 puente gluteo C2 tall to short split	A1 squat cambio de peso A2 tall to short (de 2 a 1 apoyos) B1 split con brazos estirados B2 tall to short (de 1 a 1 con la misma ei) C1 movimiento de bisagra de cadera en pared C2 tall to short (de 1 a 1 con diferente ei)	Control en los patrones de movimiento básicos Se mantiene estable en una pierna después de realizar el aterrizaje	Ej.1: Ejercicios destinados a desarrollar patrones de movimiento competentes y de fuerza general. Ej.2: Ejercicios específicos para la fase de aterrizaje.
	Adaptación de la jugadora a las fuerzas excéntricas	A1 squat fase EXC 1 ei fase CON 2A1 squat fase EXC 2 eei fase CON 1 ei			Introducción progresiva al aterrizaje unilateral: 1) impulso y salto con la misma ei y 2) impulso con una ei y aterrizaje con la otra ei
2	Aprendizaje de las posiciones de aterrizaje	A2 drop 30cm (variar distancia) B1 lunge frontal B2 drop 30cm lateral C1 puente gluteo 1 ei C2 drop giro 90°	A2 drop 1 ei B1 lunge atrás B2 drop lateral 1 ei C1 angel C2 drop giro 90° 1 ei		
		A squat ISO 3" + salto vertical (aterrizaje 2 eei) B squat ISO 3" + salto giro 90° (aterrizaje 2 eei) C squat ISO 3" 1 ei + salto vertical (aterrizaje 1 ei) D squat ISO 3" 1 ei + salto con giro 90° (aterrizaje 1 ei)	A squat ISO 3" + salto frontal o lateral (aterrizaje 2 eei) B squat ISO 3" 1 ei + salto con la misma ei lateral o horizontal C squat ISO 3" 1 ei iso + alternar ei D "pogos" en el sitio	Tiene un buen control de la fase excéntrica	Todos los aterrizajes se mantienen durante 3" para ayudar al desarrollo de una técnica de aterrizaje correcta (Tabla 3).
3	Desarrollo fuerza isométrica + concéntrica	A squat ISO 3" + salto a cajón 30 cm (aterrizaje 2 eei) B squat ISO 3" + salto a cajón 30 cm (aterrizaje 1 ei) C squat ISO 3" 1 ei + salto frontal a cajón 30 cm (aterrizaje misma ei) D "pogos" desplazamiento frontal	A squat ISO 3" + salto lateral a cajón 30 cm (aterrizaje 2 eei) B squat ISO 3" 1 ei + salto a cajón 30 cm con giro 90° (aterrizaje 2 eei) C squat ISO 3" 1 ei + salto lateral a cajón 30 cm (aterrizaje misma ei) D "pogos" desplazamiento lateral	Intención en fase concéntrica	Foco en realizar la acción planificada con la máxima intención. Introducción "pogos"
4	Separación fase concéntrica y excéntrica	A tall to short + 2x salto vertical 2 eei B tall to short + 2x salto horizontal 2 eei C tall to short 1 ei + 2x salto vertical 1 ei D tall to short 1 ei + 2x salto horizontal 1 ei	A tall to short + 2x salto lateral 2 eei B tall to short + 2x salto giro 90° 2 eei C tall to short 1 ei + 2x salto lateral abierto 1 ei D tall to short 1 ei + 2x salto lateral cruzado 1 ei	Correcta disociación entre fase excéntrica y concéntrica	Aumento complejidad introduciendo la combinación de saltos (salto con dos eei, salto con la misma ei, impulso y recepción con diferente ei) dentro de la misma secuencia.
	Combinar desarrollo excéntrico y concéntrico dentro del mismo movimiento	A tall to short + 3x salto combo 2 eei B tall to short 1 ei + 3x salto vertical giro 90° 1 ei C tall to short 1 ei + 3x salto diagonal (ziga-zaga) misma ei D tall to short 1 ei + 3x alternar ei horizontal	A tall to short + 3x salto combo 2 eei B tall to short 1 ei + 3x salto combo misma ei C tall to short 1 ei + 3x alternar ei lateral D tall to short 1 ei + alternar ei frontal + 2x salto combo misma ei	Mantiene un equilibrio dinámico al finalizar la combinación de saltos (aterrizaje)	Aumento intensidad con el aumento de las fuerzas de aterrizaje. Introducción estímulos genéricos no previstos (auditivos o visuales)
5		A 4x salto 2 eei cuadrado (frontal - lateral - atrás - lateral) 90° B 4x salto 2 eei cuadrado giro 90° C 4x combo salto misma ei D 4x combo alternar ei	A 4x salto 2 eei diagonal (ziga-zaga) B 4x salto misma ei cuadrado giro 90° C 4x salto misma ei ziga-zaga D 4x salto combo (misma ei + alternar ei)	Mantiene un equilibrio dinámico al finalizar la combinación de saltos (aterrizaje)	Foco en reducir el tiempo de contacto para realizar la acción posterior.
	Continuidad y variación (tiempo de contacto y tiempo de vuelo)	A "espejo" 4x combo salto 2 eei B "espejo" 4x combo salto misma ei C "espejo" 4x combo alternar ei D "espejo" 4x combo saltos + direcciones + giros	A 4x combo salto 2 eei B 4x combo salto misma ei C 4x combo alternar ei D 4x combo saltos + direcciones + giros Todos los saltos van con una recepción de balón en la fase aérea	Respuesta activa a los estímulos específicos	Foco en realizar la acción no planificada con la máxima intención. Introducción estímulos específicos (imitar compañera, recepción balón).
6					
7					
8					

S: semana; ei: extremidad inferior; EXC: excéntrica; CON: concéntrica; ISO: isométrica; combo: combinación de diferentes direcciones (frontal, vertical, lateral)



Tabla 3. Principios fundamentales del aterrizaje y justificaciones de las indicaciones del entrenamiento

Principios fundamentales del aterrizaje		Indicaciones durante el entrenamiento.
		Justificación
		“triple flexión: cadera – rodilla – tobillo”
Prepararse activamente para el contacto con la rodilla (Podraza & White, 2010), cadera (Mojaddarasil & Sadigh, 2021) y del tobillo (Kovács et al., 1999) en el contacto inicial.	Las mayores fuerzas de reacción sobre el suelo se han asociado a un menor ángulo de flexión de la rodilla (Podraza & White, 2010), cadera (Mojaddarasil & Sadigh, 2021) y del tobillo (Kovács et al., 1999) en el contacto inicial.	
	La triple flexión ayuda a una mayor absorción de la energía muscular en la articulación de la extremidad inferior reduciendo la carga de los tejidos pasivo como el LCA (Sell et al., 2007).	
	Un patrón de aterrizaje con poca flexión muestra mayores ángulos de valgo de rodilla (Pollard et al., 2010).	
		“pies separados a la anchura de los hombros”
No descuidar el movimiento del tronco. Tronco levantado y mirando hacia delante. Hombros y caderas alineadas	Un aumento de la flexión lateral del tronco y la rotación hacia la pierna de apoyo están relacionados con un aumento del momento de valgo en las acciones de aterrizaje (Dempsey et al., 2012).	
		“rodillas alineadas con los dedos de los pies”
Mínimo valgo de rodilla	El momento combinado de rotación interna de la tibia y el valgo de la rodilla aumentan sustancialmente la tensión del LCA (Shin et al., 2011). Una distribución equitativa de las fuerzas de impacto entre los compartimientos medial y lateral puede reducir la tensión del impacto (Mothersole et al., 2013).	
	El aumento de la carga en el plano frontal de la rodilla puede predecir las lesiones del LCA (Hewett et al., 2005).	
		“aterrizaje suave pero duro”
Contacto con el suelo desde la parte delantera del pie en el talón	La fuerza de reacción vertical sobre el suelo aterrizando con el talón era 3,4 veces mayor que en un aterrizaje con la parte delantera del pie (Kovács et al., 1999). Los aterrizajes de talón tienen un efecto perjudicial en el tiempo necesario en la transducción del aterrizaje a la propulsión (Dæhlin & Chiu, 2019).	

Tabla 4. Componentes de la carga del entrenamiento neuromuscular

S	Día	Sesión	Intensidad (1-5) (según componente ECX y número de apoyos)	Puntos de apoyo		Fases		Series x repeticiones	Impactos totales
				1 ei	2 eei	Foco en fase	Función de la fase ECX		
1	1	1	1	3	0	ECX+	Almacenamiento	2x6	0
	2	2	1	0	3			2x6	0
2	1	3	2	3	0	ECX++		2x6	36
	2	4	2	0	3			2x6	36
3	1	5	2	2	2	ISO + CON++		2x4	48
	2	6	2	2	2			2x4	48
4	1	7	3	2	2			2x4	48
	2	8	3	3	1			2x4	48
5	1	9	3	2	2			2x4	64
	2	10	3	2	2			2x4	64
6	1	11	4	1	3	ECX+ + CON++	Absorción y disipación	2x4	96
	2	12	4	1	3			2x4	96
7	1	13	4	2	2			2x4	128
	2	14	5	1	3			2x4	128
8	1	15	5	1	3	ECX++ + CON++		2x4	128
	2	16	5	1	3			2x4	128

S: semana; ECX: excéntrico; ISO: isométrico; CON: concéntrico; ei: una extremidad inferior; eei: dos extremidades inferiores; +: foco bajo; ++: foco alto

Mediciones

Salto unilaterales verticales, horizontales y laterales

La capacidad de salto vertical con una pierna (VER) se calculó con una plataforma de contacto (Chronojump boscosystem, Barcelona). La altura del salto se midió en centímetros a partir del tiempo de vuelo (Bosco et al., 1983). Para calcular la distancia del salto unilateral horizontal (HOR) y lateral (LAT) se utilizó una cinta métrica fijada en el suelo. Se indicó a cada jugadora que se sostuviera con la pierna designada, las manos en la cadera y la otra pierna flexionada 90°. Cuando la jugadora estaba lista, debía realizar un contramovimiento a una profundidad autoseleccionada antes de saltar lo más alto o lejos posible. También se les indicó que aterrizasen con ambos pies simultáneamente.



Tuck Jump Assessment (TJA)

Para analizar la técnica de salto y aterrizaje, se registró la prueba con dos cámaras (iPad 5 e iPhone 6s, Apple, Inc., EE.UU.) a la altura de la cadera de la jugadora. Una cámara estaba alineada a tres metros en el plano sagital y la otra estaba alineada a tres metros en el plano frontal. Antes de iniciar la prueba, se mostró a las jugadoras un video y una demostración en vivo de la técnica correcta de salto. Se indicó a cada jugadora que colocara los pies en un rectángulo de 41 cm de longitud por 35 cm de ancho marcado en el suelo. Cada participante realizó saltos continuos durante 10 s después de recibir las instrucciones básicas sobre cómo llevar a cabo la prueba. Esto incluía: 1) saltos máximos y continuos, 2) levantar las rodilla por encima de la altura de las caderas y 3) aterrizar en el mismo rectángulo con los pies separados al ancho de los hombros (Myer et al., 2008). Para permitir un seguimiento visible de las rodillas, las jugadoras debían llevar pantalones cortos y calzado deportivo. El TJA se puntuó mediante la versión modificada (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2017). Dos evaluadoras (AB y MC), especialistas en entrenamiento de fuerza con más de ocho años de experiencia previa en las evaluaciones del TJA modificado, analizaron y puntuaron de manera independiente cada uno de los criterios de la versión modificada del TJA. Se permitió reproducir los vídeos tantas veces como fuera necesario y a diferentes velocidades. Si había un desacuerdo en la puntuación asignada entre las evaluadoras, una tercera evaluadora con mayor experiencia (AF) decidía la puntuación final.

Cambios de dirección de 90° y 180° (COD90 y COD180)

Los tiempos en las pruebas de cambio de dirección se midieron con fotocélulas (Chronojump, BoscoSystem), ubicadas a una altura de 0.65 m y colocadas en la línea de salida y llegada. La jugadora iniciaba la prueba con un pie a una distancia de 0.5 m de la línea de salida y debía recorrer cinco metros en línea recta y realizar un giro de 90° (COD90) o 180° (COD180) utilizando la extremidad inferior derecha o izquierda para cambiar de dirección, recorriendo un total de 10 m.

Esprint lineal de 10 metros (S10)

El tiempo en la prueba de sprint se midió con fotocélulas (Chronojump, BoscoSystem), colocadas en la línea de salida y después de los 10 m. El pie delantero se colocó a 0.5 m delante de las fotocélulas de la salida.

Análisis de datos

Se calculó la media y la desviación estándar (DE) para todas las variables. Se verificaron los supuestos de normalidad utilizando la prueba de Shapiro-Wilk. La confiabilidad de las medidas intra-sesión se calculó mediante el coeficiente de correlación interclase (CCI) tipo 2 con un acuerdo absoluto, mostrando los intervalos de confianza (IC) al 95% y el coeficiente de variación (CV). El ICC se interpretó como: pobre (<0.50), moderado ($0.50-0.74$), bueno ($0.75-0.90$) y excelente (>0.90) (Koo & Li, 2016). Los CV se consideraron aceptables si eran $\leq 10\%$ (Turner et al., 2015).

Se utilizó una prueba t de Student para muestras independientes para determinar si existen diferencias significativas entre las mediciones de los grupos circa-PHV y post-PHV.

La magnitud de la asimetría entre extremidades se cuantificó como la diferencia porcentual entre las dos extremidades utilizando la siguiente ecuación: $(100/(\text{valor máximo}(\text{valor mínimo})-1+100))$ (Bishop, Lake, et al., 2018).

Se utilizó un ANOVA de medidas repetidas 2x2 split-pot. (grupo; tiempo) con el grupo como factor entre-sujetos medido en dos niveles (circa-PHV y post-PHV), y el tiempo (mediciones antes y después de la intervención) como factor intra-sujetos.

Se realizaron comparaciones post hoc con la corrección de Bonferroni. Se calculó el tamaño del efecto con eta cuadrado parcial (η^2p) y los valores umbral fueron: sin efecto ($\eta^2p < 0.01$), efecto mínimo ($0.01 < \eta^2p < 0.06$), efecto moderado ($0.06 < \eta^2p < 0.14$) y efecto fuerte ($\eta^2p > 0.14$) (Goss-Sampson et al., 2020).

Para analizar los cambios individuales de cada jugadora de una prueba respecto a la otra, se utilizó la DE y se basó la decisión en si mejoraba (mejor), se mantenía (el mismo) o empeoraba (peor), y también, en si los intervalos de confianza se superponían o no (A. N. Turner, 2022).



Las asociaciones de cada cambio individual (mejor, el mismo o peor) para cada variable con la edad madurativa de las participantes, se analizaron mediante una prueba de chi cuadrado (χ^2) y se calculó la magnitud del efecto con la V de Cramer interpretándola como: irrelevante (<0.1), pequeña ($0.1-0.3$), mediano ($0.31-0.5$) y grande (>0.5) (Cohen, 1988).

El análisis estadístico se realizó con el programa JASP versión 0.17.3, y se estableció la significación estadística en $p < 0.05$.

Resultados

Los valores del ICC fueron moderados para 7 variables (entre 0.56 y 0.74), buenos para 9 variables (entre 0.80 y 0.90) y excelentes para las 28 restantes (entre 0.91 i 1). La mayoría de los coeficientes de variabilidad (5/44) fueron aceptables (entre 1.24% y 8.54%). La consistencia entre intentos en el test VER_I y VER_D para los dos grupos en el momento inicial fue entre el 10.19% y el 16.46% respectivamente. El test HOR_I también obtuvo un CV por encima del 10% (10.99%) en el grupo circa en el momento inicial (Tabla 5).

Tabla 5. Datos de fiabilidad de las variables. Coeficiente de variabilidad (CV) e ICC (95% de IC)

		Circa-PHV (n=8)		Post-PHV (n=7)	
		CV (%)	ICC (95% IC)	CV (%)	ICC (95% IC)
PRE	LAT_I	6.67	0.95 (0.82 – 0.99)	8.54	0.96 (0.84 – 0.99)
	LAT_D	6.58	0.90 (0.68 – 0.98)	6.30	0.97 (0.90 – 1)
POST	LAT_I	6.34	0.82 (0.41 – 0.96)	5.27	0.96 (0.86 – 0.99)
	LAT_D	6.23	0.90 (0.67 – 0.98)	6.08	0.94 (0.74 – 0.99)
PRE	HOR_I	10.99	0.62 (-0.01 – 0.91)	6.06	0.96 (0.86 – 0.99)
	HOR_D	5.93	0.56 (-0.33 – 0.90)	7.07	0.95 (0.83 – 0.99)
POST	HOR_I	3.65	0.96 (0.87 – 0.99)	4.12	0.98 (0.91 – 1)
	HOR_D	5.18	0.92 (0.75 – 0.98)	4.72	0.98 (0.92 – 1)
PRE	VER_I	11.57	0.85 (0.50 – 0.97)	16.46	0.65 (-0.00 – 0.93)
	VER_D	10.19	0.74 (0.22 – 0.94)	16.40	0.57 (-0.28 – 0.91)
POST	VER_I	6.17	0.92 (0.73 – 0.98)	5.51	0.98 (0.93 – 1)
	VER_D	5.88	0.96 (0.85 – 0.99)	5.08	0.91 (0.69 – 0.98)
PRE	COD180_I	3.00	0.68 (-0.01 – 0.93)	1.73	0.97 (0.90 – 1)
	COD180_D	2.77	0.86 (0.56 – 0.97)	2.21	0.97 (0.91 – 1)
POST	COD180_I	2.73	0.80 (0.36 – 0.96)	2.72	0.95 (0.83 – 1)
	COD180_D	3.13	0.58 (-0.30 – 0.90)	3.05	0.97 (0.88 – 0.99)
PRE	COD90_I	2.15	0.87 (0.58 – 0.97)	2.95	0.94 (0.70 – 0.99)
	COD90_D	3.35	0.84 (0.44 – 0.97)	3.03	0.91 (0.69 – 0.98)
POST	COD90_I	2.24	0.93 (0.78 – 0.99)	3.49	0.95 (0.80 – 0.99)
	COD90_D	2.56	0.92 (0.71 – 0.98)	2.02	0.98 (0.93 – 1)
PRE	S10	2.19	0.90 (0.67 – 0.98)	1.76	0.98 (0.93 – 1)
POST	S10	1.24	0.97 (0.89 – 0.99)	1.33	0.99 (0.96 – 1)

LAT_I: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; LAT_D: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; HOR_I: salto unilateral horizontal con la pierna izquierda; HOR_D: salto unilateral horizontal con la pierna derecha; VER_I: salto unilateral vertical con la pierna izquierda; VER_D: salto unilateral vertical con la pierna derecha; COD180_I: cambio de dirección de 180° con la pierna izquierda; COD180_D: cambio de dirección de 180° con la pierna derecha; COD90_I: cambio de dirección de 90° con la pierna izquierda; COD90_D: cambio de dirección de 90° con la pierna derecha; S10: esprint de 10 m

Al inicio, se observaron diferencias significativas entre los dos grupos en todas las variables descriptivas (edad cronológica, edad biológica, peso corporal, estatura e IMC) excepto la experiencia ($p < 0.001$) (Tabla 1).

Cambios del pre al post en los factores de riesgo (Tuck jump y asimetrías)

Hubo diferencias estadísticamente significativas entre momentos en la variable TJA (Tabla 6a). Se observaron efectos de mejora fuertes en la puntuación total del TJA ($F(1,13)=7.008$; $p=0.02$; $\eta^2p=0.35$). El factor de riesgo de asimetría entre momentos disminuyó en las variables ASI_LAT, ASIM_HOR y ASIM_TJA, pero las diferencias no fueron significativas (Tabla 6b). Por el contrario, la asimetría aumentó en las variables ASIM_COD180, ASIM_COD90 y ASIM_VER, siendo un valor significativo entre momentos en esta última ($F(1,13)=7.894$; $p=0.015$ i $\eta^2p=0.378$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos, ni en la interacción grupo x momento en ninguna de las variables estudiadas en relación a los factores de riesgo.



Tabla 6a. Inferencias del programa de entrenamiento sobre los test de salto, cambio de dirección, esprint y Tuck Jump Assessment

	PRE		POST		Significación de los efectos			Evolución	
	Circa-PHV n=8	Post-PHV n=7	Circa-PHV n=8	Post-PHV n=7	Efectos principales		Interacción	Circa-PHV n=8	Post-PHV n=7
					Grupo	Tiempo			
LAT_I	101.67 ± 16.66	104.67 ± 23.09	107.33 ± 9.83	107.19 ± 17.60	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.429$ F=0.036 p=0.852 $\eta^2_p=0.003$	$\bar{X}_{\text{dif}}=4.096$ F=737 p=0.406 $\eta^2_p=0.054$	F=0.108 p=747 $\eta^2_p=0.008$	$\bar{X}_{\text{dif}}=5.666$	$\bar{X}_{\text{dif}}=2.526$
LAT_D	99.38 ± 13.22	106.91 ± 23.11	105.08 ± 13.12	106.71 ± 17.28	$\bar{X}_{\text{dif}}=4.581$ F=0.318 p=0.583 $\eta^2_p=0.024$	$\bar{X}_{\text{dif}}=2.759$ F=0.728 p=0.409 $\eta^2_p=0.053$	F=0.832 p=0.378 $\eta^2_p=0.060$	$\bar{X}_{\text{dif}}=5.709$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.191$
HOR_I	111.96 ± 11.89	114.33 ± 21.92	126.21 ± 14.67	119.38 ± 21.52	$\bar{X}_{\text{dif}}=2.228$ F=0.067 p=0.800 $\eta^2_p=0.005$	$\bar{X}_{\text{dif}}=9.649$ F=9.794 p=0.008 $\eta^2_p=0.430$ IC95% 2.988 – 16.310	F=2.228 p=0.159 $\eta^2_p=0.146$	$\bar{X}_{\text{dif}}=14.251$ t=3.383 p=0.029 d=0.805 IC95% 1.163 – 27.340	$\bar{X}_{\text{dif}}=5.047$
HOR_D	116.58 ± 6.85	113.29 ± 21.48	124.00 ± 15.03	114.67 ± 21.11	$\bar{X}_{\text{dif}}=6.314$ F=0.604 p=0.451 $\eta^2_p=0.044$	$\bar{X}_{\text{dif}}=4.401$ F=1.994 p=0.181 $\eta^2_p=0.133$	F=0.938 p=0.351 $\eta^2_p=0.067$	$\bar{X}_{\text{dif}}=7.429$	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.383$
VER_I	10.20 ± 1.80	9.08 ± 1.39	11.89 ± 1.49	9.16 ± 2.08	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.927$ F=5.883 p=0.031 $\eta^2_p=0.312$ IC95% 0.211 – 3.643	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.887$ F=5.229 p=0.040 $\eta^2_p=0.248$ IC95% 0.049 – 1.725	F=4.282 p=0.059 $\eta^2_p=0.248$	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.690$ t=-3.188 p=0.043 d=0.989 IC95% 0.043 – 3.337	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.084$
VER_D	11.34 ± 1.33	9.48 ± 1.64	13.43 ± 2.23	11.29 ± 1.57	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.505$ F=4.023 p=0.066 $\eta^2_p=0.236$	$\bar{X}_{\text{dif}}=2.453$ F=24.878 p<0.001 $\eta^2_p=0.657$ IC95% 1.390 – 3.515	F=1.679 p=0.218 $\eta^2_p=0.114$	$\bar{X}_{\text{dif}}=3.090$ t=4.499 p=0.003 d=1.782 IC95% 1.002 – 0.672	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.816$
COD180_I	3.05 ± 0.11	2.99 ± 0.21	3.17 ± 0.13	3.12 ± 0.24	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.059$ F=0.499 p=0.492 $\eta^2_p=0.037$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.128$ F=9.779 p=0.008 $\eta^2_p=0.429$ IC95% 0.040 – 0.216	F=0.066 p=0.801 $\eta^2_p=0.005$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.118$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.139$
COD180_D	3.04 ± 0.15	3.02 ± 0.29	3.13 ± 0.09	3.05 ± 0.19	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.051$ F=0.301 p=0.592 $\eta^2_p=0.023$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.060$ F=3.080 p=0.103 $\eta^2_p=0.192$	F=0.935 p=0.351 $\eta^2_p=0.067$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.094$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.027$
COD90_I	2.58 ± 0.11	2.50 ± 0.20	2.55 ± 0.13	2.60 ± 0.24	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.013$ F=0.022 p=0.884 $\eta^2_p=0.002$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.033$ F=1.693 p=0.216 $\eta^2_p=0.115$	F=6.197 p=0.027 $\eta^2_p=0.323$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.030$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.096$
COD90_D	2.56 ± 0.14	2.53 ± 0.17	2.63 ± 0.15	2.61 ± 0.27	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.022$ F=0.061 p=0.808 $\eta^2_p=0.005$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.073$ F=4.077 p=0.065 $\eta^2_p=0.239$	F=0.080 p=0.782 $\eta^2_p=0.006$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.063$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.083$
S10	2.11 ± 0.09	2.12 ± 0.18	2.08 ± 0.09	2.04 ± 0.16	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.017$ F=0.065 p=0.802 $\eta^2_p=0.005$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.054$ F=7.427 p=0.017 $\eta^2_p=0.364$ IC95% 0.011 – 0.097	F=1.649 p=0.221 $\eta^2_p=0.113$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.029$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.080$
TJA	12.13 ± 1.13	13.00 ± 2.00	11.63 ± 1.92	11.43 ± 1.90	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.339$ F=0.170 p=0.687 $\eta^2_p=0.013$	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.036$ F=7.008 p=0.020 $\eta^2_p=0.350$ IC95% 0.191 – 1.881	F=1.875 p=0.194 $\eta^2_p=0.126$	$\bar{X}_{\text{dif}}=0.500$	$\bar{X}_{\text{dif}}=1.571$

LAT_I: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; LAT_D: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; HOR_I: salto unilateral horizontal con la pierna izquierda; HOR_D: salto unilateral horizontal con la pierna derecha; VER_I: salto unilateral vertical con la pierna izquierda; VER_D: salto unilateral vertical con la pierna derecha; COD180_I: cambio de dirección de 180° con la pierna izquierda; COD180_D: cambio de

dirección de 180° con la pierna derecha; COD90_I: cambio de dirección de 90° con la pierna izquierda; COD90_D: cambio de dirección de 90° con la pierna derecha; S10: esprint de 10 m; TJA: Tuck Jump Assessment

Tabla 6b. Inferencias del programa de entrenamiento sobre el factor de riesgo de la asimetría en las acciones de salto, cambio de dirección y Tuck Jump Assessment

	PRE		POST		Significación de los efectos			Evolución	
	Circa-PHV	Post-PHV	Circa-PHV	Post-PHV	Efectos principales		Interacción	Circa-PHV	Post-PHV
	n=8	n=7	n=8	n=7	Grupo	Tiempo		n=8	n=7
ASIM_LAT	7.44 ± 5.66	6.82 ± 5.31	6.64 ± 6.53	6.04 ± 3.02	$\bar{X}_{dif}=0.612$ F=0.077 p=0.786 $\eta^2_p=0.006$	$\bar{X}_{dif}=0.789$ F=0.220 p=0.647 $\eta^2_p=0.017$	F=0.000 p=0.995 $\eta^2_p=0.000$	$\bar{X}_{dif}=0.799$	$\bar{X}_{dif}=0.779$
ASIM_HOR	9.31 ± 6.90	4.41 ± 2.84	5.15 ± 4.47	4.43 ± 3.14	$\bar{X}_{dif}=2.805$ F=2.438 p=0.142 $\eta^2_p=0.158$	$\bar{X}_{dif}=2.069$ F=1.556 p=0.234 $\eta^2_p=0.107$	F=1.582 p=0.231 $\eta^2_p=0.108$	$\bar{X}_{dif}=4.155$	$\bar{X}_{dif}=0.017$
ASIM_VER	10.05 ± 6.87	9.53 ± 3.18	14.72 ± 6.56	19.67 ± 14.10	$\bar{X}_{dif}=2.221$ F=0.395 p=0.541 $\eta^2_p=0.029$	$\bar{X}_{dif}=7.403$ F=7.894 p=0.015 $\eta^2_p=0.378$ IC95% 1.711 – 13.096	F=1.080 p=0.318 $\eta^2_p=0.077$	$\bar{X}_{dif}=4.665$	$\bar{X}_{dif}=10.141$
ASIM_COD180	1.76 ± 1.29	2.39 ± 1.96	2.03 ± 1.75	2.44 ± 1.50	$\bar{X}_{dif}=0.515$ F=0.544 p=0.474 $\eta^2_p=0.040$	$\bar{X}_{dif}=0.157$ F=0.107 p=0.749 $\eta^2_p=0.008$	F=0.052 p=0.823 $\eta^2_p=0.004$	$\bar{X}_{dif}=0.266$	$\bar{X}_{dif}=0.047$
ASIM_COD90	2.14 ± 1.89	3.32 ± 2.25	4.40 ± 3.31	2.47 ± 2.23	$\bar{X}_{dif}=0.371$ F=0.126 p=0.728 $\eta^2_p=0.010$	$\bar{X}_{dif}=0.708$ F=0.874 p=0.367 $\eta^2_p=0.063$	F=4.210 p=0.061 $\eta^2_p=0.245$	$\bar{X}_{dif}=2.261$	$\bar{X}_{dif}=0.846$
ASIM_TJA	4.00 ± 1.51	3.43 ± 1.72	3.75 ± 1.28	3.57 ± 1.27	$\bar{X}_{dif}=0.375$ F=0.362 p=0.558 $\eta^2_p=0.027$	$\bar{X}_{dif}=0.054$ F=0.016 p=0.901 $\eta^2_p=0.001$	F=0.218 p=0.648 $\eta^2_p=0.016$	$\bar{X}_{dif}=0.250$	$\bar{X}_{dif}=0.143$

ASIM_LAT: asimetría entre extremidades inferiores en el salto lateral; ASIM_HOR: asimetría entre extremidades inferiores en el salto horizontal; ASIM_VER: asimetría entre extremidades inferiores en el salto vertical; ASIM_COD180: asimetría entre extremidades inferiores en el cambio de dirección de 180°; ASIM_COD90: asimetría entre extremidades inferiores en el cambio de dirección de 90°; ASIM_TJA: criterios del análisis cualitativo de la asimetría en el Tuck Jump Assessment

Cambios del pre al post en el rendimiento físico (salto, cambio de dirección y esprint)

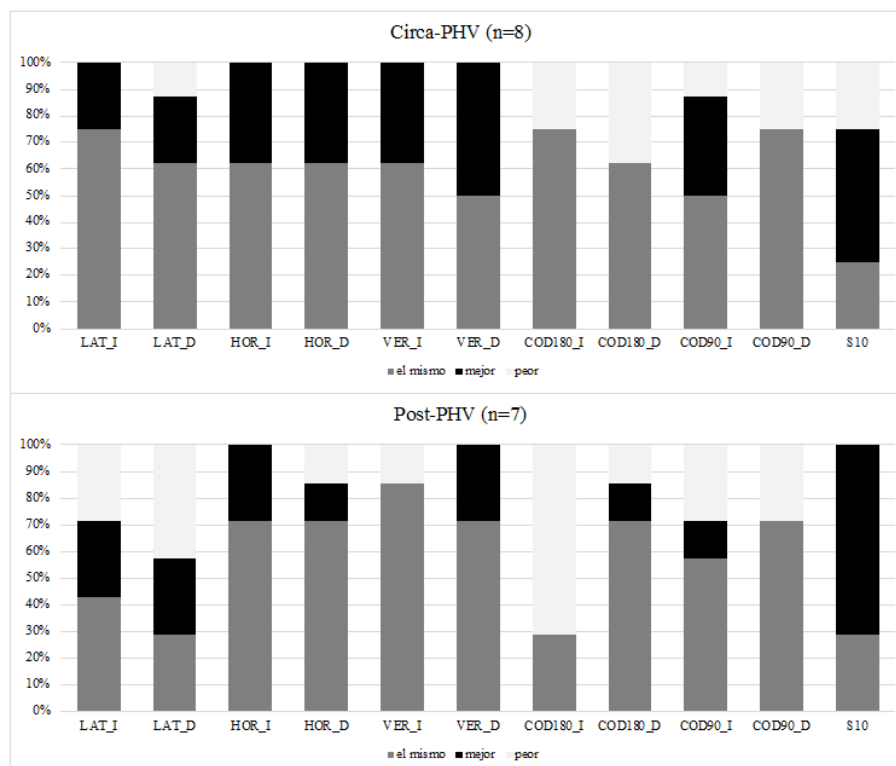
Se observó un efecto de mejora grande en todas las variables de rendimiento físico entre momentos menos en las dos pruebas de cambio de dirección (Tabla 6a). Los valores post fueron mejores de manera significativa en las variables HOR_I (F(1,13)=9.794; p=0.008; $\eta^2_p=0.430$), VER_I (F(1,13)=5.229; p=0.04; $\eta^2_p=0.287$), VER_D (F(1,13)=24.878; p<0.00; $\eta^2_p=0.657$) y S10 (F(1,13)=7.427; p=0.017; $\eta^2_p=0.364$). También hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos en la variable VER_I (F(1,13)=5.883; p=0.031; $\eta^2_p=0.312$). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en la interacción grupo x momento en ninguna de las variables de rendimiento físico estudiadas (Tabla 6a).

Efectos del programa según la edad de maduración

En la Figura 2 se muestran los cambios individuales en el rendimiento de cada grupo de entrenamiento antes (PRE) y después (POST) de la intervención. Los cambios individuales no mostraron diferencias significativas entre las edades de maduración (Tabla 7).



Figura 2. Porcentaje de jugadoras según respuesta al entrenamiento



LAT_I: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; LAT_D: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; HOR_I: salto unilateral horizontal con la pierna izquierda; HOR_D: salto unilateral horizontal con la pierna derecha; VER_I: salto unilateral vertical con la pierna izquierda; VER_D: salto unilateral vertical con la pierna derecha; COD180_I: cambio de dirección de 180° con la pierna izquierda; COD180_D: cambio de dirección de 180° con la pierna derecha; COD90_I: cambio de dirección de 90° con la pierna izquierda; COD90_D: cambio de dirección de 90° con la pierna derecha; S10: esprint de 10 m

Tabla 7. Tabla de contingencia. Asociación entre variable y grupos de edad madurativa

Variable	Circa-PHV (n=8)			Post-PHV (n=7)			p	χ^2	V
	Mejor	El mismo	Peor	Mejor	El mismo	Peor			
LAT_I	2 25%	6 75%	0 0%	2 29%	3 42%	2 29%	0.229	2.95	0.44
LAT_D	2 25%	5 62%	1 13%	2 29%	2 29%	3 42%	0.328	2.23	0.39
HOR_I	3 37%	5 63%	0 0%	2 29%	5 71%	0 0%	0.714	0.13	0.09
HOR_D	3 37%	5 63%	0 0%	1 14%	5 72%	1 14%	0.358	4.37	0.19
VER_I	3 38%	5 62%	0 0%	0 0%	6 86%	1 14%	0.133	4.04	0.52
VER_D	4 50%	4 50%	0 0%	2 28%	5 72%	0 0%	0.398	0.71	0.22
COD180_I	0 0%	6 75%	2 25%	0 0%	2 28%	5 72%	0.072	3.23	0.46
COD180_D	0 0%	5 63%	3 37%	1 14%	5 72%	1 14%	0.379	1.94	0.36
COD90_I	3 37%	4 50%	1 13%	1 14%	4 57%	2 29%	0.529	1.27	0.29
COD90_D	0 0%	6 75%	2 25%	0 0%	5 72%	2 28%	0.876	0.02	0.04
S10	4 50%	2 25%	2 25%	5 71%	2 29%	0 0%	0.358	2.05	0.37

V: V de Cramer, irrelevante (<0.1), pequeño (0.1–0.3), mediano (0.31–0.5) y grande (>0.5); LAT_I: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; LAT_D: salto unilateral lateral con la pierna izquierda; HOR_I: salto unilateral horizontal con la pierna izquierda; HOR_D: salto unilateral horizontal con la pierna derecha; VER_I: salto unilateral vertical con la pierna izquierda; VER_D: salto unilateral vertical con la pierna derecha; COD180_I: cambio de dirección de 180° con la pierna izquierda; COD180_D: cambio de dirección de 180° con la pierna derecha; COD90_I: cambio de dirección de 90° con la pierna izquierda; COD90_D: cambio de dirección de 90° con la pierna derecha; S10: esprint de 10 m

Discusión

El objetivo principal de este estudio fue evaluar los efectos de un programa de entrenamiento neuromuscular, con una duración de ocho semanas, orientado a la mejora del patrón de salto y aterrizaje, en los factores de riesgo biomecánicos y neuromusculares asociados a la lesión del LCA, así como en el rendimiento en acciones de salto, esprint y cambio de dirección en jugadoras de balonmano. Los principales resultados fueron que el entrenamiento neuromuscular basado en la mejora del patrón de salto y aterrizaje mostraron una reducción significativa de los déficits neuromusculares evaluados mediante el TJA (Tabla 6a). Además, se mejoró significativamente el rendimiento de salto (HOR_I, VER_I, VER_D) y de esprint lineal (S10).

Como objetivo secundario, se compararon los efectos del programa en función de la edad madurativa de las jugadoras. Los resultados indicaron que específicamente en el VER_I, las jugadoras del grupo circa-PHV mejoraron de manera más significativa en comparación del grupo post-PHV. Además, las participantes del grupo circa-PHV presentaron respuestas de entrenamiento más homogéneas, con mejoras uniformes o al menos iguales, mientras que en el grupo post-PHV se observaron respuestas de entrenamiento más diversas (Figura 2).

El proceso de aterrizaje es una acción asociada a la lesión por no contacto del LCA en el balonmano (Takahashi et al., 2019). Esto se debe a las elevadas cargas que la articulación debe soportar en posiciones que favorecen el mecanismo de lesión (Hewett & Myer, 2011). En este estudio, se utilizó el TJA como una herramienta para identificar alteraciones neuromusculares mediante el análisis del patrón técnico de salto y aterrizaje. El TJA se ha utilizado en diversos estudios, ya que se presenta como una herramienta de detección más práctica y económicamente eficiente para implementar en entornos aplicados (Myer et al., 2008).

Los resultados de este estudio confirman la mejora significativa en los valores totales del TJA después de la intervención ($p=0.02$), aunque no se observaron cambios significativos en función de la edad madurativa (Tabla 6a). Es importante destacar que el potencial de mejora era notable, dado que el puntaje promedio inicial fue de 12.13 ± 1.13 puntos en el grupo circa-PHV y de 13 ± 2 en el grupo post-PHV. Investigaciones previas como la de Lindblom et al. (2020), el cual incluyó chicos y chicas de 14 años, o el de Klugman et al. (Klugman et al., 2011), que se centró en chicas de la misma edad y participaban en el deporte del fútbol, arrojaron resultados consistentes. En ambas investigaciones, se observaron reducciones significativas en las puntuaciones totales del TJA después de la implementación de un programa de entrenamiento neuromuscular que incorporaba ejercicios pliométricos.

Después de la intervención, las medias de la puntuación global de las participantes en la versión modificada del TJA fueron de 11.63 ± 1.92 puntos para el grupo circa-PHV y de 11.43 ± 1.90 puntos para el grupo post-PHV. Estos valores fueron ligeramente inferiores a los reportados por Cadens et al. (2023) en jugadoras de balonmano de la misma categoría competitiva (U-12) pero sin considerar la edad madurativa, quienes obtuvieron un promedio de 12.11 ± 1.97 puntos. En cambio, en el estudio de Fort-Vanmeerhaeghe et al. (2018) con jugadoras de baloncesto de la misma edad madurativa, las puntuaciones fueron más bajas, registrando 10.44 ± 1.83 puntos para el grupo circa-PHV y 9.27 ± 1.68 puntos para el grupo post-PHV. Esta diferencia podría atribuirse a la naturaleza de la muestra, que incluía jugadoras de balonmano con menos experiencia y sin sesiones de entrenamiento dedicadas exclusivamente al entrenamiento de fuerza (Cadens et al., 2023).

La repetición y la preferencia de una extremidad sobre la otra al realizar saltos o cambios de dirección durante la práctica del balonmano pueden provocar adaptaciones neuromusculares que conducen al desarrollo de asimetrías entre las extremidades inferiores (Dos'Santos et al., 2020). No obstante, en este estudio, no se observaron mejoras en los valores de asimetría detectados a partir de los saltos unilaterales verticales, horizontales y laterales, ni en los cambios de dirección de 90° y 180° , después de ocho semanas de entrenamiento. En realidad, se observó una tendencia al empeoramiento (Tabla 6a). Este hallazgo se asemeja a los resultados de Sannicandro et al. (2014) en jugadoras de tenis de la misma edad. La falta de mejoría en las asimetrías podría relacionarse con la edad de las jugadoras (U-12), ya que responden de manera diferenciada a los estímulos de entrenamiento, dependiendo de su estado de maduración (Lloyd & Oliver, 2012). Así mismo, la amplia variabilidad en las asimetrías dentro del grupo (consulte las desviaciones estándar en la Tabla 6b) dificulta la identificación de diferencias significativas entre los puntos temporales (Bishop et al., 2018). Por lo tanto, cuestiona la utilidad de las asimetrías



como métrica en el seguimiento continuo de una jugadora, especialmente en edades madurativas (Bet-tariga et al., 2022).

El desarrollo de la capacidad de salto es una cualidad importante en la práctica del balonmano, dada la alta frecuencia de estas acciones, que conllevan momentos decisivos, como la oportunidad de marcar goles (Manchado et al., 2013). Los resultados de este estudio coinciden con las investigaciones de Gaamouri et al. (2023) y Hammami et al. (2020), que también destacaron la mejora del rendimiento en el salto en jugadoras de balonmano mediante el entrenamiento pliométrico. Es importante señalar que, en estos estudios, se enfocaron en saltos bipodales (salto horizontal, squat jump y salto vertical con contramovimiento). Además de los resultados con entrenamiento pliométrico, estudios recientes en contextos deportivos similares han mostrado mejoras en la potencia de salto y asociación con somatotipo (Acosta-Tova et al., 2025). Investigaciones en deportes como el baloncesto también evidenciado aumentos significativos en potencia de salto y agilidad en entrenamiento supervisado (Muñoz-Jimenez et al., 2021). La mejora observada en el rendimiento de todos estos tipos de saltos después de las ocho semanas de entrenamiento puede atribuirse a adaptaciones neuromusculares, como el aumento de la activación del sistema neuromuscular, mejorar en la utilización del ciclo estiramiento-acortamiento, así como cambios en la rigidez muscular y en la coordinación intermuscular (Ramírez-Campillo et al., 2015). Estas adaptaciones están en línea con la especificidad de las tareas propuestas durante el periodo de entrenamiento.

En contraste con las mejoras en el rendimiento de salto, no se observó ninguna mejora en la capacidad de cambio de dirección (COD90 y COD180), lo que coincide con los resultados de Davies et al. (2019) y Meszler & Vácsi (2019). De acuerdo con una revisión realizada por Asadi et al. (2016), se concluyó que los efectos del entrenamiento pliométrico en la capacidad de cambio de dirección están relacionados con el nivel de condición física inicial. Además, es importante destacar que el énfasis durante el proceso de entrenamiento se centró principalmente en garantizar una ejecución técnica segura, especialmente en lo que respecta al posicionamiento del centro de masas en relación con la base de apoyo y la alineación adecuada de las articulaciones para absorber las cargas (Brewer, 2017). Se prestó especial atención a la fase excéntrica de frenado, es decir, al aterrizaje, en lugar de priorizar la transición rápida de la acción muscular excéntrica a concéntrica, es decir en el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA). La falta de mejora en el tiempo de cambio de dirección podría deberse a que las participantes no entrenaron el CEA mediante ejercicios pliométricos rápidos (acoplamiento excéntrico – concéntrico en < 0.12 s) (Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016) o ejercicios específicos de cambio de dirección (Wagner et al., 2017).

No obstante, otros estudios han demostrado que el entrenamiento pliométrico puede influir de manera positiva en el rendimiento del cambio de dirección. Karadenizli et al. (2016) observaron mejoras significativas en el rendimiento en la prueba de Illinois en jugadoras de balonmano adolescentes después de diez semanas de entrenamiento. Del mismo modo, Gaamouri et al. (2023) registraron mejoras significativas en el t-Test modificado, al igual que lo hizo Chaabene et al. (2021) en un programa de entrenamiento de ocho semanas. Las diferencias en los resultados entre los estudios podrían deberse a diferentes factores (sexo, edad, actividad deportiva, etc.) y también a otras variables relacionada con el entrenamiento (tipo de cambio de dirección, duración del programa, principio de especificidad, etc.).

El tiempo de esprint lineal en 10 m mejoró significativamente en ambos grupos (Tabla 6a). Rimmer & Sleivert (2000) observaron que el entrenamiento pliométrico tenía un mayor efecto sobre el rendimiento en la fase inicial de aceleración en esprint, particularmente en los primeros 10 metros. Un estudio similar con jugadoras de balonmano en un rango de edad comparable, realizado por Chaabene et al. (2021), reveló mejoras moderadas en los tiempos de esprint de 5 y 10 m ($ES = 0.81$ i $ES = 0.84$, respectivamente). Además, Karadenizli et al. (2016) observaron mejoras en los tiempos de esprint de 30 m después de un programa de entrenamiento de diez semanas. La presente intervención incluyó saltos verticales (por ejemplo, CMJ) que se caracterizan por acciones de CEE lentas (acoplamiento excéntrico – concéntrico en > 0.25 s), similares a las encontradas durante la fase de aceleración de un esprint lineal (5 y 10 metros) (Mero et al., 1992; Rimmer & Sleivert, 2000). Estos resultados sugieren que el entrenamiento pliométrico podría ser una herramienta útil para mejorar la velocidad, especialmente durante la pubertad.

Dada la limitada muestra ($n=15$), se realizó un análisis individual de la respuesta de las jugadoras al entrenamiento pliométrico entre dos pruebas sucesivas, utilizando la desviación estándar (DE) como medida. Las decisiones se basaron en si la actuación de cada jugadora mejoró, se mantuvo o empeoró, y



si los intervalos de confianza se superpusieron o no (A. N. Turner, 2022). Aunque no se observaron diferencias significativas en los cambios individuales entre los grupos de edad madurativa (Tabla 7), se constató que un mayor porcentaje de jugadoras que experimentaron mejoras pertenecían al grupo circa-PHV. Esta observación coincide con los resultados de un metaanálisis realizado por Peitz et al. (2018), que indicó que las mejoras más significativas con el entrenamiento se producían antes del PHV (pre-PHV). Esto posiblemente se deba a que las adaptaciones al entrenamiento están principalmente relacionadas con aspectos neuronales en lugar de cambios estructurales, dependiendo de la etapa de maduración en la que se encuentre la jugadora (Lloyd & Oliver, 2012). Es importante continuar investigando para comprender mejor si estos resultados están relacionados con los diferentes niveles de experiencia inicial o el estado madurativo.

Además, aunque ambos grupos siguieron el mismo contenido de entrenamiento centrado en ejercicios basados en saltos y aterrizajes, se observó una mayor diversidad de respuestas en las diferentes variables en el grupo post-PHV. Un estudio similar realizado por Arede et al. (2022) también señaló respuestas divergentes según el grupo madurativo, aunque en este caso se centró en un entrenamiento de sprints repetidos con jugadoras de baloncesto. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la respuesta al entrenamiento puede variar en función de la etapa madurativa.

Un aspecto fundamental de un programa de entrenamiento pliométrico es la progresión adecuada y la adaptación a las necesidades individuales de cada jugadora (Brewer, 2017). El énfasis en el desarrollo progresivo de las capacidades pliométricas debe vincularse a la capacidad de la jugadora para gestionar el desarrollo y la aplicación de la fuerza de manera progresiva y competente, enfrentándose a una serie de movimientos cada vez más complejos. En este contexto, no solo se busca mejorar el rendimiento de los saltos, sino que también se tiene en cuenta la habilidad de aterrizaje, ya que a menudo el aterrizaje más seguro no es necesariamente el más eficaz.

El estudio presenta diversas limitaciones. En primer lugar, dado que se trata de un estudio preexperimental, se tuvo que omitir la inclusión de un grupo control, lo que impidió la posibilidad de comparar los efectos de la investigación con los resultados naturales. Esto habría sido útil para determinar si las mejoras observadas podrían atribuirse verdaderamente al entrenamiento. En segundo lugar, los resultados obtenidos a partir de una muestra relativamente pequeña ($n=15$) podrían no reflejar con precisión la variabilidad existente en una población más amplia. Dada la falta de estudios comparativos que examinen la respuesta al entrenamiento según la edad madurativa, las futuras líneas de investigación deberían buscar las diferencias reales entre la aplicación de un programa de entrenamiento neuromuscular basado en el salto y el aterrizaje y el desarrollo natural, sin la implementación de un protocolo específico (es decir, utilizando un grupo de control). Este enfoque podría contribuir a una mayor individualización del entrenamiento y al uso de muestras más numerosas para fortalecer la validez externa de las conclusiones.

Conclusiones

Los resultados de este estudio refuerzan la eficacia de este programa de entrenamiento neuromuscular centrado en la mejora del salto y aterrizaje. Este programa ha demostrado una mejora significativa en la reducción de los factores de riesgo asociados con las lesiones del LCA. También contribuye a una mejora significativa en el rendimiento de los saltos unilaterales verticales, horizontales y laterales, así como en el sprint de 10 m. Estas mejoras se observaron después de ocho semanas de entrenamiento con dos sesiones semanales de 30 minutos.

Los resultados destacan la importancia de vincular el énfasis en el desarrollo progresivo de la capacidad del CEA de corta y larga duración con la mejora del control neuromuscular de la jugadora. Es necesario un enfoque integral debido a la alta carga en las articulaciones que implican las tareas relacionadas con la mejora del CEA. El entrenamiento de la técnica de aterrizaje debe ser un componente fundamental para lograr un mejor desempeño deportivo con un doble sentido: disminuir el riesgo de lesión y para mejorar el rendimiento físico.

Además, las jugadoras circa-PHV tienen una respuesta más positiva a este entrenamiento en comparación con las jugadoras post-PHV. Esto sugiere la importancia de considerar el nivel de madurez en la planificación del entrenamiento y destaca la necesidad de personalizar las estrategias de entrenamiento



según el estado de desarrollo de la jugadora. Este tipo de programa debería aplicarse específicamente a jugadoras que se encuentren en la fase madurativa circa-PHV.

Referencias

- Achenbach, L., Krutsch, V., Weber, J., Nerlich, M., Luig, P., Loose, O., Angele, P., & Krutsch, W. (2018). Neuromuscular exercises prevent severe knee injury in adolescent team handball players. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy: Official Journal of the ESSKA*, 26(7), 1901–1908. <https://doi.org/10.1007/s00167-017-4758-5>
- Acosta Tova, P. J., Sanabria Arguello, Y. D., & Samacá García, J. A. (2025). Relación entre potencia y somatotipo en balonmano. *Retos*, 62, 259–267. <https://doi.org/10.47197/retos.v62.105518>
- Arede, J., Fernandes, J. F. T., Schöllhorn, W. I., & Leite, N. (2022). Differential Repeated Sprinting Training in Youth Basketball Players: An Analysis of Effects According to Maturity Status. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(19). <https://doi.org/10.3390/ijerph191912265>
- Asadi, A., Arazi, H., Young, W. B., & Sáez de Villarreal, E. (2016). The Effects of Plyometric Training on Change-of-Direction Ability: A Meta-Analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 11, 563–573. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2015-0694>
- Bedoya, A. A., Miltenberger, M. R., & Lopez, R. M. (2015). Plyometric Training Effects On Athletic Performance In Youth Soccer Athletes: A Systematic Review. *Journal Of Strength and Conditioning Research*, 29(8), 2351–2360. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000877>
- Bencke, J., Aagaard, P., & Zebis, M. K. (2018). Muscle Activation During ACL Injury Risk Movements in Young Female Athletes: A Narrative Review. *Frontiers in Physiology*, 9, 445. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00445>
- Bettariga, F., Turner, A., Maloney, S., Maestroni, L., Jarvis, P., & Bishop, C. (2022). The Effects of Training Interventions on Interlimb Asymmetries: A Systematic Review with Meta-analysis. *Strength and Conditioning Journal*, 44(5), 69–86. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000701>
- Bishop, C., Lake, J., Loturco, I., Papadopoulos, K., Turner, A., & Read, P. (2018). Interlimb Asymmetries: The Need For An Individual Approach To Data Analysis. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 00(00), 1–7. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000002729>
- Brewer, C. (2017). Athletic Movement Skills. In *Human Kinetics*.
- Cadens, M., Planas-Anzano, A., Peirau-Terés, X., Benet-Vigo, A., & Fort-Vanmeerhaeghe, A. (2023). Neuromuscular and Biomechanical Jumping and Landing Deficits in Young Female Handball Players. *Biology*, 12(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/biology12010134>
- Cadens, M., Planas Anzano, A., Matas-García, S., & Peirau Terés, X. (2021). Preventive Training of Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Handball Players: a Systematic Review. *Apunts Educació Física i Esports*, 146, 68–77. [https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.\(2021/4\).146.08](https://doi.org/10.5672/apunts.2014-0983.es.(2021/4).146.08)
- Chaabene, H., Negra, Y., Moran, J., Prieske, O., Sammoud, S., Ramirez-Campillo, R., & Granacher, U. (2021). Plyometric Training Improves Not Only Measures of Linear Speed, Power, and Change-of-Direction Speed But Also Repeated Sprint Ability in Young Female Handball Players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(8), 2230–2235. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000003128>
- Chelly, M. S., Hermassi, S., Aouadi, R., & Shephard, R. J. (2014). Effects of 8-week in-season plyometric training on upper and lower limb performance of elite adolescent handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(5), 1401–1410. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000279>
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/JKM/article/view/2203>
- Dæhlin, T. E., & Chiu, L. Z. F. (2019). Forefoot and heel take-off strategies result in different distribution of lower extremity work during landings. *Journal of Sports Sciences*, 37(21), 2475–2482. <https://doi.org/10.1080/02640414.2019.1643201>
- Davies, M. J., Drury, B., Ramirez-Campillo, R., Chaabane, H., & Moran, J. (2019). Effect of Plyometric Training and Biological Maturation on Jump and Change of Direction Ability in Female Youth. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Publish Ah(29). <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000003216>



- Della Villa, F., Buckthorpe, M., Grassi, A., Nabiuzzi, A., Tosarelli, F., Zaffagnini, S., & Della Villa, S. (2020). Systematic video analysis of ACL injuries in professional male football (soccer): injury mechanisms, situational patterns and biomechanics study on 134 consecutive cases. *British Journal of Sports Medicine*, 54(23), 1423–1432. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2019-101247>
- Dempsey, A. R., Elliott, B. C., Munro, B. J., Steele, J. R., & Lloyd, D. G. (2012). Whole body kinematics and knee moments that occur during an overhead catch and landing task in sport. *Clinical Biomechanics*, 27(5), 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2011.12.001>
- Donelon, T. A., Dos'Santos, T., Pitchers, G., Brown, M., & Jones, P. A. (2020). Biomechanical Determinants of Knee Joint Loads Associated with Increased Anterior Cruciate Ligament Loading During Cutting: A Systematic Review and Technical Framework. *Sports Medicine - Open*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40798-020-00276-5>
- Dos'Santos, T., Thomas, C., & Jones, P. A. (2020). Assessing Interlimb Asymmetries: Are We Heading in the Right Direction? *Strength & Conditioning Journal*, 43(3), 91–100. <https://doi.org/10.1519/ssc.0000000000000590>
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Benet, A., Miranda, S., Montalvo, A. M., & Myer, G. D. (2018). Sex and maturation differences in performance of functional jumping and landing deficits in youth athletes. *Journal of Sport Rehabilitation*, 28(6), 606–613. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0292>
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Montalvo, A. M., Lloyd, R. S., Read, P., & Myer, G. D. (2017). Intra- and Inter-Rater Reliability of the Modified Tuck Jump Assessment. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16(1), 117–124.
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Romero-Rodriguez, D., Lloyd, R. S., Kushner, A., & Myer, G. D. (2016). Integrative Neuromuscular Training in Youth Athletes. Part II: Strategies to Prevent Injuries and Improve Performance. *Strength and Conditioning Journal*, 38(4), 9–27. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000234>
- Gaamouri, N., Hammami, M., Cherni, Y., Rosemann, T., Knechtel, B., Chelly, M. S., & van den Tillaar, R. (2023). The effects of 10-week plyometric training program on athletic performance in youth female handball players. *Frontiers in Sports and Active Living*, 5(July), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fspor.2023.1193026>
- Goss-Sampson, M., van Doorn, J., & Wagenmakers, E. J. (2020). Bayesian inference in JASP: A guide for students.
- Hammami, M., Gaamouri, N., Suzuki, K., Shephard, R. J., & Chelly, M. S. (2020). Effects of Upper and Lower Limb Plyometric Training Program on Components of Physical Performance in Young Female Handball Players. *Frontiers in Physiology*, 11(August). <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.01028>
- Hewett, T. E., & Myer, G. D. (2011). The Mechanistic Connection Between the Trunk, Hip, Knee, and Anterior Cruciate Ligament Injury. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 39(4), 161–166. <https://doi.org/10.1097/JES.0b013e3182297439>
- Hewett, T. E., Myer, G. D., Ford, K. R., Heidt, R. S. J., Colosimo, A. J., McLean, S. G., Van Den Bogert, A. J., Paterno, M. V., & Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: A prospective study. *American Journal of Sports Medicine*, 33(4), 492–501. <https://doi.org/10.1177/0363546504269591>
- Hewett, T. E., Stroupe, A. L., Nance, T. A., & Noyes, F. R. (1996). Plyometric Training in Female Athletes. Decreased impact forces and increased hamstring torques. *The American Journal of Sports Medicine*, 24(6), 765–773.
- Jeffreys, I. (2019). *El Calentamiento. Maximizar el rendimiento y mejorar el desarrollo físico a largo plazo* (Madrid). Ediciones Tutor, S.A.
- Johnson, B. A., Salzberg, C. L., & Stevenson, D. A. (2011). A systematic review: Plyometric training programs for young children. In *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 25, Issue 9, pp. 2623–2633). <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318204caa0>
- Karadenizli, Z. I. (2016). The effects of plyometric training on balance, anaerobic power and physical fitness parameters in handball. *Anthropologist*, 24(3), 751–761. <https://doi.org/10.1080/09720073.2016.11892072>
- Klugman, M. F., Brent, J. L., Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2011). Does an In-Season Only Neuromuscular Training Protocol Reduce Deficits Quantified by the Tuck Jump Assessment? *Clinics in Sports Medicine*, 30(4), 825–840. <https://doi.org/10.1016/j.csm.2011.07.001>



- 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>
- Kovács, I., Tihanyi, J., Devita, P., Rácz, L., Barrier, J., & Hortobágyi, T. (1999). Foot placement modifies kinematics and kinetics during drop jumping. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31(5), 708–716. <https://doi.org/10.1097/00005768-199905000-00014>
- LaBella, C. R., Hennrikus, W., Hewett, T. E., Fitness, C. S. M., & Orthopaedics, S. (2014). Anterior Cruciate Ligament Injuries: Diagnosis, Treatment, and Prevention. *Pediatrics*, 133(5), e1437–e1450. <https://doi.org/10.1542/peds.2014-0623>
- Lindblom, H., Walden, M., Carlford, S., Hagglund, M., Waldén, M., Carlford, S., & Hägglund, M. (2020). Limited positive effects on jump-landing technique in girls but not in boys after 8 weeks of injury prevention exercise training in youth football. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 28(2), 528–537. <https://doi.org/10.1007/s00167-019-05721-x>
- Lloyd, R. S., Meyers, R. W., & Oliver, J. L. (2011). The Natural Development and Trainability of Plyometric Ability During Childhood. *Strength and Conditioning Journal*, 33(2), 23–32. <https://doi.org/10.1519/ssc.0b013e3182093a27>
- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: A new approach to long-term athletic development. *Strength and Conditioning Journal*, 34(3), 61–72. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e31825760ea>
- Luna, B., Chiner, P. M., Puchades, V. P., Marzal, A. C., Aliaga, A. R., & Lafarga, C. B. (2021). Cambios en fuerza explosiva y agilidad tras un entrenamiento online en jóvenes jugadores de baloncesto confinados por COVID-19. *Retos*, 41, 256–264. <https://doi.org/10.47197/retos.v0i41.83011>
- Manchado, C., Tortosa-Martínez, J., Vila, H., Ferragut, C., & Platen, P. (2013). Performance factors in women's team handball: Physical and physiological aspects-a review. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(6), 1708–1719. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3182891535>
- Maniar, N., Cole, M. H., Bryant, A. L., & Opar, D. A. (2022). Muscle Force Contributions to Anterior Cruciate Ligament Loading. *Sports Medicine*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s40279-022-01674-3>
- Mero, A., Komi, P. V., & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of Sprint Running. *Sports Medicine*, 13(6), 376–392. <http://www.livestrong.com/article/352085-biomechanics-of-sprint-running/>
- Meszler, B., & Vácz, M. (2019). Effects of short-term in-season plyometric training in adolescent female basketball players. *Physiology International*, 106(2), 168–179. <https://doi.org/10.1556/2060.106.2019.14>
- Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., Bailey, D. A., & Beunen, G. P. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(4), 689–694. <https://doi.org/10.1249/00005768-200204000-00020>
- Mojaddarasil, M., & Sadigh, M. J. (2021). Parametric analysis of landing injury: The effect of landing posture and joint displacement. *Physical and Engineering Sciences in Medicine*, 44(3), 755–772. <https://doi.org/10.1007/s13246-021-01023-0>
- Mothersole, G. A., Cronin, J. B., & Harris, N. K. (2013). Key prerequisite factors influencing landing forces in netball. *Strength and Conditioning Journal*, 35(2), 47–54. <https://doi.org/10.1519/SSC.0b013e318289b79e>
- Myer, G. D., Ford, K. R., & Hewett, T. E. (2008). Tuck Jump Assessment for Reducing Anterior Cruciate Ligament Injury Risk. *Athletic Therapy Today*, 13(1), 39–44. <https://doi.org/10.1080/10810730902873927>
- Noyes, F. R., & Barber Westin, S. D. (2012). Anterior cruciate ligament injury prevention training in female athletes: A systematic review of injury reduction and results of athletic performance tests. *Sports Health*, 4(1), 36–46. <https://doi.org/10.1177/1941738111430203>
- Olsen, O. E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., & Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports: Cluster randomised controlled trial. *British Medical Journal*, 330(7489), 449–452. <https://doi.org/10.1136/bmj.38330.632801.8F>
- Peitz, M., Behringer, M., & Granacher, U. (2018). A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth-What do comparative studies tell us? In *PLoS ONE* (Vol. 13, Issue 11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207641>



- Petushek, E. J., Sugimoto, D., Stoolmiller, M., Smith, G., & Myer, G. D. (2019). Evidence-Based Best-Practice Guidelines for Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Young Female Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *American Journal of Sports Medicine*, 47(7), 1744–1753. <https://doi.org/10.1177/0363546518782460>
- Podraza, J. T., & White, S. C. (2010). Effect of knee flexion angle on ground reaction forces, knee moments and muscle co-contraction during an impact-like deceleration landing: Implications for the non-contact mechanism of ACL injury. *Knee*, 17(4), 291–295. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2010.02.013>
- Pollard, C. D., Sigward, S. M., & Powers, C. M. (2010). Limited hip and knee flexion during landing is associated with increased frontal plane knee motion and moments. *Clinical Biomechanics*, 25(2), 142–146. <https://doi.org/10.1016/j.clinbiomech.2009.10.005>
- Ramirez-Campillo, R., Alvarez, C., Garcia-Hermoso, A., Keogh, J. W. L., García-Pinillos, F., Pereira, L. A., & Loturco, I. (2020). Effects of jump training on jumping performance of handball players: A systematic review with meta-analysis of randomised controlled trials. *International Journal of Sports Science and Coaching*, 15(4), 584–594. <https://doi.org/10.1177/1747954120928932>
- Ramírez-Campillo, R., Burgos, C. H., Henríquez-Olguín, C., Andrade, D. C., Martínez, C., Álvarez, C., Castro-Sepúlveda, M., Marques, M. C., & Izquierdo, M. (2015). Effect of unilateral, bilateral, and combined plyometric training on explosive and endurance performance of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(5), 1317–1328. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000762>
- Rimmer, E., & Sleivert, G. (2000). Effects of a Plyometrics Intervention Program on Sprint Performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(3), 295–301. <https://doi.org/10.1519/00124278-200008000-00009>
- Saez de Villareal, E., Calleja-Gonzalez, J., Alcaraz, P. E., & Feito-Blanco, J. (2023). Positive Effects of Plyometric vs . Eccentric-Overload Training on Performance in Young Male Handball Players.
- Sannicandro, I., Cofano, G., Rosa, R. A., & Piccinno, A. (2014). Balance training exercises decrease lower-limb strength asymmetry in young tennis players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13(2), 397–402.
- Sell, T. C., Ferris, C. M., Abt, J. P., Tsai, Y.-S., Myers, J. B., Fu, F. H., & Lephart, S. M. (2007). Predictors of proximal tibia anterior shear force during a vertical stop-jump. *Journal of Orthopaedic Research: Official Publication of the Orthopaedic Research Society*, 25(12), 1589–1597. <https://doi.org/10.1002/jor.20459>
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D. G., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *Journal of Pediatrics*, 147(4), 508–514. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2005.04.041>
- Shin, C. S., Chaudhari, A. M., & Andriacchi, T. P. (2011). Valgus plus internal rotation moments increase anterior cruciate ligament strain more than either alone. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(8), 1484–1491. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31820f8395>
- Suchomel, T. J., Wagle, J. P., Douglas, J., Taber, C. B., Harden, M., Gregory Haff, G., & Stone, M. H. (2019). Implementing eccentric resistance training—Part 1: A brief review of existing methods. *Journal of Functional Morphology and Kinesiology*, 4(2). <https://doi.org/10.3390/jfkm4020038>
- Takahashi, S., Nagano, Y., Ito, W., Kido, Y., & Okuwaki, T. (2019). A retrospective study of mechanisms of anterior cruciate ligament injuries in high school basketball, handball, judo, soccer, and volleyball. *Medicine*, 98(26), e16030. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000016030>
- Taylor, J. B., Waxman, J. P., Richter, S. J., & Shultz, S. J. (2015). Evaluation of the effectiveness of anterior cruciate ligament injury prevention programme training components: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092358>
- Turner, A., Brazier, J., Bishop, C., Chavda, S., Cree, J., & Read, P. (2015). Data analysis for strength and conditioning coaches: Using excel to analyze reliability, differences, and relationships. *Strength and Conditioning Journal*, 37(1), 76–83. <https://doi.org/10.1519/SSC.0000000000000113>
- Turner, A. N. (2022). But did my athlete improve ? Assessing performance changes when N = 1. *Professional Strength & Conditioning*, 63.
- Wagner, H., Gierlinger, M., Adzamija, N., Ajayi, S., Bacharach, D. W., & Von Duvillard, S. P. (2017). Specific physical training in elite male team handball. In *Journal of Strength and Conditioning Research* (Vol. 31, Issue 11). <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000002094>



- Wilkerson, G. B., Colston, M. A., Short, N. I., Neal, K. L., Hoewischer, P. E., & Pixley, J. J. (2004). Neuromuscular Changes in Female Collegiate Athletes Resulting from A Plyometric Jump-Training Program. *Journal of Athletic Training*, 39(1), 17-23.
- Yoo, J. H., Lim, B. O., Ha, M., Lee, S. W., Oh, S. J., Lee, Y. S., & Kim, J. G. (2010). A meta-analysis of the effect of neuromuscular training on the prevention of the anterior cruciate ligament injury in female athletes. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, 18(6), 824-830. <https://doi.org/10.1007/s00167-009-0901-2>
- Zebis, M. K., Andersen, L. L., Brandt, M., Myklebust, G., Bencke, J., Lauridsen, H. B., Bandholm, T., Thorborg, K., Hölmich, P., & Aagaard, P. (2016). Effects of evidence-based prevention training on neuromuscular and biomechanical risk factors for ACL injury in adolescent female athletes: a randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 50(9), 552-557. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-094776>

Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Maria Cadens Roca	mcadens@gencat.cat	Autora
Antoni Planas Anzano	aplanas@gencat.cat	Autor
Xavier Peirau Terés	xpeirau@gencat.cat	Autor
Ariadna Benet Vigo	ariadna.benetvigo@gmail.com	Autora
Azahara Fort-Vanmeerhaeghe	azaharafv@blanquerna.url.edu	Autora