



Relación entre composición corporal y agilidad tras el uso de tecnologías emergentes en el calentamiento deportivo

Relationship between body composition and agility following the use of emerging technologies in sports warm-ups

Cardozo, LA^{1ABCD}; Cárdenas, LF^{2AC}; Peña-Ibagón, J^{3AC}; Castillo-Daza, C^{4BC}; Reina-Monroy, J^{5BC}

¹ Grupo de investigación Cuerpo, Deporte y Recreación GICDER-Uniminuto, Colombia, lualca7911@gmail.com

² Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, lcardenas78@areandina.edu.co

³ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, jpena69@areandina.edu.co

⁴ Fundación Universitaria del Área Andina, Colombia, ccastillo44@areandina.edu.co

⁵ Grupo de investigación Cuerpo, Deporte y Recreación GICDER-Uniminuto, Colombia, javier.reinam@uniminuto.edu

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

Recibido el 27 de junio de 2025

Aceptado el 18 de noviembre de 2025

DOI: 10.24310/riccafd.14.2.2025.21133

Correspondencia: Luis Alberto Cardozo. lualca7911@gmail.com

RESUMEN

Este estudio examinó la relación entre la composición corporal, en particular la masa muscular, y los efectos agudos de dos modalidades de calentamiento mediante dispositivos tecnológicos. Veintidós participantes (edad: 24.5 ± 2.82 años) fueron asignados aleatoriamente a uno de tres grupos mediante un procedimiento de aleatorización simple computarizada: un grupo de entrenamiento inercial (EI, n=7) que utilizó el dispositivo RSP-Squat, un grupo de entrenamiento con VertiMax (EV, n=8) y un grupo control (GC, n=7) que realizó un calentamiento estandarizado. Tras un calentamiento basal de 15 minutos, cada grupo experimental ejecutó su protocolo de intervención correspondiente. La agilidad se evaluó antes y después de la intervención en cuatro momentos distintos. Se observó un efecto de interacción significativo entre las condiciones de pre-test y post-test ($p < 0.001$). Los análisis específicos por grupo mostraron mejoras significativas únicamente en el grupo EV, con

tiempos de agilidad inferiores a partir de la medición realizada a los 5 minutos de recuperación ($p < 0.05$). No se encontraron diferencias significativas entre los grupos ($p = 0.786$). Respecto a la composición corporal, los análisis frecuentistas y bayesianos revelaron una relación específica, aunque de evidencia débil, entre un mayor porcentaje de grasa corporal y peores tiempos en el test de agilidad ($p = 0.05$; $BF_{10} = 1.81$). No se hallaron relaciones significativas con la masa muscular. Se concluye que, bajo la carga de entrenamiento establecida, ambos protocolos (inercial y VertiMax) son adecuados para mejorar el rendimiento de agilidad, sin diferencias significativas entre sí.

PALABRAS CLAVE: fuerza muscular, capacidad de salto, descanso.

ABSTRACT

This study examined the relationship between body composition, particularly muscle mass, and the acute effects of two warm-up modalities using technological devices. Twenty-two participants (age: 24.5 ± 2.82 years) were randomly assigned to one of three groups through a computerized simple randomization procedure: an inertial training group (IT, $n=7$) using the RSP-Squat device, a VertiMax training group (VT, $n=8$), and a control group (CG, $n=7$) that performed a standardized warm-up. After a 15-minute baseline warm-up, each experimental group executed its corresponding intervention protocol. Agility was assessed at four time points before and after the intervention. A significant interaction effect was observed between the pre-test and post-test conditions ($p < .001$). Group-specific analyses showed significant improvements in the VT group only, with lower agility times (indicating better performance) starting at the 5-minute post-recovery measurement ($p < .05$). No significant differences were found between groups ($p = .786$). Regarding body composition, frequentist and Bayesian analyses revealed a specific, albeit weak, relationship between a higher body fat percentage and worse agility test times ($p = .05$; $BF_{10} = 1.81$). No significant relationships were found with muscle mass. It is concluded that, under the established training load, both inertial and VertiMax training protocols are suitable for improving agility performance, with no significant differences between them.

KEY WORDS: muscle strength, jumping ability, rest.

INTRODUCCIÓN

La agilidad es un componente fundamental del rendimiento deportivo, particularmente en deportes colectivos que exigen cambios rápidos de dirección y movimientos dinámicos (1). Esta capacidad depende de múltiples factores, como el equilibrio, la fuerza muscular y la composición corporal, y presenta diferencias específicas según el género (2). Las pruebas de agilidad han demostrado ser altamente fiables, destacándose los métodos basados en estímulos humanos y de vídeo como los más eficaces (3).

Diversas estrategias de entrenamiento, como el sprint, la pliometría y los ejercicios de cambio de dirección, han mostrado su eficacia en la mejora de la

agilidad (1, 4, 5). En este contexto, tecnologías emergentes (6), como el dispositivo VertiMax y las máquinas inerciales, han captado atención por su potencial para inducir mejoras en el rendimiento deportivo, especialmente en fuerza, potencia y salto (7, 8). Sin embargo, los estudios que evalúan su impacto específico en la agilidad son escasos, particularmente en relación con sus efectos agudos como parte de estrategias de calentamiento.

La composición corporal también ha sido identificada como un factor clave en el rendimiento relacionado con la agilidad. Investigaciones previas han evidenciado relaciones significativas entre la masa muscular, la fuerza, la estabilidad y la agilidad en diversas disciplinas deportivas (9, 10). Estos hallazgos sugieren que las características físicas individuales pueden influir en la eficacia de diversas metodologías de entrenamiento; no obstante, es necesario profundizar en su papel en contextos específicos de calentamiento con tecnologías avanzadas.

A pesar de los avances en esta área, persiste una brecha en la literatura sobre cómo la composición corporal(11), en particular, la masa muscular modula las respuestas agudas a diferentes enfoques de calentamiento, como el entrenamiento inercial y el uso del VertiMax. Además, no está claro si estas metodologías generan adaptaciones agudas en la agilidad mediante mecanismos como la Mejora del Rendimiento Posterior a la Activación (PAPE), frecuentemente asociada con calentamientos de alta resistencia y plataformas vibratorias (12).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo examinar la relación entre la composición corporal, en particular la masa muscular, y los efectos agudos de dos modalidades de calentamiento mediante dispositivos tecnológicos. A través de este enfoque, el estudio busca no solo aportar evidencia sobre el impacto de las tecnologías emergentes en el rendimiento de agilidad, sino también ofrecer directrices prácticas para su aplicación en contextos específicos de entrenamiento deportivo.

MATERIAL Y METODOS

Participantes

Se reclutaron 22 hombres físicamente activos, con una edad promedio de 24.5 ± 2.82 años, estatura de 1.70 ± 0.06 m, masa corporal de 68.69 ± 8.39 kg y un índice de masa corporal (IMC) de 23.56 ± 2.31 , provenientes de dos instituciones universitarias privadas en Bogotá. La selección de los participantes se realizó mediante una convocatoria abierta, aplicando los criterios de inclusión, que requerían ser físicamente activos según el cuestionario IPAQ y estar clínicamente aptos para realizar el entrenamiento físico, verificados mediante el cuestionario PAR-Q. Se excluyeron aquellos con antecedentes de lesiones musculoesqueléticas recientes o de condiciones médicas que pudieran limitar el ejercicio. Posteriormente, los participantes fueron asignados aleatoriamente a tres grupos experimentales: un grupo de tecnologías emergentes con el

dispositivo VertiMax® (EV, n = 8), un grupo de entrenamiento inercial con el equipo RPS Squat® (EI, n = 7), y un grupo control (GC, n = 7). La asignación de los participantes a los tres grupos (EI, EV y Control) se realizó mediante aleatorización simple. Se generó una secuencia de aleatorización mediante la función de números aleatorios en una hoja de cálculo de Microsoft Excel (Microsoft Corp., USA). Este procedimiento aseguró que cada sujeto tuviera la misma probabilidad de ser asignado a cualquiera de los grupos, minimizando el riesgo de sesgos de selección. El diseño del estudio fue experimental, con medidas pre y post intervención.

Procedimientos

Para la medición del nivel de actividad física se utilizó la versión corta del Cuestionario Internacional de Actividad Física (IPAQ). Este instrumento ha demostrado una confiabilidad moderada (CCI = 0.655) y una validez moderada (CCI = 0.434) para medir el gasto energético en población adulta colombiana (13). Su uso en estudios de vigilancia en Colombia y otros países de Latinoamérica está respaldado por investigaciones que reportan una alta confiabilidad y una validez de criterio moderada (14). Para el cribado de seguridad previo a la participación, se utilizó el Cuestionario de Preparación para la Actividad Física para Todos (PAR-Q+) en su versión en español. Esta versión, empleada como estándar internacional, ha demostrado una excelente consistencia interna (α de Cronbach = 0.995) y una fiabilidad test-retest casi perfecta (κ entre 0.88 y 1.00) en población de habla hispana, incluida la colombiana (15). La composición corporal se evaluó mediante un analizador de impedancia bioeléctrica (BIA) de mano y pies (modelo OMRON HBF-514C, Omron Healthcare, Japón), instrumento que ha presentado buena fiabilidad en estudios previos (16). Para la medición, los participantes se situaron de pie, descalzos y con los pies limpios y secos, sobre los electrodos de la plataforma del equipo. Sostuvieron el dispositivo con ambas manos, asegurando que los pulgares hicieran contacto completo con los electrodos palmares, con los brazos extendidos y formando un ángulo de aproximadamente 90° con el torso. La estatura se midió con un estadiómetro portátil de ultrasonido InBody (modelo InBody InLab, Co., Ltd, Corea), (rango 50 – 200 cm, margen de error \pm 0.5 cm), con el participante en posición de Frankfurt y descalzo. Para la evaluación de la agilidad se empleó el Test T (17), un test ampliamente aceptado en la literatura científica (18). El tiempo de carrera se registró utilizando el dispositivo BlazePod®, que se activaba al inicio y final de cada recorrido, y la información era visualizada en una Tablet iPad 32 Gb (Apple Inc.).

El entrenamiento de salto resistido se realizó con el dispositivo VertiMax® (Modelo V8, Genetic Potential, Tampa, FL, USA), y el entrenamiento inercial se desarrolló con el equipo RPS Squat® (RSP Squat Sport®, dispositivo de radio fijo para entrenar la fase concéntrica y excéntrica de los miembros inferiores), el cual incluía el traductor de velocidad SmartCoach y la app RSP para visualizar la información.

Todos los participantes realizaron una sesión de familiarización con los dispositivos de entrenamiento y el test de agilidad antes de iniciar los protocolos

de intervención. Los protocolos se estructuraron de la siguiente manera: Día 1: Grupo Control; Día 2: Grupo EV; Día 3: Grupo EI. En todos los grupos se implementó un calentamiento estandarizado de 15 minutos, que consistió en un trote continuo durante 5 minutos, desplazamientos hacia atrás y laterales (1 minuto por cada tipo), y una activación de los músculos de los miembros inferiores y de la cintura pélvica, que incluyó desplazamientos de estocadas, estocadas laterales y elevaciones de piernas alternadas. Además, se realizaron 2 ejercicios de fuerza muscular para activar los grupos musculares, compuestos por sentadillas (2 series de 5 repeticiones) y saltos CMJ (2 series de 2 repeticiones). Después de un descanso de 6 minutos, se realizó la valoración inicial de agilidad.

Protocolos de Intervención:

- Grupo EV: Los participantes realizaron saltos verticales similares al Abalakov utilizando el dispositivo VertiMax®. Estaban sujetos a bandas de resistencia en la cintura y las manos (4 resistencias en total) y realizaron una serie de 8 saltos a máxima intensidad.
- Grupo EI: Los participantes realizaron 2 repeticiones de sentadilla para generar inercia en el flywheel. Posteriormente, realizaron una serie de 6 repeticiones a máxima velocidad concéntrica. El dispositivo RPS Squat® utilizó 4 masas de aluminio (240 g cada una) para el entrenamiento inercial.
- Grupo Control: Después del calentamiento estandarizado, los participantes solo realizaron las valoraciones pre y post test en los mismos periodos de tiempo que los grupos experimentales.

En ambos grupos experimentales (EV y EI) se proporcionó retroalimentación constante para asegurar que los participantes dieran su máximo esfuerzo. Además, dos investigadores capacitados se ubicaron a ambos lados de los dispositivos para garantizar la correcta ejecución técnica. Finalmente, todos los grupos experimentales realizaron el Test T de agilidad a los 2, 5 y 5:30 minutos después de completar sus respectivos protocolos de entrenamiento.

Esta investigación forma parte de un proyecto más amplio. El proyecto fue aprobado por el Comité de Ética en Investigación de la Corporación Universitaria Minuto de Dios (Acta 04 de 2023). Para su desarrollo, se siguieron los lineamientos establecidos en la Declaración de Helsinki de 2013 (19).

Análisis de los datos

Se verificó la distribución normal de los datos mediante la prueba Shapiro Wilk. Se utilizaron estadísticos descriptivos de tendencia central y de dispersión. Los análisis inferenciales para comparar el efecto de los protocolos de ejercicio dentro de cada grupo y entre grupos se utilizaron las pruebas de ANOVA de medidas repetidas de dos factores y la prueba de Bonferroni para las relaciones intergrupos. En estos análisis el nivel de significancia p fue de <0.05 . Adicionalmente, se realizaron análisis de asociación frecuentista y bayesiana

entre las variables de estudio mediante la prueba de tau-b de Kendall. Los análisis estadísticos se realizaron en el software de acceso libre JASP®.

RESULTADOS

Análisis de tiempo de carrera en el test de agilidad

Los resultados del análisis estadístico descriptivo y el ANOVA de medidas repetidas sobre el tiempo de carrera en el test de agilidad se presentan en la Tabla 1. Los datos en todos los momentos de medición (pretest y posttest) mostraron una distribución normal ($p > 0.05$ en la prueba de Shapiro-Wilk), por lo que no se violó el supuesto de normalidad para el análisis paramétrico.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de la composición corporal y de los tiempos de agilidad.

Variable	Grupo	Pretest Media (DE)	Post 2 min Media (DE)	Post 5 min Media (DE)	Post 5:30 min Media (DE)
Masa Muscular (%)	Control	39.17 (5.00)	-	-	-
	EI	41.14 (2.25)	-	-	-
	EV	40.96 (1.99)	-	-	-
Grasa Corporal (%)	Control	19.70 (3.76)	-	-	-
	EI	17.63 (3.96)	-	-	-
	EV	19.41 (3.68)	-	-	-
Tiempo de Agilidad (s)	Control	12.84 (1.18)	12.33 (0.82)	12.35 (0.72)	12.45 (0.80)
	EI	12.69 (1.59)	12.59 (0.87)	11.79 (0.71)	11.75 (0.93)
	EV	13.52 (2.21)	12.15 (0.35)	11.84 (0.39)	11.67 (0.51)

EI = Entrenamiento Inercial; EV = Entrenamiento con VertiMax; DE = Desviación Estándar.

Los resultados del ANOVA de medidas repetidas revelaron un efecto principal estadísticamente significativo del factor Tiempo en el rendimiento de agilidad ($F(3, 57) = 8.34$; $p < .001$; $\eta^2p = 0.31$), lo que indica que los tiempos de carrera se modificaron significativamente a lo largo de las diferentes mediciones posteriores al calentamiento. Sin embargo, la interacción Tiempo x Grupo no fue significativa ($F(6, 57) = 1.71$; $p = .136$; $\eta^2p = 0.15$), lo que sugiere que el patrón de cambio en el rendimiento a lo largo del tiempo no difirió entre los grupos de intervención (Entrenamiento Inercial y VertiMax) y el grupo control. Asimismo, no se encontró un efecto principal significativo del factor Grupo ($F(2, 19) = 0.244$; $p = 0.786$; $\eta^2p = 0.025$), lo que indica que, al considerar todos los momentos de

medición en conjunto, no se observaron diferencias generales en el rendimiento de agilidad entre los tres grupos.

El análisis post hoc con corrección de Bonferroni reveló una disminución secuencial significativa únicamente en el grupo que utilizó el dispositivo VertiMax en los tiempos de carrera del test de agilidad. Específicamente, se encontró una diferencia significativa entre el pretest y el minuto 5 de descanso ($p = 0.006$), así como entre el minuto 5 y el minuto 5:30 de descanso ($p < 0.001$). Este efecto no se evidenció en el grupo que siguió el protocolo de entrenamiento inercial, en el que no se observaron mejoras estadísticamente significativas en los tiempos de carrera.

Análisis de asociación entre las variables de estudio

Los resultados de los análisis de asociación frecuentista y bayesiano, utilizando la prueba de tau-b de Kendall, se detallan en la Tabla 2. En el análisis frecuentista, no se hallaron asociaciones significativas entre la masa muscular y los tiempos de desplazamiento. Sin embargo, se observó una asociación significativa entre la masa grasa y los tiempos de desplazamiento en el postest, específicamente en el minuto 5:30 de descanso.

Tabla 2. Correlación frecuentista y bayesiana entre la composición corporal y los resultados del test de agilidad.

Variable		% Masa Muscular	% Grasa corporal	Pretest	Post 2	Post 5
% Fat	Kendall's Tau B	-0.73	—			
	p-value	< .001***	—			
	BF ₁₀	12161.79†††	—			
Pretest	Kendall's Tau B	-0.10	0.14	—		
	p-value	0.52	0.37	—		
	BF ₁₀	0.34	0.40	—		
Post 2	Kendall's Tau B	-0.16	0.22	0.46	—	
	p-value	0.30	0.16	0.00**	—	
	BF ₁₀	0.46	0.71	17.89†	—	
Post 5	Kendall's Tau B	-0.22	0.29	0.48	0.35	—
	p-value	0.15	0.06	0.00**	0.02*	—
	BF ₁₀	0.75	1.44	29.16†	3.30	—
Post 5:30	Kendall's Tau B	-0.18	0.31*	0.44	0.39	0.74
	p-value	0.24	0.05	0.01**	0.01*	< .001***
	BF ₁₀	0.54	1.86	13.91 †	5.84	13422.08†††

Nota. Significancia para los análisis frecuentistas. * $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$
Significancia para los análisis bayesianos † BF₁₀ > 10, †† BF₁₀ > 30, ††† BF₁₀ > 100

Los factores de Bayes (BF) no proporcionaron evidencia a favor de la hipótesis alternativa, lo que indica que no hubo pruebas suficientes para establecer una relación entre las variables de la composición corporal y los tiempos de desplazamiento en el test de agilidad.

A pesar de la falta de asociación significativa en los análisis frecuentistas, se observó una correlación inversa robusta entre la masa muscular y la masa grasa corporal. Este hallazgo fue respaldado por la prueba de correlación por pares bayesiana, con una hipótesis direccional negativa, que proporcionó evidencia muy sólida de que la correlación inversa entre estas dos variables es 24,323 veces más probable que la hipótesis nula ($BF_{-0} = 24,323$). La Figura 1a muestra esta correlación negativa, en la que los datos se distribuyen a la izquierda de Kendall = 0, con un valor medio de -0.626. Además, el punto gris de la línea discontinua es superior al de la distribución a posteriori (punto gris de la línea continua), lo que respalda la hipótesis alternativa de una relación entre la masa muscular y la grasa corporal. La Figura 1b ilustra el análisis de robustez del Factor de Bayes, mostrando los valores del BF que se obtendrían si el modelo alternativo se especificara de forma distinta, con un rango entre 0 y 2.

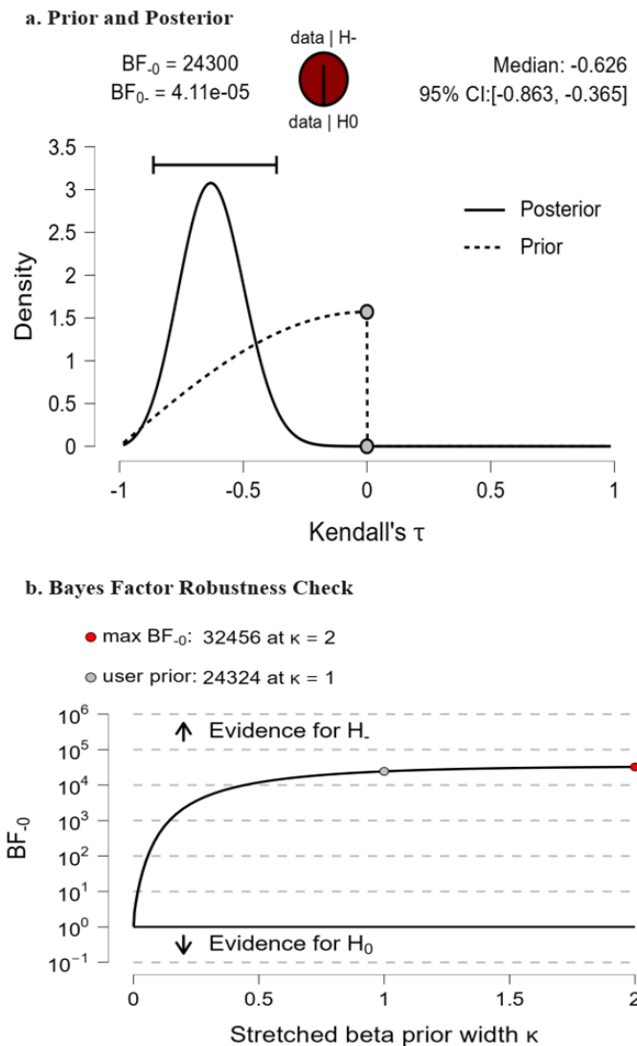


Figura 1. Correlación bayesiana por pares. La figura a: La línea discontinua muestra la distribución uniforme a priori. La línea continua muestra la distribución posterior obtenida a partir del conjunto de datos analizados.

DISCUSIÓN

El propósito de este estudio fue examinar la asociación entre la composición corporal y los efectos agudos de dos modalidades de calentamiento, el entrenamiento inercial y el VertiMax, sobre la agilidad. Un objetivo secundario fue comparar la eficacia relativa de ambas modalidades para mejorar el rendimiento en esta capacidad.

Los resultados sugieren que el calentamiento con VertiMax puede mejorar la agilidad en hombres físicamente activos. En particular, el análisis *post hoc* con la corrección de Bonferroni mostró una disminución secuencial significativa en los tiempos de carrera en el test de agilidad entre el pretest y los minutos 5 y 5:30 de descanso en el grupo que realizó entrenamiento con VertiMax. Este fenómeno de mejora aguda del rendimiento puede estar vinculado a las adaptaciones neuromusculares inmediatas documentadas recientemente (20). Las mejoras en la capacidad de generar fuerza rápidamente y en el reclutamiento de unidades motoras, fundamentales para la agilidad, se han reportado como efectos agudos en protocolos de calentamiento que utilizan tecnología de resistencia avanzada (20–22). El hecho de que este efecto no se observara en el grupo de entrenamiento inercial y de que no se encontraran diferencias significativas entre los grupos de estudio acentúa la naturaleza específica de la respuesta al estímulo y subraya la necesidad de explorar más profundamente las razones que subyacen a las diferencias observadas entre ambos métodos. Es crucial investigar cómo la transferencia específica al contexto de la agilidad que involucra componentes cognitivos como la toma de decisiones y la percepción, además de las cualidades físicas, puede variar entre distintas modalidades de calentamiento tecnológico (4, 23).

Una posible causa de las escasas mejoras en la agilidad del grupo de ejercicio inercial podría ser la falta de familiarización con este tipo de entrenamiento, especialmente durante la fase excéntrica muscular. Sin embargo, varios estudios transversales que destacan la correlación entre los niveles de fuerza muscular excéntrica y el rendimiento en actividades de agilidad (5, 21), como los cambios de dirección en futbolistas (6). Adicionalmente, la posible escasa transferencia de un tipo de ejercicio a otro con demandas cinemáticas diferentes puede limitar los efectos positivos (1).

Un hallazgo central de este estudio radica en la ausencia de una asociación directa entre la masa muscular aislada y el rendimiento en agilidad. Los análisis, tanto frecuentistas como bayesianos, no aportaron evidencia concluyente que respaldara una relación lineal entre estas variables. Sin embargo, se identificó una correlación inversa significativa entre la masa muscular y el porcentaje de grasa corporal. Este resultado sugiere que, más que la masa muscular por sí sola, es la proporción general entre masa magra y grasa un indicador integral de la calidad corporal, la que emerge como un factor potencialmente influyente en el rendimiento de agilidad (11). Esta interpretación se alinea con la literatura actual, en la que un mayor porcentaje de grasa corporal se asocia de manera consistente con un menor rendimiento en actividades que requieren fuerza explosiva y potencia. Por ejemplo, en atletas de judo de alto nivel, se han observado correlaciones negativas robustas entre el porcentaje de grasa total y regional y el rendimiento en tests específicos de fuerza y potencia

(24). De manera similar, en jugadores de baloncesto, una mayor proporción de grasa corporal se correlaciona negativamente con la altura del salto y la potencia anaeróbica, mientras que una mayor masa libre de grasa muestra la asociación opuesta (25). La masa grasa parece ejercer un efecto perjudicial en pruebas de salto, tanto vertical como horizontal, donde el exceso de adiposidad actúa como una carga inerte, comprometiendo la capacidad de generar fuerza rápidamente (26). Por lo tanto, nuestros hallazgos trascienden la búsqueda de una relación simple y destacan la importancia de optimizar la composición corporal en su conjunto para potencialmente mejorar capacidades físicas complejas como la agilidad.

La complejidad de los factores que influyen en la agilidad se evidencia en la ausencia de asociaciones directas entre la composición corporal y esta capacidad física. La agilidad no solo depende de la fuerza muscular, sino también de la coordinación, la velocidad, las activaciones neuromusculares específicas y la técnica de carrera (2, 27). Estos hallazgos son parcialmente inconsistentes con estudios previos que han identificado relaciones significativas entre la composición corporal y la agilidad en distintas poblaciones (9, 28, 29). Tales discrepancias pueden explicarse por diferencias en las características de las muestras, los diseños metodológicos y las pruebas empleadas en cada investigación.

Estos resultados tienen implicaciones prácticas para la planificación del entrenamiento deportivo. La elección del método de calentamiento, como el VertiMax, podría ser clave para mejorar la agilidad en ciertos contextos específicos, particularmente durante las fases iniciales de actividad posterior al calentamiento. Asimismo, la atención a la composición corporal, especialmente a la proporción entre masa muscular y grasa, podría resultar relevante para optimizar el rendimiento en agilidad. Además, los hallazgos resaltan la importancia de desarrollar entrenamientos que consideren tanto las adaptaciones neuromusculares como la especificidad de las demandas deportivas.

En cuanto a la aplicabilidad de los métodos a otros contextos deportivos, el VertiMax podría ser útil en disciplinas que requieran aceleraciones rápidas y cambios de dirección frecuentes, como el baloncesto o el tenis. Sin embargo, el entrenamiento inercial podría requerir una mayor adaptación y un diseño específico para lograr transferencias significativas a escenarios de agilidad compleja (referencia). Finalmente, los entrenadores y preparadores deberán considerar las limitaciones individuales y las demandas específicas de cada deporte al implementar estas estrategias.

LIMITACIONES Y CAMINOS FUTUROS

A pesar de los resultados obtenidos, la generalización de estos presenta limitaciones derivadas del tamaño reducido de la muestra y de la selección exclusiva de participantes masculinos físicamente activos. Este estudio contribuye a la comprensión de los efectos agudos de las tecnologías emergentes de calentamiento sobre la agilidad; sin embargo, es necesario

reconocer que la evaluación se centró en un test de agilidad predecible, lo que podría no reflejar plenamente el rendimiento en contextos deportivos con estímulos impredecibles.

Las investigaciones futuras deberían abordar estas limitaciones mediante la inclusión de muestras más grandes y diversas, así como de mujeres atletas. Asimismo, se sugiere explorar cómo variables como la experiencia de entrenamiento o la técnica individual modulan la respuesta aguda a estos métodos. La aplicación de modelos de análisis bayesianos más sofisticados también podría proporcionar una comprensión más profunda y matizada de las relaciones entre las variables estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradecimiento especial a los participantes del estudio.

REFERENCIAS

1. Forster JWD, Uthoff AM, Rumpf MC, Cronin JB. Training to improve pro-agility performance: A systematic review. *J Hum Kinet.* 2022; 85(1):35–51.
2. Sekulic D, Spasic M, Mirkov D, Cavar M, Sattler T. Gender-specific influences of balance, speed, and power on agility performance. *J Strength Cond Res.* 2013; 27(3):802–11.
3. Paul DJ, Gabbett TJ, Nassis GP. Agility in team sports: Testing, training and factors affecting performance. *Sports Medicine.* 2016; 46(3):421–42.
4. Thongnum P, Phanpheng Y. Effectiveness of complex agility training program for amateur male soccer players. *Teoriâ ta Metodika Fizičnogo Vihovannâ [Physical Education Theory and Methodology].* 2022; 22(2):188–93.
5. Chaabene H, Prieske O, Negra Y, Granacher U. Change of direction speed: Toward a strength training approach with accentuated eccentric muscle actions. *Sports Medicine.* 2018; 48(8):1773–9.
6. Tous-Fajardo J, Gonzalo-Skok O, Arjol-Serrano JL, Tesch P. Enhancing change-of-direction speed in soccer players by functional inertial eccentric overload and vibration training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016; 11(1):66–73.
7. Rhea MR, Peterson MD, Oliverson JR, Ayllón FN, Potenziano BJ. An examination of training on the vertimax resisted jumping device for improvements in lower body power in highly trained college athletes. *J Strength Cond Res.* 2008; 22(3):735–40.
8. Naczki M, Naczki A, Brzenczek-Owczarzak W, Arlet J, Adach Z. Impact of inertial training on strength and power performance in young active men. *J Strength Cond Res.* 2016; 30(8):2107–13.
9. Singh Dhapola M, Verma B. Relationship of body mass index with agility and speed of university players. *International Journal of Physical Education, Sports and Health.* 2017; 4(2):313–5.
10. Cengizhan P, Cobanoglu G, Gokdogan C, Zorlular A, Akaras E, Orer G, et al. The relationship between postural stability, core muscles endurance and agility in professional basketball players. *Ann Med Res.* 2019; 26(10):2181–6.
11. Goonasegaran AR, Nabila FN, Shuhada NS. Comparison of the effectiveness of body mass index and body fat percentage in defining body composition. *Singapore Med J.* 2012; 53(6):403–8.

12. Picón-Martínez M, Chulvi-Medrano I, Cortell-Tormo JM, Cardozo LA. La potenciación post-activación en el salto vertical: una revisión. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2019; (36):44–51.
13. Arango-Vélez EF, Echavarría-Rodríguez AM, Aguilar-González FA, Patiño-Villada FA. Validación de dos cuestionarios para evaluar el nivel de actividad física y el tiempo sedentario en una comunidad universitaria de Colombia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. 2020; 38(1):1–11.
14. Hallal PC, Gomez LF, Parra DC, Lobelo F, Mosquera J, Florindo AA, et al. Lessons learned after 10 years of IPAQ use in Brazil and Colombia. *J Phys Act Health*. 2010; 7(S2):S259–64.
15. Schwartz J, Mas-Alòs S, Takito MY, Martínez J, Esther M, Cueto Á, et al. Cross-cultural translation, adaptation, and reliability of the Spanish version of the Physical Activity Readiness Questionnaire for Everyone (PAR-Q+). *The Health & Fitness Journal of Canada*. 2019; 12(4):3–14.
16. Vázquez-Bautista MA, Castilla-Arias E, Bautista-Jacobo A, Medina-Corral PE, Delgado-Gaytán F. Precision of body composition estimation from commercial bioelectrical impedance analysis devices in male Mexican soccer players. *Retos*. 2025; 64:394–402.
17. Pauole K, Madole K, Garhammer J, Lacourse M, Rozenek R. Reliability and validity of the t-test as a measure of agility, leg power, and leg speed in college-aged men and women. *J Strength Cond Res*. 2000; 14(4):443–50.
18. Sporis G, Jukic I, Milanovic L, Vucetic V. Reliability and factorial validity of agility tests for soccer players. *J Strength Cond Res*. 2010; 24(3):679–86.
19. Association World Medical. World medical association declaration of Helsinki: Ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA. American Medical Association*; 2013; 310(20):2191–4.
20. Harmanci H, Demirel P, Koç H, Tekin R. Effects of plyometric warm-up performed with different resistances on jumping performance as post-activation potentiation. *Journal of Human Sport and Exercise*. 2024; 19(4):1130–8.
21. Annibalini G, Contarelli S, Lucertini F, Guescini M, Maggio S, Ceccaroli P, et al. Muscle and systemic molecular responses to a single flywheel based iso-inertial training session in resistance-trained men. *Front Physiol*. 2019; 10:450747.
22. Oosthuizen C, Kramer M. In-season resisted-jump training enables power, agility, and jump-ability maintenance in university-level male rugby players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2023; 18(9):1062–71.
23. Spiteri T, Newton RU, Binetti M, Hart NH, Sheppard JM, Nimphius S. Mechanical determinants of faster change of direction and agility performance in female basketball athletes. *J Strength Cond Res*. 2015; 29(8):2205–14.
24. Delfa-de-la-Morena JM, Paes PP, Júnior FC, Feitosa RC, Oliveira DPL de, Mijarra-Murillo JJ, et al. Relationship of physical activity levels and body composition with psychomotor performance and strength in men. *Healthcare*. 2025; 13(15):1789.
25. Spiteri T, Newton RU, Nimphius S. Neuromuscular strategies contributing to faster multidirectional agility performance. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2015; 25(4):629–36.
26. Popowczak M, Horička P, Šimonek J, Domaradzki J. The functional form of the relationship between body height, body mass index and change of direction speed, agility in elite female basketball and handball players. *Int J Environ Res Public Health*. 2022; 19(22):15038.
27. Zanini D, Kuipers A, Somensi IV, Pasqualotto JF, Quevedo J de G, Teo JC, et al. Relationship between body composition and physical capacities in junior soccer players. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*. 2020; 22:e60769.