



Perfil neuromuscular funcional en escolares adolescentes: magnitud del cambio en el impulso concéntrico normalizado frente a la altura de salto en CMJ y ABK

Functional Neuromuscular Profile in School-Aged Adolescents: Magnitude of Change in Normalized Concentric Impulse Versus Jump Height in CMJ and ABK

PhD estudiante Giancarlo Jossue Yfuma-Pedroza ¹, MSc estudiante Andres Alonso Acevedo-Mindiola ², PhD estudiante Diomedes Augusto García Hilares ³

¹ Universidad Europea de Madrid, Facultad de Medicina, Salud y Deportes, Programa de Ciencias del Deporte, Villaviciosa de Odón, Madrid, España,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4785-5845>, 224a5733@live.uem.es

² Universidad Manuela Beltrán, Facultad de Salud, Programa Actividad Física y Deporte, Bogotá, Cundinamarca, Colombia,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0125-7265>, andresacevedo.am@academia.umb.edu.co

³ Universidad San Ignacio de Loyola, Facultad de Ciencias de la Salud, Programa Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, La Molina, Lima, Perú,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2619-9113>, dgarciah@usil.edu.pe

Resumen

La altura de salto por sí sola puede ocultar estrategias neuromusculares diferentes. Objetivo: caracterizar el perfil neuromuscular funcional en adolescentes escolares mediante la evaluación de métricas de salto vertical, examinando específicamente la magnitud del cambio en el impulso concéntrico normalizado frente a la altura de salto. Metodología: estudio longitudinal prospectivo con dos mediciones (línea base y diciembre de 2025) en 34 estudiantes de secundaria (1.º–5.º año; 14,56±1,14 años; 58,64±11,91 kg; 1,64±0,08 m) con datos pareados válidos, evaluados mediante plataformas de fuerza duales VALD ForceDecks a 1000 Hz en salto con contramovimiento (CMJ) y salto con balanceo de brazos (ABK). Se aplicó la prueba de Shapiro y, según su resultado, la prueba t de Student o de Wilcoxon para cada variable, junto con la d de Cohen. Resultados: la de altura de salto aumentó de forma significativa en CMJ (19,58±5,59 a 21,26±5,40 cm; p=0,009; d=0,48) y en ABK (22,01±6,88 a 24,46±7,10 cm; p=0,005; d=0,51). El impulso concéntrico normalizado por masa corporal registró el mayor tamaño del efecto en ambos saltos (CMJ: d=0,79 y ABK: d=0,74; p<0,001 en ambos). El impulso de desaceleración excéntrica en CMJ mostró un cambio estadísticamente significativo con la prueba de Wilcoxon (p=0,035), de magnitud pequeña (d=0,22); las demás variables de la fase excéntrica no mostraron cambios significativos en ninguno de los dos saltos. Conclusión: en este grupo de escolares, el impulso concéntrico normalizado presentó la mayor magnitud de cambio, por lo cual este hallazgo es consistente con su utilidad como indicador complementario para el monitoreo neuromuscular en contextos

Recibido: 16 jun 2026

Aceptado: 21 sep 2026

Publicado: 25 sep 2026

Como citar:

Yfuma-Pedroza, G. J., Acevedo-Mindiola, A. A. & García Hilares, D. A. (2027). Perfil neuromuscular funcional en escolares adolescentes: magnitud del cambio en el impulso concéntrico normalizado frente a la altura de salto en CMJ y ABK. *Actividad Física y Desarrollo Humano*, 126–135.



Esta obra está bajo una licencia internacional [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) [Atribución](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



escolares.

Palabras clave: perfil neuromuscular, impulso concéntrico, altura de salto, escolares, adolescentes, plataforma de fuerza.

Abstract

Jump height alone can mask distinct neuromuscular strategies. Objective: To characterize the functional neuromuscular profile of adolescent students by evaluating vertical jump metrics, specifically examining the magnitude of change in normalized concentric impulse relative to jump height. Methodology: A prospective longitudinal study involving two measurements (baseline and December 2025) was conducted on 34 secondary school students (grades 1–5; age: $14,56 \pm 1,14$ years; mass: $58,64 \pm 11,91$ kg; height: $1,64 \pm 0,08$ m) with valid paired data. Assessments were performed using VALD ForceDecks dual force plates at 1000 Hz for countermovement jumps (CMJ) and arm-swing jumps (ABK). The Shapiro-Wilk test was applied, followed by either Student's t-test or the Wilcoxon test for each variable, alongside Cohen's d. Results: Jump height increased significantly in both CMJ ($19,58 \pm 5,59$ to $21,26 \pm 5,40$ cm; $p=0,009$; $d=0,48$) and ABK ($22,01 \pm 6,88$ to $24,46 \pm 7,10$ cm; $p=0,005$; $d=0,51$). Concentric impulse normalized to body mass showed the largest effect size in both jump types (CMJ: $d=0,79$; ABK: $d=0,74$; $p<0,001$ for both). Eccentric deceleration impulse in the CMJ showed a statistically significant change according to the Wilcoxon test ($p=0,035$), with a small magnitude ($d=0,22$); no other eccentric phase variables showed significant changes in either jump type. Conclusion: In this group of schoolchildren, normalized concentric impulse showed the greatest magnitude of change; this finding is therefore consistent with its utility as a complementary indicator for neuromuscular monitoring in school settings.

Keywords: neuromuscular profile, concentric impulse, jump height, school-aged, adolescents, force platform.

[NoComercial-SinDerivadas 4.0.](#)

1. Introducción

La evaluación del rendimiento neuromuscular en jóvenes atletas tiende a resumirse a indicadores macroscópicos como la altura de salto (Cabarkapa et al., 2024). Sin embargo, se puede presentar que dos deportistas alcancen el mismo pico de elevación del centro de masas, pero aplicando estrategias neuromusculares totalmente diferentes: modificando la estructura temporal de las fases de frenado y propulsión, o gestionando el acoplamiento excéntrico-concéntrico de formas opuestas (Kozinc, 2022). El rendimiento neuromuscular no se determina solo por el resultado de la altura de salto vertical; se define por cómo se produce la fuerza relativa a lo largo de todas las fases del movimiento.

La adolescencia representa una ventana crítica de desarrollo neuromuscular en la que las adaptaciones estructurales, el aumento de la masa muscular y las alteraciones hormonales modifican profundamente la mecánica del movimiento (Standing et al., 2019). Monitorear este perfil funcional en entornos aplicados resulta metodológicamente riguroso: la clasificación por pico de velocidad de crecimiento (PVC) permite estratificar estadios madurativos con precisión (Albaladejo-Saura et al., 2022), pero escasamente se dispone de estas valoraciones en el ámbito educativo con escolares.

Este vacío metodológico constituye una limitación expresada en la literatura, dado



que la maduración biológica modifica la producción de fuerza y el impulso de forma independiente a la edad cronológica, alterando la interpretación de las adaptaciones observadas (Namiki et al., 2025). Se requieren, por tanto, indicadores capaces de determinar los cambios en el rendimiento neuromuscular.

Investigaciones recientes en poblaciones deportivas reconocen la necesidad de mirar más allá de la altura de salto (Philipp et al., 2023; Marques et al., 2026). En un seguimiento a lo largo de una temporada en jugadores de baloncesto universitario masculino de élite, encontraron que, aunque numerosas variables de estrategia y de producción de fuerza en el salto CMJ cambiaron significativamente entre diferentes períodos de la temporada, la altura de salto se mantuvo estadísticamente sin cambios (Philipp et al., 2023), lo que llevó a los autores a advertir que monitorear únicamente esta métrica puede ser insuficiente para detectar cambios neuromusculares reales.

Por ende, el análisis se enfocó en las variables mecánicas de mayor profundidad cinética. El CMJ representa la prueba de referencia para evaluar el ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) (Philipp et al., 2023; Huebner et al., 2025), mientras que la prueba de salto de Abalakov (ABK) incorpora el balanceo de brazos. Estas pruebas de salto según la literatura científica se encuentran entre las más aplicadas por entrenadores deportivos para la medición de la fuerza y potencia en extremidades inferiores con jóvenes (Tishukaj et al., 2021).

Este estudio hipotetizó que el impulso concéntrico normalizado por masa corporal de los saltos, evaluados en la plataforma de fuerza, presentarían una mayor magnitud de cambio ($d \geq 0,50$, mediano-grande según Cohen, 1988) que la métrica de altura de salto ($d < 0,50$) tras tres meses de seguimiento.

Dado que este estudio no incluyó una clasificación directa del estadio madurativo, esta hipótesis se planteó como una primera aproximación exploratoria, cuya interpretación se retoma como limitación en la discusión.

En consecuencia, el objetivo del presente estudio fue caracterizar el perfil neuromuscular funcional en escolares adolescentes mediante la evaluación de métricas de salto vertical, comparando específicamente la magnitud del cambio en el impulso concéntrico normalizado frente a la altura de salto como indicadores complementarios de adaptación neuromuscular.

2. Metodología

Estudio longitudinal prospectivo con dos tiempos de medición (T1 en septiembre de 2025 y T2 en diciembre de 2025) separados por 12 semanas. No se aplicó intervención de entrenamiento. El diseño responde a un seguimiento naturalístico del desarrollo neuromuscular en contexto escolar, registrado en el Colegio Rosario del Solar, Lima, Perú.

La muestra no probabilista por conveniencia estuvo conformada inicialmente por 48 estudiantes de secundaria (1.º–5.º año) evaluados en 5 salones del Colegio Rosario del Solar (176 trials válidos tras depuración), de los cuales 34 (edad de $14,56 \pm 1,14$ años, un peso corporal de $58,64 \pm 11,91$ kg y una talla de $1,64 \pm 0,08$ m) contaron con datos pareados válidos en línea base y en diciembre (T1 y T2) y constituyen la muestra analítica del presente estudio. Se excluyeron 14 escolares que no tenían registro de mediciones en T2. Se tuvieron en cuenta los criterios de inclusión como: (a) matriculación activa; (b) ausencia de lesiones musculoesqueléticas en los tres meses previos; (c) capacidad para ejecutar CMJ sin restricción médica.



Se obtuvo consentimiento informado por escrito de padres o tutores legales y se siguieron los principios de la Declaración de Helsinki (2025). El estudio no contó con evaluación de un comité de ética institucional formal, al tratarse de una valoración neuromuscular de rutina, sin intervención ni riesgo, realizada dentro del marco de las actividades regulares de educación física del colegio.

Se utilizó la plataforma de fuerza dual VALD ForceDecks (VALD Performance, Brisbane, Australia) a 1000 Hz. La fiabilidad y validez de este sistema para el cálculo de la altura de salto mediante el método impulso-momento han sido confirmadas en la literatura (Raymond et al., 2018; Cameron et al., 2025). Se extrajeron variables biomecánicas:

- Altura de salto (cm): calculada por el método impulso-momento de la fase de vuelo.
- Impulso concéntrico normalizado (N·s/kg): integral de la fuerza vertical durante la fase concéntrica, dividida por la masa corporal. Indicador de la capacidad de generar fuerza rápida por unidad de peso.
- Impulso de desaceleración excéntrica normalizado (N·s/kg): fuerza acumulada durante la fase de frenado excéntrico, normalizada por masa corporal. Indicador del control neuromuscular en la carga previa al despegue.
- Fuerza a velocidad cero normalizada — FZV/BM (N/kg): fuerza máxima en el punto de inversión excéntrica-concéntrica (velocidad = 0 m/s), dividida por masa corporal.

El protocolo de testeo en T1 y T2 comenzaba con un calentamiento estandarizado de cinco minutos de trote suave y movilidad articular dinámica de cadera, rodilla y tobillo. La evaluación neuromuscular se ejecutó utilizando un sistema de plataformas de fuerza duales VALD

ForceDecks, configuradas a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz. Esta frecuencia nos asegura una resolución temporal lo suficientemente fina para capturar eventos cinéticos críticos en milisegundos, especialmente durante la transición de la fase excéntrica a la concéntrica.

Cada estudiante realizó una familiarización técnica de las pruebas de saltos con dos intentos submáximos. Seguidamente, ejecutó tres saltos máximos de CMJ con las manos fijas en las caderas y tres saltos de ABK con balanceo libre de brazos, con un período de descanso de 60 segundos entre intentos y entre cada tipo de salto un período de recuperación pasiva de 5 min, en concordancia al protocolo estándar de evaluación de salto vertical (Hammami et al., 2022). La plataforma de fuerza registra la altura de salto mediante integración de la curva fuerza-tiempo (método impulso-momento), impidiendo los errores sistemáticos propios de las evaluaciones basadas en el tiempo de vuelo. Para el análisis se seleccionó el intento de mayor altura de salto de CMJ y ABK de cada participante en cada sesión, criterio ampliamente utilizado en estudios de fiabilidad intra-sesión de variables de fuerza-tiempo del CMJ en poblaciones juveniles (Bright et al., 2023).

El estudio utilizó el paquete de R para los análisis estadísticos con un nivel de significancia de $p < 0,05$. Se calcularon para cada variable las medias y desviaciones estándar (DE). Se aplicaron pruebas t de Student para muestras pareadas (T1 vs. T2). El tamaño del efecto se estimó mediante la d de Cohen pareada (1988) (trivial: $<0,20$; pequeño: $0,20-0,49$; mediano: $0,50-0,79$; grande: $\geq 0,80$) en el paquete estadístico effectsize (Ben-Shachar et al., 2020), junto con sus intervalos de confianza al 95%. Antes de aplicar las pruebas de comparación, se evaluó la normalidad de las diferencias pareadas T2-T1 de cada variable mediante la prueba de Shapiro-Wilk. Para las variables



cuyas diferencias siguieron una distribución normal ($p>0,05$) se utilizó como prueba principal la t de Student pareada; para la única variable con distribución no normal (impulso de desaceleración excéntrica en CMJ) se utilizó como prueba principal la de Wilcoxon para muestras pareadas. Este criterio de selección se estableció de forma previa al análisis y se mantuvo de manera consistente para la interpretación de todos los resultados.

3. Resultados

Los resultados del CMJ y del ABK entre T1 (línea base, septiembre 2025) y T2 (diciembre 2025) se presentan en las Tablas 1 y 2, respectivamente, sobre una muestra pareada de 34 estudiantes.

En el CMJ, la altura de salto aumentó de $19,58 \pm 5,59$ cm a $21,26 \pm 5,40$ cm (+8,6%), un

incremento estadísticamente significativo ($p=0,009$) con un tamaño del efecto pequeño ($d=0,48$). El impulso concéntrico normalizado por masa corporal mostró el mayor tamaño del efecto de todas las variables analizadas, elevándose de $4,52 \pm 0,46$ a $4,80 \pm 0,40$ N·s/kg (+6,1%; $p<0,001$; $d=0,79$, mediano). De las tres variables asociadas a la fase excéntrica, la duración excéntrica y la fuerza a velocidad cero no mostraron cambios significativos (t pareada, $p>0,05$ en ambas). El impulso de desaceleración excéntrica, única variable cuyas diferencias pareadas no siguieron una distribución normal, mostró un cambio estadísticamente significativo con la prueba de Wilcoxon ($p=0,035$), aunque con un cambio de magnitud pequeño, sustancialmente menor que la del impulso concéntrico (Tabla 1).

Tabla 1: Métricas neuromusculares en salto CMJ al inicio (T1) y final (T2) del estudio.

Variable	T1 (media $\pm$ DE)	T2 (media $\pm$ DE)	Prueba	p	d [IC 95%]
Altura de salto (cm)	$19,58 \pm 5,59$	$21,26 \pm 5,40$	t	0,009*	0,48 [0,16; 0,90]
Impulso concéntrico normalizado por masa corporal (N·s/kg)	$4,52 \pm 0,46$	$4,80 \pm 0,40$	t	<0,001***	0,79 [0,43; 1,24]
Impulso desaceleración excéntrica/masa corporal (N·s/kg)	$1,06 \pm 0,26$	$1,13 \pm 0,25$	Wilcoxon +	0,035*	0,22 [-0,11; 0,59]
Duración fase excéntrica (ms)	$464,74 \pm 76,99$	$454,68 \pm 82,86$	t	0,502 (ns)	-0,12 [-0,48; 0,22]
Fuerza a velocidad cero/BM (N/kg)	$21,12 \pm 2,69$	$21,47 \pm 2,54$	t	0,326 (ns)	0,17 [-0,15; 0,55]

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de dato ($n=34$). Prueba seleccionada según normalidad de las diferencias pareadas (Shapiro-Wilk); Diferencia significativa prueba t pareada: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$. †: Única variable con distribución no normal de las diferencias pareadas (Prueba de Wilcoxon).

En el ABK, la altura de salto aumentó de $22,01 \pm 6,88$ cm a $24,46 \pm 7,10$ cm (+11,2%; t pareada, $p=0,007$; $d=0,51$ [IC95%: 0,16–0,90]), y el impulso concéntrico normalizado se incrementó de $4,89 \pm 0,63$ a $5,25 \pm 0,57$ N·s/kg (+7,4%; t pareada, $p<0,001$; $d=0,74$ [IC95%: 0,36–1,14]). A diferencia del CMJ, en

el ABK las diferencias pareadas de las tres variables de la fase excéntrica siguieron una distribución normal, y ninguna mostró cambios significativos con la prueba t ($p>0,05$ en las tres) (Tabla 2).

Para ilustrar la magnitud de estos cambios, la Figura 1 compara el tamaño del efecto (d



de Cohen) y su intervalo de confianza al 95% para las cinco variables analizadas en ambos saltos. El impulso concéntrico normalizado presentó de forma consistente la mayor magnitud de cambio en los dos gestos, mientras que las variables de la fase

excéntrica se modificaron poco o nada, con la excepción del impulso de desaceleración excéntrica en CMJ, cuyo cambio fue estadísticamente significativo pero de magnitud pequeña.

Tabla 2: Métricas neuromusculares en salto ABK al inicio (T1) y final (T2) del estudio.

Variable	T1 (media ± DE)	T2 (media ± DE)	Prueba	p	d [IC 95%]
Altura de salto (cm)	22,01 ± 6,88	24,46 ± 7,10	t	0,005*	0,51 [0,16; 0,90]
Impulso concéntrico normalizado por masa corporal (N·s/kg)	4,89 ± 0,63	5,25 ± 0,57	t	<0,001***	0,74 [0,36; 1,14]
Impulso desaceleración excéntrica/Masa corporal (N·s/kg)	0,99 ± 0,26	1,01 ± 0,23	t	0,794 (ns)	0,05 [-0,27; 0,43]
Duración fase excéntrica (ms)	510,07 ± 116,83	544,91 ± 110,45	t	0,137 (ns)	0,26 [-0,06; 0,65]
Fuerza a velocidad cero/BM (N/kg)	19,04 ± 2,94	18,77 ± 3,06	t	0,553 (ns)	-0,10 [-0,44; 0,26]

Fuente: Elaboración propia a partir de la base de datos maestra (n=34). Prueba seleccionada a priori según normalidad de las diferencias pareadas (Shapiro-Wilk); Diferencia significativa prueba t pareada: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

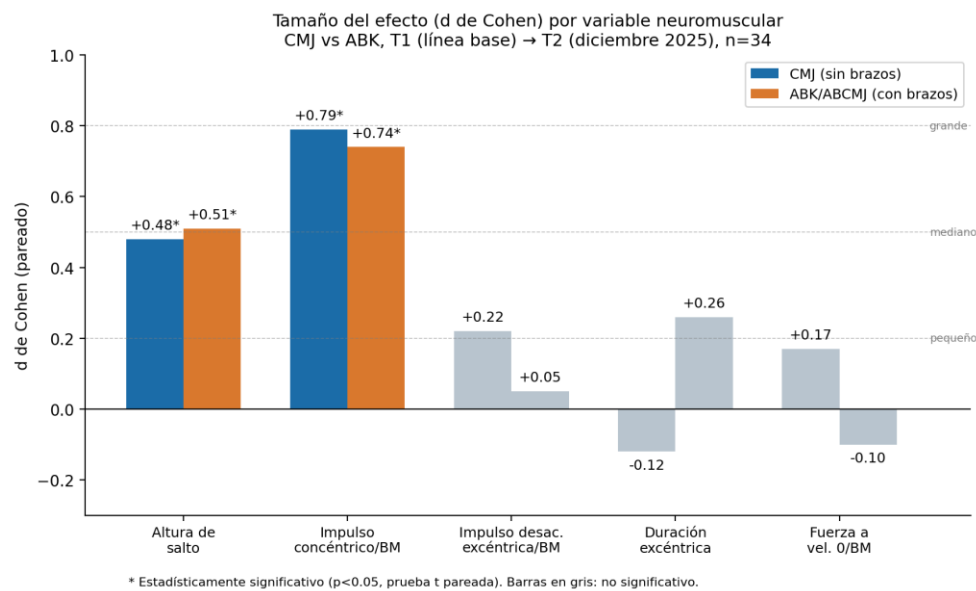


Figura 1. Tamaño del efecto (d de Cohen pareado) de las cinco variables neuromusculares evaluadas en CMJ y ABK entre T1 (línea base) y T2 (diciembre 2025), n=34. Barras en color: estadísticamente significativas (p<0,05); barras en gris: no significativas.

Fuente: Elaboración propia.

4. Discusión

El principal hallazgo del presente estudio es que, tanto en CMJ como en ABK, el cambio de mayor magnitud se observó en el

componente concéntrico con efecto mediano en ambos (d=0,79 y d=0,74, respectivamente) y no en la altura de salto (CMJ: d=0,48 y ABK d=0,51), aunque esta última también aumentó de forma significativa en los dos



saltos. En el CMJ, el impulso de desaceleración excéntrica mostró igualmente un cambio significativo, aunque de magnitud pequeña ($d=0,22$) y muy inferior al del impulso concéntrico; la duración excéntrica y la fuerza a velocidad cero no se modificaron de forma significativa en ninguno de los dos saltos. La altura de salto del ABK también mejoró de forma significativa ($p=0,005$; $d=0,51$), de magnitud comparable a la del CMJ, por lo que no encontramos evidencia de que el balanceo de brazos diluya la expresión de estos cambios en la altura; ambos gestos mostraron un patrón de cambio similar tanto en altura como en impulso concéntrico.

Este resultado es consistente con adaptaciones neuromusculares tempranas en la capacidad de producir fuerza propulsiva, coherentes con mejoras en la eficiencia del ciclo de estiramiento-acortamiento (CEA) reportadas en poblaciones juveniles (Cormie et al., 2009; Gathercole et al., 2015). No obstante, el diseño del presente estudio no permite atribuir causalidad mecánica directa ni descartar la contribución del crecimiento/maduración biológica durante el período de tres meses de seguimiento.

Estudios recientes indican que el rendimiento de salto en adolescentes no puede interpretarse únicamente a partir de la altura de salto, dado que otras métricas de la curva fuerza-tiempo pueden reflejar adaptaciones neuromusculares independientes del resultado final del salto (Standing et al., 2019; Namiki et al., 2025; Amatori et al., 2024). En ese sentido, el impulso concéntrico normalizado por masa corporal mostró una mayor magnitud de cambio que la altura de salto, lo que sugiere que puede aportar información complementaria sobre adaptaciones neuromusculares tempranas, particularmente cuando se utilizan plataformas de fuerza con análisis de la curva fuerza-tiempo (Kirby et al., 2011; Cormie et al., 2009).

Además, investigaciones de fiabilidad en plataformas de fuerza portátiles con atletas jóvenes han comprobado la estabilidad de estas métricas en condiciones aplicadas (Bright et al., 2023; Cameron et al., 2025), lo que respalda su utilización en entornos fuera del laboratorio. Sin embargo, la literatura sigue siendo limitada en cuanto a diseños longitudinales con escolares adolescentes, en la comparación sistemática entre CMJ y variantes con balanceo de brazos, y en la validación de métricas derivadas mediante plataformas portátiles, aspecto que requiere distinguir el cambio real del ruido de medición inherente al entorno aplicado (Raymond et al., 2018; Taylor et al., 2010). Estas brechas de investigación refuerzan la pertinencia del presente estudio y la necesidad de relacionar el rendimiento neuromuscular con el estadio de maduración biológica, el control técnico estandarizado y las variables cinéticas para interpretar con mayor precisión el progreso funcional real (Standing et al., 2019; Raymond et al., 2018).

Al contrastar estos hallazgos con el ABK, la integración en el salto del balanceo de brazos presenta una contribución coordinativa adicional que puede significar un aumento entre el 10 y el 20% de la altura total del salto, aunque con alta variabilidad individual (Snyder et al., 2018). En este estudio, sin embargo, tanto la altura de salto como el impulso concéntrico mejoraron de forma significativa y de magnitud comparable entre CMJ y ABK, lo que sugiere que, en esta cohorte de escolares no especializados, el balanceo de brazos no diluyó la expresión de las adaptaciones neuromusculares en el output final del salto, sino que ambos gestos respondieron de manera consistente al mismo estímulo de desarrollo.

Por otra parte, la fase excéntrica de frenado si tuvo una magnitud de cambio en menor medida que el componente concéntrico, puesto que solo el impulso de desaceleración excéntrica en CMJ mostró un



cambio estadísticamente significativo, y de magnitud pequeña ($d=0,22$) frente al efecto mediano-grande del impulso concéntrico ($d=0,79$). El impulso concéntrico está estrechamente ligado a la gestión de la energía en las fases previas: una estrategia de desaceleración excéntrica eficiente y un impulso de frenado controlado permiten almacenar energía elástica para liberarla en la fase concéntrica (Cormie et al., 2009). La literatura sugiere que las adaptaciones en la fase de frenado pueden manifestarse antes que los incrementos en la altura de vuelo (Gathercole et al., 2015), aunque nuestros resultados con un cambio pequeño y aislado en una sola variable excéntrica no permiten confirmar esta secuencia temporal en este grupo de escolares.

Este estudio presenta limitaciones que deben considerarse en la interpretación de los resultados. Al tratarse de un diseño sin grupo control, no se descarta la incidencia de variables externas no controladas, como el crecimiento y la maduración biológica durante el período de los tres meses de seguimiento, la carga de actividad física extracurricular o el estado nutricional, sobre las adaptaciones registradas. La base de datos no incluye ninguna medición de maduración biológica (PVC, edad ósea o estadio de Tanner), por lo que la ausencia de clasificación por PVC aumenta el riesgo de error en la detección de efectos diferenciales entre estadios madurativos, dado que la variabilidad biológica no estratificada puede atenuar las diferencias reales entre subgrupos (Standing et al., 2019).

Finalmente, el impulso de desaceleración excéntrica en CMJ fue la única variable cuyas diferencias pareadas no siguieron una distribución normal (Shapiro-Wilk, $p=0,025$); su cambio significativo se confirmó mediante la prueba de Wilcoxon, estadísticamente apropiada en este caso, aunque su magnitud fue pequeña ($d=0,22$). Futuros estudios deberían incorporar la clasificación

madurativa mediante el método Mirwald, contar con aprobación de un comité de ética institucional, incluir un grupo control que permita aislar el efecto del crecimiento natural, y ampliar la muestra pareada hasta $n \geq 60$ por grupo para mejorar la potencia estadística.

5. Conclusiones

Los datos longitudinales de esta investigación con 34 estudiantes adolescentes indican que el impulso concéntrico normalizado por masa corporal presentó la mayor magnitud de cambio tras tres meses de seguimiento tanto en CMJ ($d=0,79$) como en ABK ($d=0,74$), superando a la métrica de altura de salto en ambas pruebas (CMJ: $d=0,48$ y ABK: $d=0,51$). De las variables de la fase excéntrica de frenado, solo el impulso de desaceleración excéntrica en CMJ mostró un cambio estadísticamente significativo, de magnitud pequeña ($d=0,22$). Estos hallazgos son consistentes con la inclusión del impulso concéntrico normalizado como variable complementaria en el monitoreo neuromuscular de escolares adolescentes, si bien la ausencia de datos de maduración biológica y de grupo control impide atribuir estos cambios exclusivamente a un efecto de entrenamiento o desarrollo natural.

Implicaciones para la puesta en práctica: en el contexto del seguimiento naturalístico de escolares adolescentes, donde la altura de salto puede mostrar cambios de magnitud pequeños, el análisis del impulso concéntrico normalizado puede aportar información complementaria sobre el progreso neuromuscular que oriente la toma de decisiones del profesor de educación física. Dado que el crecimiento y la maduración pueden introducir variabilidad en las métricas basadas en masa corporal absoluta, las variables normalizadas por masa, como el impulso concéntrico relativo, podrían ofrecer



una variante de evaluación adicional; esta posibilidad debería confirmarse en estudios futuros con grupo control y clasificación madurativa.

6. Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflictos de interés.

7. Referencias

Albaladejo-Saura, M., Vaquero-Cristóbal, R., & Esparza-Ros, F. (2022). Métodos de estimación de la maduración biológica en Ciencias del Deporte: Revisión bibliográfica. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 17(53), 55-75. <https://doi.org/10.12800/ccd.v17i53.1925>

Amatori, S., Pintus, A., Corsi, L., Bensi, R., Zanini, L., Rocco, V., Guidetti, L., Baldari, C., Rocchi, M. B. L., Sisti, D., & Perroni, F. (2024). Chronological age, relative age, pubertal development, and their impact on countermovement jump performance in adolescent football players: An integrative analysis. *Heliyon*, 10(17), e36879. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36879>

Ben-Shachar, M., Lüdtke, D., & Makowski, D. (2020). Effectsize: Estimation of Effect Size Indices and Standardized Parameters. *Journal of Open Source Software*, 5(56), 2815. <https://doi.org/10.21105/joss.02815>

Bright, T., Handford, M. J., Hughes, J. D., Mundy, P. D., Lake, J. P., & Doggart, L. (2023). Development and Reliability of Countermovement Jump Performance in Youth Athletes at Pre-, Circa- and Post-Peak Height Velocity. *International Journal of Strength and Conditioning*, 3(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v3i1.149>

Cabarkapa, D. V., Cabarkapa, D., Philipp, N. M., & Fry, A. C. (2024). Competitive Season-

Long Changes in Countermovement Vertical Jump Force-Time Metrics in Female Volleyball Players. *Journal of strength and conditioning research*, 38(2), e72–e77. <https://doi.org/10.1519/jsc.00000000000004713>

Cameron, B., Steele, J., & Bridgeman, L. (2025). The Reliability and Validity of Different Methods for Measuring Countermovement Jump Height. *International Journal of Strength and Conditioning*, 5(1). <https://doi.org/10.47206/ijsc.v5i1.406>

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203771587>

Cormie, P., McBride, J. M., & McCaulley, G. O. (2009). Power-time, force-time, and velocity-time curve analysis of the countermovement jump: impact of training. *Journal of strength and conditioning research*, 23(1), 177–186. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181889324>

Gathercole, R., Sporer, B., Stellingwerff, T., & Sleivert, G. (2015). Alternative countermovement-jump analysis to quantify acute neuromuscular fatigue. *International journal of sports physiology and performance*, 10(1), 84–92. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2013-0413>

Hammami, R., Ben Ayed, K., Abidi, M., Werfelli, H., Ajailia, A., Selmi, W., Negra, Y., Duncan, M., Rebai, H., & Granacher, U. (2022). Acute effects of maximal versus submaximal hurdle jump exercises on measures of balance, reactive strength, vertical jump performance and leg stiffness in youth volleyball players. *Frontiers in physiology*, 13, 984947. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.984947>

Huebner, A., Lever, J. R., Clark, T. W.,



Hauenstein, J. D., & Wagle, J. P. (2025). Novel Use of Generalizability Theory to Optimize Countermovement Jump Data Collection in Female Athletes. *Sports* (Basel, Switzerland), 13(12), 425. <https://doi.org/10.3390/sports13120425>

Kirby, T. J., McBride, J. M., Haines, T. L., & Dayne, A. M. (2011). Relative net vertical impulse determines jumping performance. *Journal of applied biomechanics*, 27(3), 207–214. <https://doi.org/10.1123/jab.27.3.207>

Kozinc, Ž. (2022). Is the Shape of the Force-Time Curve Related to Performance in Countermovement Jump? A Review. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 50(3), 49–57. <https://doi.org/10.1615/critrevbiomedeng.2022045205>

Namiki, T., Samukawa, M., Takagi, E., Ishida, T., Bizzini, M., Kyotani, N., Komatsuzaki, M., Nara, G., Koshino, Y., Kasahara, S., & Tohyama, H. (2025). Association Between Maturity Status, Landing Force, and Jump Performance in Adolescent Male Soccer Players. *International journal of sports physical therapy*, 20(8), 1131–1141. <https://doi.org/10.26603/001c.142237>

Marques, J. B., Sideris, V., Rabelo, F., Maria, T. S., Marques, L., & Buchheit, M. (2026). Jump height lies: Force–time CMJ metrics reveal hidden neuromuscular responses in elite football. *Sport Performance & Science Reports*, Art. 293, v1. <https://sportperfsci.com>

Philipp, N. M., Cabarkapa, D., Nijem, R. M., & Fry, A. (2023). Changes in countermovement jump force-time characteristic in elite male basketball players: A season-long analyses. *PLOS ONE*, 18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0286581>

Raymond, F., Lussier, B., Dugas, F., Charbonneau, M., Croteau, F., Kennedy, C., & Berryman, N. (2018). Using Portable Force Plates to Assess Vertical Jump Performance: A Metrological Appraisal. *Sports* (Basel, Switzerland), 6(4), 149. <https://doi.org/10.3390/sports6040149>

Snyder, B. W., Munford, S. N., Connaboy, C., Lamont, H. S., Davis, S. E., & Moir, G. L. (2018). Assessing Plyometric Ability during Vertical Jumps Performed by Adults and Adolescents. *Sports* (Basel, Switzerland), 6(4), 132. <https://doi.org/10.3390/sports6040132>

Standing, R. J., Maulder, P. S., Best, R., & Berger, N. J. A. (2019). The influence of maturation on functional performance and injury markers in male youth. *Cogent Medicine*, 6(1). <https://doi.org/10.1080/2331205X.2019.1632017>

Taylor, K. L., Cronin, J., Gill, N. D., Chapman, D. W., & Sheppard, J. (2010). Sources of variability in iso-inertial jump assessments. *International journal of sports physiology and performance*, 5(4), 546–558. <https://doi.org/10.1123/ijsp.5.4.546>

Tishukaj, F., Shalaj, I., Gjaka, M., Wessner, B., & Tshan, H. (2021). Lower Limb Force and Power Production and Its Relation to Body Composition in 14-to 15-Year-Old Kosovan Adolescents. *Advances in Physical Education*, 11, 61-81. doi: 10.4236/ape.2021.111005

World Medical Association. (2025). World Medical Association Declaration of Helsinki: Ethical Principles for Medical Research Involving Human Participants. *JAMA*, 333(1), 71–74. doi:10.1001/jama.2024.21972