

Giraldo-García, J.; Cardona, D.; Hernández-Hernández, E. (202x) Correlation between Muscle Eco-Intensity and Vertical Jump in Schools. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. x (x) pp.xx Pendiente de publicación / In press.

ORIGINAL

CORRELACIÓN ENTRE ECO-INTENSIDAD MUSCULAR Y SALTO VERTICAL EN ESCOLARES

CORRELATION BETWEEN MUSCLE ECO-INTENSITY AND VERTICAL JUMP IN SCHOOLS

Giraldo-García, J.¹; Cardona, D.² y Hernández-Hernández, E.³

¹ Doctorando en Ciencias de la actividad Física y del Deporte. Universidad Pablo de Olavide de Sevilla, España. Médico Especialista en Medicina Aplicada a la Actividad física y al Deporte. Docente Planta, Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de Medellín (Colombia) juangiraldo@elpoli.edu.co

² PhD en Ciencias del Deporte. Docente Planta, Facultad de Educación Física, Recreación y Deporte. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid de Medellín (Colombia) dcardona@elpoli.edu.co

³ PhD Departamento de Deporte e Informática. Universidad Pablo de Olavide de Sevilla (España) ehernandez@upo.es

Código UNESCO/ UNESCO code: 2411.06 Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology. 3299.15 Medicina del deporte/ Sports Medicine.

Clasificación Consejo de Europa: 6. Fisiología del ejercicio / Exercise Physiology. 11. Medicina del deporte / Sports Medicine.

Recibido 25 de marzo de 2020 **Received** March 25, 2020

Aceptado 10 de agosto de 2020 **Accepted** August 10, 2020

RESUMEN

Objetivo: analizar las correlaciones entre la eco-intensidad (EI) del músculo cuádriceps medido por ecografía cuantitativa, y el salto vertical en niños en edad escolar. Metodología: Se realizó un estudio transversal, comparativo y no aleatorio. Se utilizó una muestra intencional compuesta por 184 niños escolares, entre 7 y 10 años. Imágenes transversales fueron obtenidas del cuádriceps femoral derecho por ecografía para determinar la eco-intensidad del recto femoral o anterior, vasto intermedio o crural y vasto lateral o externo. La fuerza explosiva fue medida mediante las pruebas de Salto con contra-movimiento (CMJ) y saltos repetidos por quince segundos (RJ15). Resultados: La EI de los componentes evaluados del cuádriceps se correlacionan significativamente con las mediciones derivadas del salto vertical tipo CMJ y RJ15 en niños y niñas entre 7 y 10 años (PP15R vs Dif 1C, Dif 2C, Dif 3C, $r = 0,53-0,59$).

PALABRAS CLAVE: Desarrollo muscular, Niños, Músculo cuádriceps, Ultrasonografía.

ABSTRACT

Objective: to analyze the correlations between the quadriceps muscle echointensity (IE) measured by quantitative ultrasound and the vertical jump in school-age children. Methodology: a cross-sectional, comparative and non-randomized study was carried out. An intentional sample composed of 184 school children, between 7 and 10 years old, was used. Transversal images of the right femoral quadriceps were obtained by ultrasound to determine the echo intensity of the rectus femoris or anterior, vast intermediate or crural and vast lateral or external. Explosive force was measured by with countermovement jump (CMJ) and repeated jumps for fifteen seconds (RJ15). Results: The EI of the evaluated components of the quadriceps correlates significantly with the measurements derived from the vertical jump type CMJ and RJ15 in boys and girls between 7 and 10 years (PP15R vs .Dif 1C, Dif 2C, Dif 3C, $r= 0,53-0,59$).

KEY WORDS: Muscle development, Child, Quadriceps muscle, Ultrasonography.

INTRODUCCIÓN

Saltar representa un movimiento multi-articular complejo, del cual, la potencia mecánica externa producida como el empuje de los pies contra el suelo es frecuentemente usada como medida de la potencia producida por los extensores de rodilla (1). También es considerado como un indicador de condición física muscular por su asociación positiva entre la masa magra muscular, el contenido mineral óseo y el nivel de condición física (2,3). El CMJ y los saltos continuos (RJ) son saltos que requieren activación excéntrica moderada seguida de una activación concéntrica alta. En concreto, el CMJ es la prueba más utilizada cuando se quieren establecer niveles de capacidad física muscular, ya que permiten obtener indicadores de porcentajes y potencia pico en miembros inferiores (4-6), además de presentar una alta confiabilidad intra-prueba (7). En niños se ha encontrado una alta correlación entre la altura del salto vertical y los datos obtenidos en la plataforma de fuerza (8). Prueba de ello son algunos trabajos como los realizados por O'Brien y colaboradores (2009), quienes hallaron una alta correlación entre la potencia del salto y el volumen muscular del cuádriceps femoral (1). Otro estudio, además, evidenció que las medidas antropométricas de volumen como la circunferencia del muslo se correlacionan positivamente con el salto vertical, y el salto largo en niños de 7 a 10 años de edad (9). Una manera más precisa de medir el área de sección transversa del músculo, en lugar del perímetro de una región anatómica, es la ecografía que mide el espesor muscular de una manera confiable. Este sistema tiene el inconveniente, y en particular en la edad escolar, de que no siempre los cambios funcionales del músculo van acompañados de un aumento del tamaño del mismo (10). Así pues, surge el concepto de calidad muscular medida por ecografía con la EI, la cual está relacionada con aspectos fisiológicos del tejido musculo-

esquelético evaluado. Menor EI expresa mejor calidad del músculo. En población adulta, los estudios que utilizan la EI muestran diferencias atribuidas a patologías, pero también relacionadas con el nivel de actividad física. En estos casos, la EI disminuye con la práctica regular de ejercicio (11). La disminución de la EI en adultos se ha intentado explicar por una disminución del contenido de grasa, un aumento del contenido de carbohidratos, o ambos (12). También, en edad avanzada, se asocia la fibrosis como una posible causa del aumento de la EI durante el envejecimiento (13). En niños son pocos los estudios que evalúen la EI relacionada con pruebas de fuerza y potencia muscular, siendo más contradictorios los resultados (14). De hecho, en estas edades se han encontrado diferencias en la EI con respecto al género, las cuales no existen cuando se compara el tamaño del músculo por área de sección transversa, o por el espesor muscular (15). Además, la EI medida en ambas extremidades no diferencia entre dominante y no dominante, y su confiabilidad está en relación con el tamaño del área de interés (13). Por lo tanto, los resultados de los trabajos consultados parece indicar que la EI puede ser una herramienta más adecuada que el espesor, a la hora de evaluar el músculo, y el relacionarlo con una medida de potencia anaeróbica como es el salto vertical, permitiría además valorar el porcentaje de fibras rápidas (16).

En un estudio realizado a través de resonancia magnética, y comparando el metabolismo anaeróbico de niños y adultos, se observaron que la diferenciación del tipo de fibra ocurre relativamente en edades tempranas, y a los 6 años de edad, el perfil histoquímico del músculo esquelético es similar al de un adulto joven (17). Los RJ15 han sido utilizados para determinar el porcentaje de fibras rápidas al evaluar el desempeño anaeróbico durante los saltos (16). Recientes estudios han probado la confiabilidad y validez del CMJ repetido para evaluar el rendimiento anaeróbico (18). De hecho, se ha encontrado una relación positiva entre el rendimiento de potencia anaeróbica y el % de fibras FT (fibras musculares rápidas), % de área de fibras FT y relación área FT/área ST (de fibras musculares lentas) del cuádriceps humano (19). Sin embargo, otros hallazgos han demostrado que la capacidad para producir fuerza dinámica de los músculos extensores de la rodilla por área de sección transversa es menor en niños que en adultos jóvenes (15). Lo cual pone en evidencia la necesidad de investigar alternativas de evaluación por imágenes en menores, distintas al tamaño del músculo (que se ha visto es menor en estas edades), y que puedan relacionarse con pruebas funcionales, como es el caso de la EI. De este modo, y con objeto de estudiar el tipo de fibras y el predominio del metabolismo (aeróbico-anaeróbico) en el músculo cuádriceps, el propósito del presente estudio es analizar las correlaciones entre la EI del músculo cuádriceps medido por ecografía cuantitativa, y el salto vertical en niños en edad escolar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

El estudio estuvo formado por una muestra intencional de 191 niños escolares (113 niños y 78 niñas), entre 7 y 10 años, pertenecientes a dos escuelas de iniciación deportiva, y una escuela de educación básica primaria de la ciudad de Medellín, Colombia. Los criterios de exclusión considerados fueron: la presencia

de enfermedad cardiovascular o metabólica, lesiones músculo-esqueléticas, estadio de maduración sexual definido por el método Tanner autorreportado diferente a 1 (20) o no realizar correctamente los saltos. Por estos criterios fueron excluidos 7 menores (4 niños y 3 niñas). Los niños y sus padres firmaron un asentimiento y un consentimiento informado, respectivamente. El protocolo del estudio fue aprobado por el comité de ética de la Institución Universitaria Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid.

Diseño

Se realizó un estudio transversal, correlacional y no aleatorio. Todos los participantes asistieron al laboratorio de la institución universitaria Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, o a un salón adecuado como laboratorio en las instalaciones del colegio San José de las Vegas, y de la escuela Lucrecio Jaramillo, todas ellas instituciones educativas de la ciudad de Medellín, (Colombia). La fase de toma de datos tuvo lugar entre octubre de 2018 y marzo de 2019, y en ella se realizaron las medidas antropométricas: masa corporal, estatura y porcentaje de grasa. Luego se realizó la ecografía del cuádriceps derecho, y posteriormente se realizaron los saltos CMJ y RJ15. Las variables de estudio fueron las siguientes:

Ultrasonido cuantitativo

Las imágenes transversales del cuádriceps femoral en la extremidad derecha fueron obtenidas mediante un equipo de ultrasonido mode B (B-Ultrasonic Diagnostic System, Contec, CMS600P2, Republica de China). Un transductor lineal (ganancia: 58, frecuencia: 7,5 MHz; profundidad: 6 centímetros), cubierto con un gel transmisor soluble en agua en cantidad suficiente para evitar la compresión de la superficie dérmica, fue colocado perpendicular al eje transversal del cuádriceps femoral en el punto medio entre la espina ilíaca anterosuperior y el polo superior y, entre ésta, y el ángulo supero-externo de la rótula para las imágenes anterior y lateral, respectivamente. Los sujetos fueron evaluados en supino, estando al menos 5 minutos de reposo, y sin realización de ejercicio físico vigoroso previo ese día. Se realizaron dos imágenes en corte transversal de cada punto medio. La imagen congelada fue digitalizada y posteriormente analizada por el software libre ImageJ (National Institute of Health, USA, versión IJ 1.46). Para una mayor fiabilidad de la EI, solo se usaron cortes transversales (21). Las imágenes del corte transversal anterior fueron usadas para medir la EI del recto femoral y del vasto intermedio. Las imágenes del corte transversal lateral fueron usadas para medir la EI del vasto externo y del vasto intermedio en vista lateral. La EI de los diferentes músculos evaluados se cuantificó usando la función de histograma en ImageJ. La región de interés fue seleccionada como la mayor área rectangular de cada músculo sin incluir fascia. La media de las dos imágenes fue expresada como un valor entre 0 (negro) y 255 (blanco). Se realizó la corrección de la EI con el espesor del tejido celular subcutáneo propuesta por Young y se midió el porcentaje de grasa con el método propuesto por el mismo autor para todos los músculos (22). Además, como estrategia de control, se realizó la diferencia de la EI de la grasa con respecto a cada porción del cuádriceps evaluado que corresponde a la Dif1C a

Dif6C (23). El coeficiente de variación de dos medidas en diferentes momentos, el mismo día, de diez sujetos fue del 0,4% para la EI.

Fuerza explosiva

La fuerza explosiva fue medida mediante las pruebas CMJ y RJ15. Al inicio de la sesión, todos los participantes realizaron un calentamiento dinámico general, finalizando con la realización de seis saltos, con un progresivo nivel de esfuerzo. Los niños realizaron el CMJ en tres ocasiones, y el mejor salto fue el usado para el análisis estadístico. Tras dos minutos de recuperación, realizaron el RJ15 que consistió en saltos CMJ consecutivos durante 15 segundos. A lo largo de la prueba, se estimuló verbalmente a los niños. Para asegurar la correcta ejecución de cada salto, durante su ejecución, fueron evaluados a través de una check list, donde se comprobó si cada salto cumplía, o no, con los aspectos claves para una correcta ejecución del salto. Aquellos saltos que no los cumplieran fueron considerados como no válidos. Los saltos fueron medidos en un tapete AXON JUMP® (Axon Bioingeniería Deportiva, Buenos Aires, Argentina) con el software Axon Jump 4.0, que midió el tiempo de vuelo y, además, en el caso del RJ, el tiempo de contacto. En todos los saltos los niños debían mantener “las manos en la cintura”. El RJ se realizó para calcular la potencia promedio ($PP = g^2 \cdot Tf^3 \cdot 15 / 4n(15 - Tf)$) y el % de distribución de fibras FT ($\%FT = 48.31 + (g^2 \cdot Tf^3 \cdot 15) / 1.04n(15 - Tf)$) (16). La potencia del CMJ se obtuvo con la fórmula de Sayers ($Potencia\ CMJ(W) = (51.9 \cdot altura\ CMJ(cm)) + (48.9 \cdot masa\ corporal(Kg)) - 2007$) (24). La potencia del CMJ por distancia de empuje se obtuvo con la fórmula propuesta por Jiménez-Reyes et. al. ($P = mg((h/h_{p0}^2) + 1) \sqrt{gh/2}$) (25).

Antropometría

La masa corporal y la estatura fueron medidas sin calzado y en ropa deportiva. El porcentaje de grasa corporal fue estimado por el método de Lohman, con los pliegues grasos medidos en dos sitios: tríceps y subescapular (26). Además, se midió la distancia de empuje de la forma propuesta por Jiménez-Reyes et. al (25).

Análisis estadístico

Para el análisis descriptivo de los aspectos sociodemográficos y ecográficos se utilizaron frecuencias absolutas, frecuencias relativas e indicadores de resumen como la media aritmética, la desviación estándar, la mediana, el rango intercuartílico, mínimos y máximos. Se estableció el criterio de normalidad de algunas variables por medio de la prueba de Jarque-Bera, y el criterio de homocedasticidad con la prueba de Levene. Para evaluar la correlación entre pruebas funcionales y los aspectos ecográficos se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman, y se representó en una matriz de correlaciones. Un valor $p < 0.05$ se consideró estadísticamente significativo.

RESULTADOS

Los resultados referentes a los aspectos sociodemográficos, de salto vertical y ecográficos son presentados por valores de media y desviación estándar en la tabla 1. Producto de la aplicación de los criterios de exclusión se analizaron los datos de 184 menores (75 niñas, edad: 9.41 ± 0.91 años. 109 niños, edad: 8.97 ± 1.14).

Tabla 1. Estadística descriptiva.

Variable	Significado	Niñas(n=75)		Niños(n=109)	
		Media	SD	Media	SD
Edad	Edad decimal en años	9.41	0.91	8.97	1.14
Masa	Masa corporal (Kg)	32.33	6.37	32.27	8.61
Est	Estatura (cm)	136.09	8.04	134.20	8.18
IMC	Índice de masa muscular (Kg/m ²)	17.32	2.36	17.75	3.38
PG	% de grasa	18.21	5.71	16.24	7.11
CMJ	Altura del salto con contra movimiento (cm)	19.94	3.18	20.33	4.28
PCMJ	Potencia del salto CMJ (w)	608.65	347.11	626.04	440.91
PCMJR	Potencia del salto CMJ en vatios relativa (w/Kg)	17.57	8.65	17.88	10.04
PCMJDE	Potencia en vatios del CMJ por distancia de empuje	602.65	190.53	592.99	168.23
PCMJDER	Potencia del CMJ por distancia de empuje relativa (w/Kg)	18.72	4.86	18.59	3.84
%FT	% de fibras rápidas	5.15	7.90	6.21	8.64
PMRJ	Potencia media RJ en 15 segundos (w)	13.14	3.10	14.96	3.48
RFE	Resistencia a la fuerza explosiva	0.89	0.05	0.89	0.04
PP15	Potencia pico del mejor salto en 15 segundos (w)	141.83	29.81	148.75	37.65
PP15R	Potencia pico mejor salto en 15 segundos relativo (w/Kg)	4.44	0.70	4.69	0.86
EIG	El grasa región anterior del muslo	142.63	7.49	146.48	9.78
EIRFC	El del recto femoral corregida	169.43	14.44	158.37	18.90
PGRF	% de grasa del recto femoral	20.41	1.33	19.39	1.74
EIVIC	El del VI muslo anterior	152.39	15.01	143.48	15.84
PGVI	% de grasa del vasto intermedio medido por US	22.55	1.70	21.55	1.79
Dif1C	Diferencia entre EIG y EIRFC	-26.80	17.55	-11.88	24.24
Dif2C	Diferencia entre EIG y EIVIC	-9.76	17.25	3.00	19.75
Dif3C	Diferencia entre EIG y media de EIRFC y EIVIC	-18.28	16.33	-4.44	20.83
EIGL	El grasa región lateral del muslo	136.93	7.26	135.40	11.41
EIVLC	El del vasto lateral corregida	171.65	12.93	163.53	17.46
PGVL	% de grasa del vasto lateral medido por US	24.76	1.46	23.84	1.98
EIVIEC	El del VI corregida en muslo externo	150.77	14.58	139.31	17.72
PGVIE	% de grasa del VI Medido por US región externa	22.38	1.66	21.08	2.01
Dif4C	Diferencia entre EIG y El del VL	-34.73	12.27	-28.13	16.89
Dif5C	Diferencia entre EIG y EIVI región externa	-13.85	15.34	-3.91	18.89
Dif6C	Diferencia entre EIG y media de EIVL y VI región externa	-24.29	12.09	-16.02	16.09

A continuación, se muestran las correlaciones representadas en tres matrices (figuras 1, 2 y 3). En cada una de ellas, la intensidad del color azul define mayor correlación positiva, mientras que la intensidad del color rojo define mayor correlación negativa. La figura 1 recoge las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps en toda la muestra, con las diferentes variables del salto vertical. La variable CMJ, presenta valores r con las variables de EI que oscilan entre -0,32 y -0,46 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,25 y 0,47 (Dif1C a Dif6C). Las mejores correlaciones se observan con la PP15R entre -0,42 y -0,50 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,37 y 0,59 (Dif1C a Dif6C).

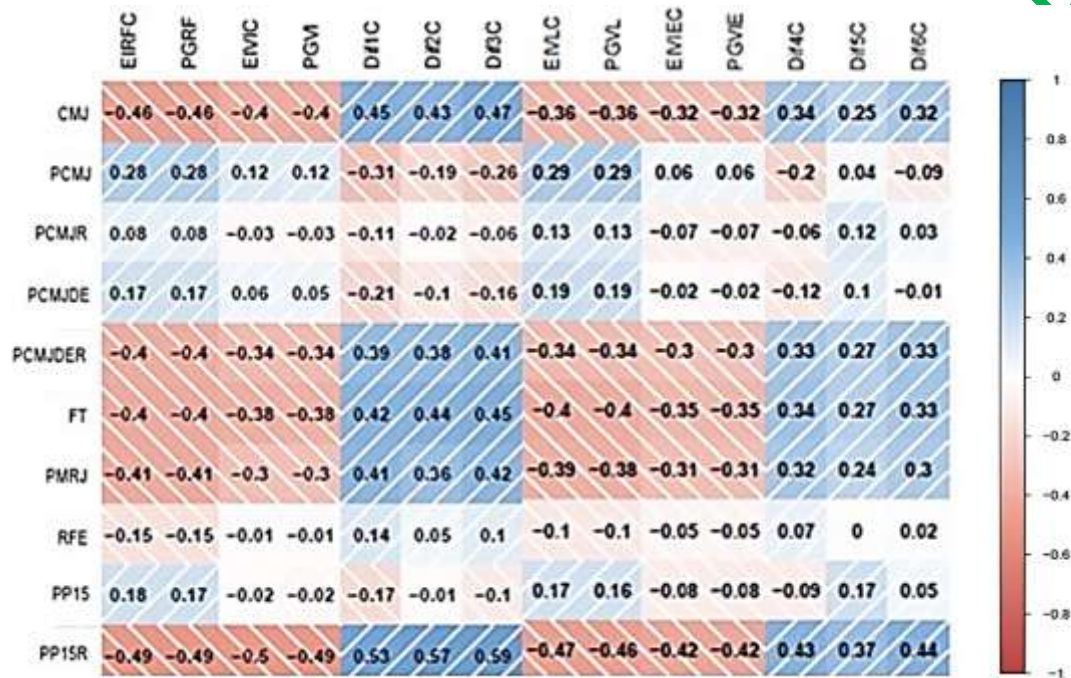


Figura 1. Resultados de las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps en toda la muestra.

La figura 2 muestra las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps en el grupo de niñas, con las diferentes variables. La variable FT con las variables de EI presenta valores r entre -0,30 y -0,41 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,27 y 0,41 (Dif1C a Dif6C). Las mejores correlaciones se observaron en la variable CMJ, con valores r entre 0,35 y 0,48 (Dif1C, Dif2C, Dif3C).

En la figura 3 se muestra las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps en el grupo de niños, con las diferentes variables del salto vertical. La variable PP15R con las variables de EI muestra las mejores correlaciones con un valor r entre -0,43 y -0,52 (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC), y entre 0,44 y 0,66 (Dif1C a Dif6C).

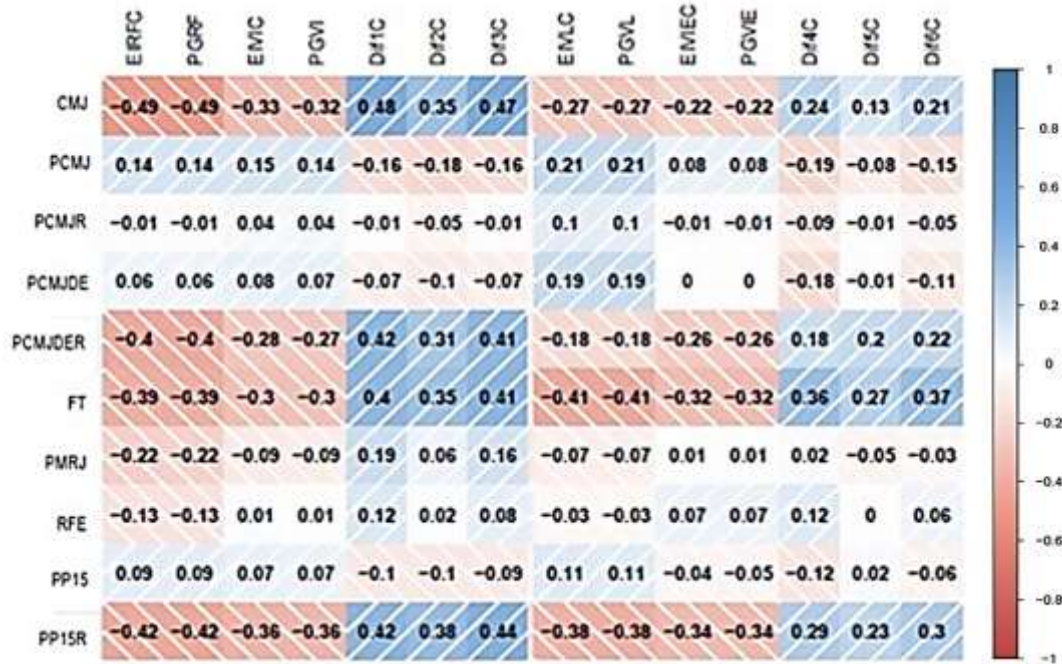


Figura 2. Resultados de las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps en niñas.

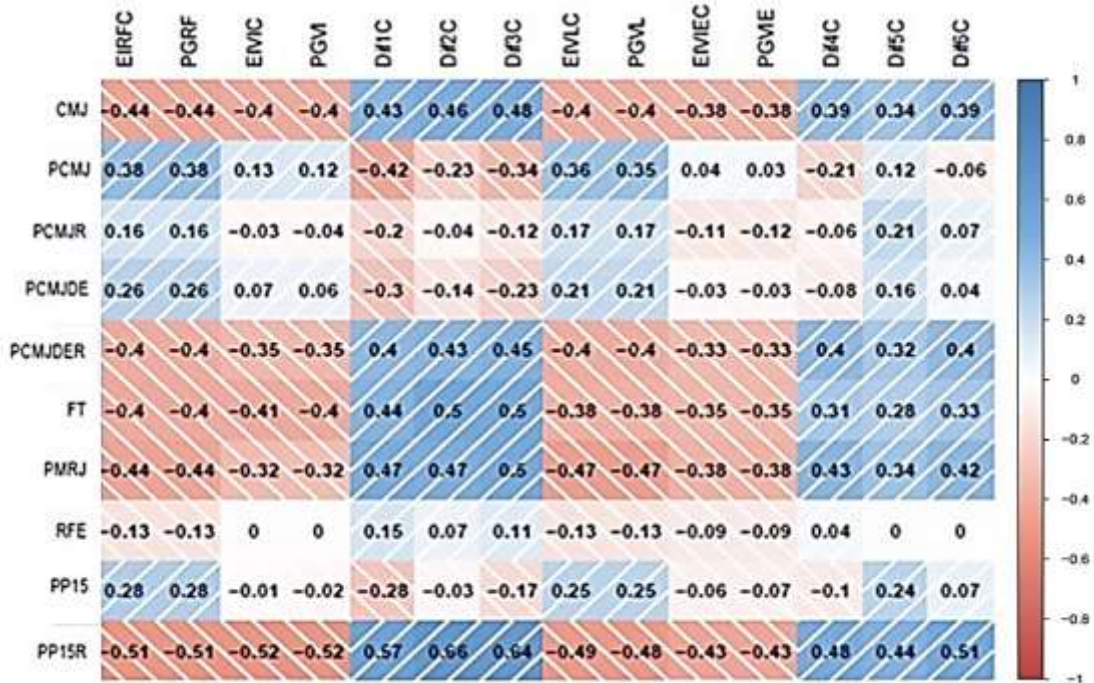


Figura 3. Resultados de las correlaciones entre la EI y el porcentaje de grasa muscular de los componentes evaluados del cuádriceps en niños.

DISCUSIÓN

La ecografía musculo-esquelética es un campo joven pero prometedor en la población en general, y en los niños en edad escolar en particular, cuando se trata de evaluar aspectos fisiológicos del tejido muscular. En este trabajo se han evaluado tres componentes del cuádriceps, dos por ser los más utilizados por la

comunidad científica (el recto femoral y el vasto lateral); y el tercero (el vasto intermedio) porque puede ser evaluado por ambos cortes, tanto en el anterior como en el lateral. La razón que motiva el uso de pocos puntos en la toma de imagen, es encontrar una manera sencilla de evaluar la calidad del músculo en los niños, y a su vez, que sirva de herramienta para valorar los cambios que se presentan en los menores, producto de la práctica de actividad física. A esto contribuye algunos de los resultados presentados en este trabajo, como el hecho de que la EI del vasto intermedio tuviese unas correlaciones similares tanto en la toma anterior, como en la lateral, con las variables del salto vertical, lo que demuestra un bajo nivel de variabilidad en las medidas realizadas por ecografía, a pesar de realizarse en diferentes puntos anatómicos del músculo vasto intermedio. Esto va en la línea de lo encontrado en otros estudios consultados. Así, Santos y colaboradores (2017) al evaluar la reproducibilidad de la evaluación ecográfica de los cuatro componentes del cuádriceps, demostró una confiabilidad moderada a muy alta de las medidas de EI, donde la fiabilidad mejoraba con la medición en corte transversal (21). De la misma forma, Jenkins y colaboradores (2015) concluyeron en un estudio sobre la evaluación ecográfica del bíceps braquial, que la imagen transversal simple de este músculo para la cuantificación del espesor muscular y la EI es comparable con una ecografía panorámica en confiabilidad, siendo una medida técnica más simple de realizar (27).

La mejor correlación se evidenció, en ambos géneros, entre la EI (EIRFC, PGRF, EIVIC, PGVI, EIVLC, PGVL, EIVIEC, Dif1C, Dif2C, Dif3C, Dif4C, Dif5C, Dif6C) con la potencia pico del RJ15 (PP15R) cuando el valor es relativo a la masa corporal, siendo un poco mejores en los niños que en las niñas. Los niños y las niñas tienen la misma cantidad de masa grasa en valores absolutos durante estos años, pero las niñas tienen mayor masa grasa relativa (% Grasa) debido a la menor cantidad de masa magra comparado con los niños. A la edad de 5 años la grasa relativa es 1% mayor en las niñas, y es 6% más a la edad de 10 años con respecto a los niños (28), lo que puede explicar, al menos parcialmente, las diferencias encontradas. Esta diferencia también se explica, en parte, porque la potencia de salto fue mayor en niños al compararlo con las niñas en términos absolutos, aunque se vuelven similares al observar los valores relativos a la masa corporal. Estos resultados y su posible explicación van en la línea de los aportados por Sahrom y colaboradores, quienes compararon ambos géneros en edad pre-púber (2014) (29). Ellos encontraron una diferencia en el CMJ en pre-púberes del 7% a favor de los niños, pero una potencia concéntrica media relativa al peso corporal similar en ambos géneros.

En el estudio que aquí se presenta, solo se ha considerado la EI como medida ecográfica cuantitativa. No se ha tenido en cuenta el espesor muscular porque en las edades objeto de estudio no existen diferencias significativas entre niñas y niños. En estudios realizados por Kanehisa (1995), Welsman (1997) y Özdemir(1995) no se encontraron diferencias en el área de sección trasversa de los músculos evaluados en tres estudios diferentes, con una muestra donde se incluían grupos de edad similar al aquí presentado (15,30,31). Un primer caso, entre dorsi-flexores y planti-flexores; un segundo caso, realizado en Turquía, en el cuádriceps en 500 niños y niñas sanas; y un tercer estudio, que evaluó el volumen muscular del muslo de niños y niñas por RM. Siguiendo esta línea de

trabajo, se ha realizado el análisis estadístico incluyendo ambos sexos. De igual manera, se analizó cada subgrupo de niños y de niñas independientemente. Aquí solo se han analizado las medidas inherentes a la EI que define la calidad del músculo, sin considerar el tamaño de éste. En adultos, al comparar la EI con la medición del músculo por mCSA o por espesor muscular se observa que la pérdida de tejido contráctil muscular con el envejecimiento es mayor que la disminución en el tamaño muscular (32). También en adultos, la EI mostró significativa correlación con la edad y con el espesor y la fuerza muscular (32). La explicación en el adulto de estas correlaciones se basan en que con el aumento de la edad se aumenta la infiltración muscular grasa y fibrosa, lo que genera EI mayor, y por esta misma razón, que los músculos sean menos fuertes. Mientras, en los niños en la edad estudiada, los resultados podrían ser dados por la disminución de la EI que se explica por un aumento del contenido de glucógeno y/o una disminución del contenido graso intramuscular. La evolución natural de la potencia anaeróbica es el aumento significativo entre los 6 y los 12 años de edad, cuando los niveles de testosterona permanecen sin cambios (33), corroborado por la altura del salto, el cual se duplica entre los 5 y los 13 años, de forma similar en niños y niñas (16). Estas evidencias podrían explicar las correlaciones significativas entre la EI y los parámetros derivados de la potencia del salto vertical, tanto en el CMJ como en el RJ15. Estas correlaciones son prácticamente iguales al ser medida la EI en la región anterior del muslo (RF y VI), cuando se evalúan tanto en general como al hacerlo por género. Son levemente menores en las niñas al compararlas con las correlaciones de los niños en el vasto lateral. Es importante también mencionar que las correlaciones mejoraron al realizar la corrección de la EI (EIRFC, EIVIC, EIVLC, EIVIEC, Dif1C...DIF6C) propuesta por Young (2017) (22), al compararlas con las correlaciones sin corrección. Mejora que también se evidencia en otra investigación realizada en adultos (34). En este estudio, las correlaciones de la EI, sin corrección (datos no mostrados en las tablas presentadas en los resultados) con medidas del salto vertical, fueron menores a las encontradas con la EI corregida. La EI corregida tuvo mejores correlaciones que las encontradas en niños preadolescentes (12±1 años) en el estudio realizado por Stock (2017) en el que evaluaron también la relación entre el salto vertical y las medidas ecográficas con corrección de la EI (35).

Las correlaciones son negativas al contrastar el valor de la EI del músculo con varias medidas derivadas del salto vertical, pero son positivas al relacionarlas con las diferencias entre la EI grasa y la EI muscular. Estas correlaciones fueron moderadas al relacionar la muestra global, y se mantuvo moderada al evaluar independientemente las niñas y los niños. Esto significa que los niños y niñas de mejor rendimiento en salto tienen una menor EI, lo que se ha denominado como mejor calidad del músculo. La disminución de la EI al relacionarla con el aumento del salto vertical produce una correlación negativa. Pero, al evaluar las diferencias entre la EI grasa y la muscular (Dif1C...DIF6C), una disminución de la EI muscular, que corresponde con mejor calidad de éste, aumenta la diferencia lo que implica que al relacionarla con el aumento en el salto vertical produce una correlación positiva. Por lo tanto, una disminución de la EI o un aumento de la diferencia entre la EI de la grasa subcutánea y del músculo tienen la misma interpretación, una mejor calidad muscular. Otros estudios han demostrado estas correlaciones entre el salto vertical y la EI en hombres y mujeres jóvenes, con

edad media de 24,3 en hombres y 21,5 en mujeres (36). Esta menor EI está relacionada en adultos mayores con un menor contenido de grasa. Un estudio realizado por Stock et al (2017), realizado en niños entre 11 y 14 años, muestra correlaciones similares a las encontradas en nuestro estudio entre la EI y la altura del salto vertical, tanto en el recto femoral como en el vasto lateral (35). Pero por ser una edad límite entre la pre y la pubertad, cabe la posibilidad de que hayan evaluado niños que iniciaron su etapa puberal, donde la presencia de testosterona está relacionada positivamente con la fuerza de extensores de pierna en adolescentes (37). Además, coincide con el período de torpeza puberal (38), lo que puede sesgar esta relación. Esta menor EI en niños escolares se podría explicar como un mayor contenido de glucógeno, y un menor contenido de grasa. Este menor contenido de grasa fue medido en nuestro estudio como porcentaje de grasa muscular (PGRF, PGVI, PGVL, PGVIE) propuesto por Young (2016) (11), y se correlaciona significativamente con variables del salto vertical (CMJ, PCMJDER, PMRJ, FT, PPRJ15).

Otro elemento para analizar es que se ha considerado la ganancia de fuerza en el niño primordialmente por razones neurológicas. Un estudio realizado por Behm et. al. (2008) concluye que la ganancia de fuerza inducida por el entrenamiento en niños puede ser explicada, en parte, por la hipertrofia muscular, aunque es mayormente explicada por adaptaciones neurológicas, tales como, el incremento de activación de unidades motoras, u otros cambios como la coordinación inter-muscular o el aprendizaje neuromuscular (39). En este estudio se ha comprobado que los niños que tienen mayor potencia anaeróbica, evaluado por el salto vertical, podrían tener su explicación en una mejor condición metabólica muscular, con tendencia hacia lo anaeróbico, ya que el contenido de glucógeno que conlleva aumento del contenido de agua es una de las razones, sino la más importante, para explicar la disminución de la EI del músculo. Esto quiere decir, que hay diferencias en la EI muscular entre quienes hacen un mejor salto al compararlos con los de menor resultado. Además, es importante mencionar que el CMJ en pre-púberes también tiene una alta correlación con la densidad mineral ósea en región lumbar y en cadera (40), lo que confirma la asociación entre la capacidad física, específicamente la potencia muscular medida por el salto vertical y la salud ósea. Lo anterior crea una asociación para explorar entre la calidad muscular medida por la EI y la densidad mineral ósea. El CMJ, y en mayor medida el RJ15, evalúan la capacidad de generar fuerza muscular con un estiramiento previo del músculo. Además evalúan la coordinación intramuscular y el reflejo miotático, elementos que hacen parte de la acción del sistema nervioso (38). Estos resultados sugieren que aquellos niños con una EI muscular menor, independiente del sexo, realizaron un mejor salto tipo CMJ que incluye una fase excéntrica, lo que implica una mejor coordinación intramuscular y uso del componente elástico (no evaluado con la EI), y de manera especial, pueden tener unas mejores condiciones metabólicas (puede ser evaluado con la EI), tanto si el esfuerzo implica un solo salto o saltos repetidos durante 15 segundos. Estos resultados pueden contribuir al control del entrenamiento en edades tempranas a través de la evaluación ecográfica de la EI del cuádriceps como un indicador del metabolismo anaeróbico.

CONCLUSIONES

1. La EI de los componentes del cuádriceps recto femoral, el vasto intermedio y vasto lateral se correlacionan significativamente con las mediciones derivadas del salto vertical tipo CMJ y RJ15 en niños y niñas entre 7 y 10 años. Las medidas incluyen altura del salto, potencia del salto y porcentaje de fibras rápidas.
2. Los resultados obtenidos sugieren que, en una muestra como la estudiada, los escolares que obtienen una mejor capacidad de salto son los que tienen una EI menor, lo que podría ser un indicador de un mayor contenido de glucógeno, y/o un menor contenido de grasa intramuscular.
3. Posteriores estudios son necesarios para corroborar si la relación entre la EI y el salto vertical se debe al contenido del músculo de glucógeno y/o grasa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. O'Brien TD, Reeves ND, Baltzopoulos V, Jones DA, Maganaris CN. Strong relationships exist between muscle volume, joint power and whole-body external mechanical power in adults and children. *Experimental physiology* [Internet]. 2009;94(6):731–8. Available from: <https://physoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1113/expphysiol.2008.045062>
2. Ortega FB, Ruiz JR, Castillo MJ, Sjöström M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International journal of obesity* [Internet]. 2008;32(1):1–11. Available from: <https://www.nature.com/articles/0803774.pdf>
3. Medrano IC, Faigenbaum AD, Cortell-Tormo JM. ¿ Puede el entrenamiento de fuerza prevenir y controlar la dinapenia pediátrica?(Can resistance training prevent and control pediatric dynapenia?). *Retos:nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2018;(33):298–307.
4. Souza A, Bottaro M, Valdinar R, Lage V, Tufano J, Vieira A. Reliability and Test-Retest Agreement of Mechanical Variables Obtained During Countermovement Jump. *International Journal of Exercise Science* [Internet]. 2020;13(3):6–17. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7039490/pdf/ijes-13-4-6.pdf>
5. Moreno SM. La altura del salto en contramovimiento como instrumento de control de la fatiga neuromuscular: revisión sistemática. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*. 2020;(37):820–6.
6. Benítez Jiménez A, Falces Prieto M, García-Ramos A. Rendimiento del salto tras varios partidos de fútbol disputados en días consecutivos. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte*. 2020;20(77):185–96.
7. Gomez-Bruton A, Gabel L, Nettlefold L, Macdonald H, Race D, McKay H. Estimation of peak muscle power from a countermovement vertical jump in children and adolescents. *Journal of Strength and Conditioning Research* [Internet]. 2019;33(2):390–8. Available from: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28570492%5Cnhttp://Insights.ovid.com/crossref?an=00124278-900000000-95961>

8. Van Praagh E, Doré E. Short-Term Muscle Power During Growth and Maturation. *Sports Medicine* [Internet]. 2002;32(11):701–28. Available from: <http://link.springer.com/10.2165/00007256-200232110-00003>
9. Uzunović S, Milanović D, Pantelić S, Kostić R, Milanović Z, Milić V. Physical characteristics and explosive strenght of schoolchildren. *Facta Universitatis, Series: Physical Education and Sport* [Internet]. 2015;241–50. Available from: <http://casopisi.junis.ni.ac.rs/index.php/FUPhysEdSport/article/view/510/391>
10. Domínguez La Rosa P, Espeso Gayte E. Bases fisiológicas del entrenamiento de la fuerza con niños y adolescentes. *Rev.int.med.cienc.act.fís.deporte* [Internet]. 2003;3(9):61–8. Available from: <http://cdeporte.rediris.es/revista/revista9/artfuerza.pdf>
11. Young H, Southern WM, Mccully KK. Comparisons of ultrasound-estimated intramuscular fat with fitness and health indicators. *Muscle & Nerve* [Internet]. 2016 Oct;54(4):743–9. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/mus.25105>
12. Jenkins NDM. Are Resistance Training-Mediated Decreases in Ultrasound Echo Intensity Caused by Changes in Muscle Composition, or Is There an Alternative Explanation? *Ultrasound in Medicine and Biology* [Internet]. 2016;42(12):3050–1. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2016.07.011>
13. Caresio C, Molinari F, Emanuel G, Minetto MA. Muscle echo intensity: reliability and conditioning factors. *Clinical Physiology and Functional Imaging* [Internet]. 2015 Sep;35(5):393–403. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1111/cpf.12175>
14. Mota JA, Stock MS, Thompson BJ. Vastus lateralis and rectus femoris echo intensity fail to reflect knee extensor specific tension in middle-school boys. *Physiological Measurement* [Internet]. 2017 Jul 26;38(8):1529–41. Available from: <http://stacks.iop.org/0967-3334/38/i=8/a=1529?key=crossref.fe57ac6dad56ff0ad6cf1e11752ef54c>
15. Kanehisa H, Yata H, Ikegawa S, Fukunaga T. A cross-sectional study of the size and strength of the lower leg muscles during growth. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* [Internet]. 1996;72(1):150–6. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/BF00964130>
16. Temfemo A, Hugues J, Chardon K, Mandengue S-H, Ahmaidi S. Relation between vertical jumping performance and anthropometric characteristics during growth in boys and girls.pdf. *European Journal of Pediatrics* [Internet]. 2009 Apr 3;168(4):457–64. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s00431-008-0771-5>
17. Zanconato S, Buchthal S, Barstow TJ, Cooper DM. 31P-magnetic resonance spectroscopy of leg muscle metabolism during exercise in children and adults. *Journal of Applied Physiology* [Internet]. 1993 May 1;74(5):2214–8. Available from: <https://www.physiology.org/doi/10.1152/jappl.1993.74.5.2214>
18. De la Cruz-Campos A, Pestaña-Melero FL, Rico-Castro N, De la Cruz-Campos JC, Cueto-Martín MB, Carmona-Ruiz G, et al. Analysis of anaerobic performance and the Body Mass Index measure of adolescents from different areas of Andalusian region (Spain). *Revista Andaluza de*

- Medicina del Deporte [Internet]. 2016 Nov;142:1–5. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1888754616301046>
19. Bar-Or O, Dotan R, Inbar O, Rothstein A, Karlsson* J, Tesch* P. Anaerobic Capacity and Muscle Fiber Type Distribution in Man. *International Journal of Sports Medicine* [Internet]. 1980 May 14;01(02):82–5. Available from: <http://www.thieme-connect.de/DOI/DOI?10.1055/s-2008-1034636>
 20. Mundy LK, Simmons JG, Allen NB, Viner RM, Bayer JK, Olds T, et al. Study protocol: the Childhood to Adolescence Transition Study (CATS). *BMC Pediatrics* [Internet]. 2013 Dec 8;13(1):160–72. Available from: <http://bmcpediatr.biomedcentral.com/articles/10.1186/1471-2431-13-160>
 21. Santos R, Armada-da-Silva PAS. Reproducibility of ultrasound-derived muscle thickness and echo-intensity for the entire quadriceps femoris muscle. *Radiography* [Internet]. 2017 Aug;23(3):e51–61. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1078817417300433>
 22. Young H, Jenkins NT, Zhao Q, Mccully KK. Measurement of Intramuscular Fat by Muscle Echo Intensity. *Muscle & Nerve* [Internet]. 2015 Dec;52(6):963–71. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/mus.24656>
 23. Wu JS, Darras BT, Rutkove SB. Assessing spinal muscular atrophy with quantitative ultrasound. *Neurology* [Internet]. 2010 Aug 10;75(6):526–31. Available from: <http://www.neurology.org/cgi/doi/10.1212/WNL.0b013e3181eccf8f>
 24. Sayers SP, Harackiewicz D V, Harman EA, Frykman PN, Rosenstein MT. Cross-validation of three jump power equations. *Medicine and science in sports and exercise* [Internet]. 1999;31(4):572–7. Available from: https://journals.lww.com/acsm-msse/Fulltext/1999/04000/Cross_validation_of_three_jump_power_equations.13.aspx
 25. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Pareja-Blanco F, Conceição F, Cuadrado-Peñafiel V, González-Badillo JJ, et al. Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *International Journal of Sports Physiology and Performance* [Internet]. 2017 Jan;12(1):36–43. Available from: <https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/12/1/article-p36.xml>
 26. Gómez R, De Marco A, De Arruda M, Martínez C, Salazar C, Valgas C, et al. Predicción de ecuaciones para el porcentaje de grasa a partir de circunferencias corporales en niños pre-púberes. *Nutr Hosp* [Internet]. 2013;28:772–8. Available from: http://scielo.isciii.es/pdf/nh/v28n3/32_original28.pdf
 27. Jenkins NDM, Miller JM, Buckner SL, Cochrane KC, Bergstrom HC, Hill EC, et al. Test–Retest Reliability of Single Transverse versus Panoramic Ultrasound Imaging for Muscle Size and Echo Intensity of the Biceps Brachii. *Ultrasound in Medicine & Biology* [Internet]. 2015 Jun;41(6):1584–91. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301562915000563>
 28. Keller BA. State of the Art Reviews: Development of Fitness in Children: The Influence of Gender and Physical Activity. *American Journal of Lifestyle Medicine* [Internet]. 2008 Jan;2(1):58–74. Available from: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1559827607308802>

29. John Cronin SS. Slow Stretch-Shorten Cycle Characteristics: Gender and Maturation Differences in Singaporean Youths. *Journal of Athletic Enhancement* [Internet]. 2014;03(06):2. Available from: http://www.scitechnol.com/slow-stretchshorten-cycle-characteristics-gender-and-maturation-differences-in-singaporean-youths-F0lt.php?article_id=2430
30. Welsman JR, Armstrong N, Kirby BJ, Winsley RJ, Parsons G, Sharpe P. Exercise performance and magnetic resonance imaging-determined thigh muscle volume in children. *European Journal of Applied Physiology* [Internet]. 1997 Jun 1;76(1):92–7. Available from: <http://link.springer.com/10.1007/s004210050218>
31. Özdemir H, Kayhan S, Konus Ö, Aytakin C, Baran Ö, Ataman A, et al. Quadriceps Muscle Thickness and Subcutaneous Tissue Thickness in Normal Children in Turkish Population: Sonographic Evaluation. *Gazi Medical Journal*. 1995;6(3).
32. Fukumoto RPT Y, Ikezoe RPT T, Yamada Y, Tsukagoshi RPT R, Nakamura RPT M, Mori RPT N, et al. Skeletal muscle quality assessed from echo intensity is associated with muscle strength of middle-aged and elderly persons. *European journal of applied physiology* [Internet]. 2012 [cited 2017 Mar 11];112(4):1519–1525. Available from: <http://repository.kulib.kyoto-u.ac.jp/dspace/bitstream/2433/156269/1/s00421-011-2099-5.pdf>
33. Armstrong N, Welsman JR, Kirby BJ. Performance on the Wingate anaerobic test and maturation. *Pediatric Exercise Science* [Internet]. 1997;9(3):253–61. Available from: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=c8h&AN=1997037887&site=ehost-live>
34. Stock MS, Whitson M, Burton AM, Dawson NT, Sobolewski EJ, Thompson BJ. Echo Intensity Versus Muscle Function Correlations in Older Adults are Influenced by Subcutaneous Fat Thickness. *Ultrasound in Medicine & Biology* [Internet]. 2018 Aug;44(8):1597–605. Available from: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301562918301716>
35. Stock MS, Mota JA, Hernandez JM, Thompson BJ. Echo intensity and muscle thickness as predictors Of athleticism and isometric strength in middle-school boys. *Muscle & Nerve* [Internet]. 2017 May;55(5):685–92. Available from: <http://doi.wiley.com/10.1002/mus.25395>
36. Mangine GT, Fukuda DH, LaMonica MB, Gonzalez AM, Wells AJ, Townsend JR, et al. Influence of gender and muscle architecture asymmetry on jump and sprint performance. *Journal of Sports Science and Medicine* [Internet]. 2014;13(4):904–11. Available from: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84908612592&partnerID=40&md5=95dd75f58e9f1758d44af7977a5a6b90>
37. Fukunaga Y, Takai Y, Yoshimoto T, Fujita E, Yamamoto M, Kanehisa H. Effect of maturation on muscle quality of the lower limb muscles in adolescent boys. *Journal of Physiological Anthropology* [Internet]. 2014;33(1):30. Available from: <http://jphysiolanthropol.biomedcentral.com/articles/10.1186/1880-6805-33-30>
38. Lloyd RS, Oliver JL, Hughes MG, Williams CA. The Influence of

- Chronological Age on Periods of Accelerated Adaptation of Stretch-Shortening Cycle Performance in Pre and Postpubescent Boys. *Journal of Strength and Conditioning Research* [Internet]. 2011 Jul;25(7):1889–97. Available from: <http://journals.lww.com/00124278-201107000-00014>
39. Behm DG, Faigenbaum AD, Falk B, Klentrou P. Canadian Society for Exercise Physiology position paper: resistance training in children and adolescents. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism* [Internet]. 2008 Jun;33(3):547–61. Available from: <http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/H08-020>
40. Vicente-Rodríguez G, Ara I, Pérez-Gómez J, Serrano-Sánchez JA, Dorado C, Calbet JAL. High Femoral Bone Mineral Density Accretion in Prepubertal Soccer Players. *Medicine & Science in Sports & Exercise* [Internet]. 2004 Oct;36(10):1789–95. Available from: <http://journals.lww.com/00005768-200410000-00019>

Número de citas totales / Total references: 40 (100%)

Número de citas propias de la revista / Journal's own references: 2 (5%)

PENDIENTE DE PUBLICACIÓN / IN PRESS