

Asociación entre obesidad y baja capacidad muscular y función cardiorrespiratoria, factores de riesgo cardiometabólico en niños colombianos

Association between obesity and low muscular and cardiorespiratory capacity, cardiometabolic risk factors in Colombian children

López-Jaramillo P^{1,2}, Gómez-Arbeláez D^{1,2}, Cohen DD³, Camacho PA¹, Rincón-Romero K², Hormiga C¹, Rey JJ¹, Trejos-Suárez J², Velandia-Carrillo C¹, Cure-Ramírez P⁴, Hubal M⁴, Hoffman E⁴

¹ Dirección de Investigaciones, Fundación Oftalmológica de Santander- FOSCAL, Floridablanca, Colombia. ² Facultad de Salud, Universidad de Santander - UDES, Bucaramanga, Colombia. ³ Faculty of Life Sciences, London Metropolitan University, Londres, Reino Unido. ⁴ Research Center for Genetic Medicine, Children's National Medical Center, Washington DC, Estados Unidos.

Esta investigación ha sido financiada por FUNDACIÓN MAPFRE

Resumen

Objetivo: Examinar la asociación entre capacidad cardiorrespiratoria y muscular y la presencia de obesidad y otros factores de riesgo cardiovascular y metabólico en escolares.

Material y método: Estudio de corte transversal, realizado en 336 niños y niñas escolarizados en los grados 5° y 6° de colegios públicos de Bucaramanga, Colombia.

Resultados: Se encontraron correlaciones inversas significativas entre índice de masa corporal (IMC) y fuerza de empuñadura ajustada por peso (-0.532) ($P < 0.001$), salto largo (-0.248) ($P < 0.001$) y la prueba de Yo-Yo (-0.321) ($P < 0.001$). La fuerza de empuñadura máxima se correlacionó de forma inversa con la presión arterial sistólica (PAS) (-0.115) ($p < 0.05$).

Conclusión: La obesidad evaluada por el IMC y el porcentaje de grasa corporal se relacionan inversamente con la aptitud muscular y cardiorrespiratoria en escolares.

Palabras clave:

Obesidad infantil, capacidad muscular, capacidad cardiorrespiratoria, riesgo cardiovascular.

Abstract

Objective: To examine the association between cardio respiratory and muscular fitness and the presence of obesity and other cardiovascular and metabolic risk factors in school children.

Material and method: Cross-sectional study, conducted in 336 school children (boys and girls) in grade 5° and 6° of public schools in the city of Bucaramanga, Colombia.

Results: Significant inverse correlations were found between body mass index (BMI) and grip strength adjusted for weight (-0.532) ($P < 0.001$), long jump (-0.248) ($P < 0.001$) and Yo-Yo test (-0.321) ($P < 0.001$). The maximum grip strength was correlated inversely with systolic blood pressure (SBP) (-0.115) ($p < 0.05$).

Conclusion: Obesity assessed by BMI and body fat percent is inversely related with muscular and cardio respiratory fitness in Colombian school children.

Key words:

Childhood obesity, muscular fitness, cardio respiratory fitness, cardiovascular risk.

Correspondencia

P López-Jaramillo
Fundación Oftalmológica de Santander (FOSCAL)
Calle 155A N° 23-09, El Bosque, Floridablanca, Santander, Colombia
e-mail: jplopezj@gmail.com / investigaciones@foscal.com.co

Introducción

Las enfermedades cardiovasculares (ECV) tienen su inicio en la infancia [1] y los factores de riesgo para ECV y enfermedades metabólicas, como son la obesidad abdominal, la presión arterial elevada, la resistencia a la insulina y los triglicéridos elevados, son observados en niños y adolescentes [2] y tienden a persistir desde la infancia hasta la vida adulta [3]. Por otra parte, una alta capacidad cardiorrespiratoria durante la infancia y la adolescencia se asocia con un perfil cardiovascular más saludable tanto en la niñez [4][5] como en la vida adulta [6][7]. El entrenamiento físico es importante en la prevención de enfermedades crónicas [8][9] y se ha demostrado que el ejercicio físico, en especial el aeróbico, predice la morbilidad y la mortalidad cardiovascular y general, tanto en hombres como en mujeres [10-13].

La fuerza muscular en ambos sexos [14-16] podría ser un predictor independiente de morbimortalidad ya que la baja fuerza muscular se ha asociado con un perfil metabólico de riesgo durante la infancia y la vida adulta, el cual incluye elevación de la Proteína C Reactiva (PCR) y resistencia a la insulina [17-19], y también con incremento del riesgo para obesidad [20][21], síndrome metabólico, diabetes y accidente cerebrovascular [22-24].

Durante la infancia y la adolescencia, el estado muscular se ha asociado inversamente con la presencia de factores de riesgo cardiovascular y metabólico [20][25-27]. Sin embargo, hay pocos datos sobre la relación entre la capacidad muscular y la función cardiorrespiratoria con factores de riesgo cardiovascular y metabólico en niños y adolescentes. El objetivo del presente estudio es conocer esta relación y la presencia de obesidad y otros factores de riesgo cardiovascular y metabólico en escolares.

Material y métodos

Efectuamos un estudio de corte transversal en 336 niños y niñas escolarizados en los grados 5° y 6° de colegios públicos de Bucaramanga, Colombia. El proyecto siguió los estándares éticos reconocidos internacionalmente y las recomendaciones de Buenas Prácticas Clínicas de la CEE (documento 111/3976/88, Julio 1990). El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Fundación Oftalmológica de Santander – FOSCAL (Floridablanca, Colombia). Todos los padres de familia y/o representantes legales de los participantes suministraron la firma del consentimiento informado previo al inicio del estudio.

El peso se midió en ropa interior, sin zapatos, usando un dispositivo electrónico (Tanita BC544, Tokio, Japón). La talla fue medida empleando un tallímetro mecánico con plataforma (Seca 274, Hamburgo, Alemania). El índice de masa

corporal (IMC) se calculó dividiendo el peso corporal (kg) por el cuadrado de la talla (cm²). La circunferencia abdominal se midió en el punto medio entre la última costilla y la cresta iliaca usando una cinta métrica con dinamómetro (Ohaus 8004-MA, NJ, EE UU). El porcentaje de grasa corporal se obtuvo mediante un dispositivo electrónico de bioimpedanciometría (Tanita BC544, Tokio, Japón). La presión arterial sistólica y diastólica fue determinada empleando un dispositivo oscilométrico automático (Omron HEM 757 CAN, Hoofddorp, Holanda) con brazalete pediátrico.

Los diferentes estadios del desarrollo sexual secundario fueron evaluados por un médico siguiendo la metodología descrita por Tanner y Whitehouse [28]. Se reconocieron cinco estadios para cada una de las siguientes características: desarrollo genital y vello púbico en hombres, y desarrollo mamario y vello púbico en mujeres.

Capacidad física

Capacidad aeróbica: Fue evaluada empleando el test de Yo-Yo, una prueba de campo indirecta-incremental máxima. Dicha prueba consiste en hacer una serie de repeticiones con carreras de ida y vuelta de 40 metros (2 x 20 metros) alternadas con un periodo de descanso de 10 segundos, el cual permanece constante durante todo el ejercicio. Sin embargo, la velocidad se incrementó de una manera preestablecida.

Fuerza muscular: Fue medida empleando dos pruebas: a) salto en largo y salto en vertical con los pies juntos para medir la fuerza explosiva de miembros inferiores; y b) prueba de dinamometría de mano para medir la fuerza de empuñadura máxima empleando un dinamómetro (Takei TKK 500, Tokio, Japón).

Análisis bioquímico

Las muestras de sangre fueron tomadas entre las 07:00 y las 09:00 horas tras un ayuno de 8-10 horas. A los participantes se les solicitó no realizar ningún ejercicio prolongado durante las 24 horas previas al examen. En todos los casos la sangre se obtuvo de la vena antecubital (20 ml). Las pruebas fueron procesadas en el laboratorio de la Escuela de Bacteriología de la Universidad de Santander-UNDES. La glicemia y el perfil lipídico se cuantificaron mediante el uso de un método de rutina colorimétrico (Byosystem BTS-303 fotométrico, Barcelona, España).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de las variables y medidas estudiadas mediante el programa STATA (versión 11.2; StataCorp 2009. Stata Statistical Software: Release 11. College Sta-

Tabla 1. Características de la población del estudio

	Total (n=336)	Niñas (n=171)	Niños (n=165)	P
Edad (años)	12,0 ± 1,0	11,9 ± 1,0	12,1 ± 1,0	0,120
Talla (cm)	147,5 ± 8,3	147,4 ± 7,0	147,5 ± 9,4	0,980
Peso (kg)	41,5 ± 9,6	41,3 ± 9,3	41,7 ± 9,9	0,776
IMC (Kg/m ²)	18,9 ± 3,3	18,8 ± 3,3	19,0 ± 3,3	0,579
Estado de peso (%)				0,140
Peso bajo	17 (5,1%)	6 (3,5%)	11 (6,6%)	
Peso normal	246 (74,1%)	127 (76,0%)	119 (72,1%)	
Sobrepeso	45 (13,5%)	26 (15,5%)	19 (11,5%)	
Obeso	24 (7,2%)	8 (4,7%)	16 (9,7%)	
Desarrollo puberal (%)				0,368
I	155 (46,6%)	63 (49,1%)	72 (44,1%)	
II	134 (40,3%)	62 (36,6%)	72 (44,1%)	
III	43 (12,9%)	24 (14,2%)	19 (11,6%)	
PAS (mmHg)	116,1 ± 11,5	114,5 ± 11,8	117,6 ± 11,0	0,015
PAD (mmHg)	75,3 ± 8,9	75,5 ± 9,0	75,2 ± 8,8	0,896
FC (x min)	89,7 ± 14,8	90,7 ± 13,9	88,8 ± 15,5	0,108
FR (x min)	18,0 ± 0,1	18,0 ± 1,2	18,1 ± 1,3	0,565
Circunferencia abdominal (cm)	66,7 ± 9,6	65,1 ± 9,1	68,4 ± 9,8	0,001
Fuerza empuñadura (kg)	16,9 ± 4,3	16,1 ± 3,4	17,6 ± 5,1	0,048
Fuerza empuñadura/peso	0,4 ± 0,08	0,4 ± 0,07	0,4 ± 0,09	0,003
Salto largo (cm)	127,6 ± 22,9	118,5 ± 17,3	136,7 ± 24,3	<0,001
Prueba Yo-Yo (etapa)	3,7 ± 1,3	3,3 ± 0,9	4,1 ± 1,5	<0,001
Salto alto (cm)	26,3 ± 9,2	24,9 ± 10,7	27,8 ± 7,1	<0,001
Glucosa (mg/dl)	91,1 ± 11,9	90,8 ± 12,0	91,4 ± 11,8	0,640
TG (mg/dl)	90,5 ± 47,3	89,6 ± 52,3	91,6 ± 41,4	0,631
TC/HDL-c	2,6 ± 0,7	2,6 ± 0,7	2,6 ± 0,8	0,896
LDL-c/HDL-c	1,3 ± 0,7	1,3 ± 0,7	1,3 ± 0,7	0,542

(IMC: Índice de Masa Corporal; PAS: Presión Arterial Sistólica; PAD: Presión Arterial Diastólica; FC: Frecuencia Cardíaca en reposo; FR: Frecuencia Respiratoria en reposo; TG: Triglicéridos; TC/HDL-c: relación Colesterol total y Colesterol HDL; LDL-c/HDL-c: relación Colesterol LDL y Colesterol HDL).

tion, TX: StataCorp LP). Las variables fueron resumidas con proporciones, medidas de tendencia central y dispersión. Se evaluó la normalidad para establecer la distribución de frecuencias. De acuerdo a esta distribución, se utilizó la prueba t de Student o de Mann Whitney para las variables continuas y la prueba Chi cuadrado para las variables categóricas para establecer diferencias por sexo. Se estimaron las correlaciones parciales ajustadas por sexo, edad y estadio puberal examinando la relación entre la capacidad cardiopulmonar y muscular con los factores de riesgo cardiovascular y un índice de riesgo metabólico (compuesto por presión arterial sistólica, triglicéridos, glicemia en ayunas, colesterol HDL). El nivel de significancia considerado para el estudio fue de un valor de $p < 0.05$.

Resultados

De los 336 sujetos incluidos en el estudio, 171 (50,9%) fueron mujeres. El promedio de edad general fue de 12 (DE: 1) años. Las estadísticas descriptivas para niñas y niños se muestran en la Tabla 1.

El IMC promedio en la población estudiada fue de $18,9 \pm 3,3$ Kg./m², encontrándose valores similares entre niños y niñas. En el análisis de peso, empleando la distribución por percentiles ajustada por edad y género, fueron más los niños y adolescentes en rango de sobrepeso y obesidad que los hallados con bajo peso. En total, 45 (13,5%) participantes presentaban sobrepeso y 24 (7,2%) obesidad. Solo 17 (5,1%) estuvieron en rango de bajo peso. Los niños tuvieron mayor fuerza explosiva (salto largo y alto)

Tabla 2. Correlaciones parciales (ajustadas por edad, sexo y estadio puberal) para prueba de fuerza de empuñadura (Dinamometría), pruebas de fuerza explosiva (salto largo/alto) y capacidad aeróbica (prueba Yo-Yo), con factores individuales de riesgo cardiovascular y el cluster de riesgo metabólico

	Fuerza empuñadura/ peso	Salto largo (cm)	Prueba Yo-Yo (etapa)	Salto alto (cm)
IMC (Kg/m ²)	-0,532 ***	-0,248 ***	-0,321 ***	-0,040
% grasa corporal	-0,597 ***	-0,387 ***	-0,445 ***	-0,163 ***
PAS (mmHg)	-0,115 *	-0,027	-0,057	-0,014
TG (mg/dl)	0,027	0,054	-0,073	-0,027
TC/HDL-c	0,131 *	0,025	-0,042	0,002
Glucosa (mg/dl)	0,028	0,035	0,036	0,032
Riesgo metabólico	0,022	0,044	-0,056	-0,002

(* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$; ajustado por edad, sexo y estadio puberal)

($p < 0,001$) que las niñas, aunque en la fuerza de empuñadura máxima tuvieron un comportamiento similar. Los niños presentaron una mejor capacidad aeróbica (prueba Yo-Yo) ($p < 0,001$). En el resto de variables estudiadas no se encontraron diferencias significativas entre ambos géneros.

En la Tabla 2 se muestran correlaciones parciales entre capacidad cardiorrespiratoria y muscular y factores individuales de riesgo cardiovascular y el *clúster* de riesgo metabólico. Se encontraron correlaciones inversas estadísticamente significativas entre IMC y fuerza de empuñadura ajustada por peso (-0,532) ($p < 0,001$), salto largo (-0,248) ($p < 0,001$) y la prueba de Yo-Yo (-0,321) ($p < 0,001$). El porcentaje de grasa corporal se correlacionó de forma inversa con estas variables, obteniendo valores de (-0,597) ($p < 0,001$), (-0,387) ($p < 0,001$), (-0,445) ($p < 0,001$) y (-0,163) ($p < 0,001$) para fuerza de empuñadura ajustada por peso, salto largo, prueba de Yo-Yo y salto alto, respectivamente.

La fuerza de empuñadura máxima se correlacionó de forma inversa con la PAS (-0,115) ($p < 0,05$), pero directamente con la relación colesterol total / colesterol HDL (TC/HDL-c) (0,131) ($p < 0,05$). En los demás análisis realizados se obtuvieron correlaciones planas y ligeramente inversas que no alcanzaron significación estadística.

I Discusión

La prevalencia de sobrepeso y obesidad fue de 20,7% en la población de niños escolares de Bucaramanga, resultados que soportan la propuesta de que también en los países de bajos ingresos la obesidad infantil está alcanzando proporciones de epidemia [29][30]. Se estima que a nivel global 22 millones de niños menores de 5 años están en sobrepeso [31]. Esta situación es alarmante si se considera que la obe-

sidad infantil predice el incremento en la tasa de mortalidad total y especialmente por ECV [32-34].

La obesidad infantil se acompaña de la presencia de otros factores de riesgo cardiovascular, lo que ha dado lugar a discrepancias sobre el efecto de la obesidad en el riesgo de ECV, así como también en el mecanismo por el cual la obesidad aumenta el riesgo de ECV [35]. En este estudio se demuestra que la obesidad y el porcentaje de grasa corporal se relacionan inversamente con la aptitud muscular y cardiorrespiratoria. Además, la fuerza de empuñadura ajustada por peso se relaciona de manera inversa con la PAS y la capacidad muscular atenúa el perfil metabólico adverso presente en los escolares en sobrepeso.

Estos resultados soportan la propuesta de que la obesidad y la presencia de desenlaces cardiovasculares pueden estar influenciadas por la adquisición diferencial de músculo y tejido adiposo en la infancia [36][37]. Es conocido que el riesgo conferido por el desequilibrio grasa/músculo tiende a persistir con el transcurso de los años, y que, independientemente del peso en la vida adulta, la adiposidad infantil tiene un efecto residual en el riesgo de hipertensión [35]. En el presente estudio la capacidad muscular neta, representada por la fuerza de empuñadura ajustada por peso, presentó una fuerte asociación de correlación inversa con las cifras de PAS.

En niños y adolescentes se ha descrito una asociación independiente entre la capacidad muscular y la sensibilidad a la insulina [25] y las concentraciones de proteínas proinflamatorias como PCR y prealbumina [20]. Es conocido que el entrenamiento de fuerza en niños y adultos mejora el perfil inflamatorio [38-40], el balance glicémico [41], el metabolismo de las grasas [42], la sensibilidad a la insulina [41][43][44] y la función endotelial [42], a través de un sistema de información cruzada entre el músculo esquelético y el

tejido adiposo con capacidad endocrina [45]. Así, las citoquinas derivadas del músculo (mioquinas), en particular las producidas en las fibras musculares tipo II [46][47], promueven un ambiente antiinflamatorio y antiaterogénico a través de efectos sistémicos y/o específicos en la grasa visceral [48]. En este sentido, se ha constatado que los niveles plasmáticos de la mioquina antiinflamatoria IL-15 están inversamente relacionados con la cantidad de masa grasa existente en el tronco. Además, se ha observado que la sobreexpresión de esta mioquina reduce la masa grasa visceral en ratones [49]. Al contrario, la citoquina proinflamatoria TNF- α inhibe la síntesis proteica muscular, se asocia con menor fuerza transversal [50] y predice la pérdida de fuerza longitudinal [51].

En población caucásica no hispánica se ha demostrado que las citoquinas inflamatorias se asocian inversamente con la fuerza muscular [52], el estado aeróbico [53] y la cantidad de masa corporal magra [54]. Si bien los datos de referencia en los niños hispánicos son limitados, los pocos datos existentes sugieren que estas tres mediciones relacionadas con la masa/calidad del músculo pueden ser menores en la población hispánica. Así, la fuerza del segmento superior determinado por dinamometría es menor en niños colombianos [55] comparado a los valores de referencia de Gran Bretaña [56]. En adultos brasileños también se observan valores disminuidos cuando se comparan con los de referencia de Europa o de EE UU [57]. La Encuesta de Salud y Nutrición de los Estados Unidos (NHANES: *National Health and Nutrition Examination Survey*) demostró la existencia de una menor masa muscular en adultos mexicano-americanos en relación con los observados en caucásicos americanos [58]. También se ha reportado una menor capacidad aeróbica en niños hispano-americanos, independientemente de su composición corporal [59]. Estos hallazgos están modificando las recomendaciones en cuanto a prescripción del ejercicio en niños. Así, el Colegio Americano de Medicina del Deporte recomendaba actividad física enfocada en el ejercicio aeróbico para mejorar la capacidad cardiorrespiratoria [60], pero actualmente recomienda tanto ejercicio aeróbico como de resistencia [61].

En conclusión, nuestros resultados demuestran que el sobrepeso y la obesidad constituyen un problema con alta prevalencia en la población infantil colombiana y sugieren que los efectos negativos cardiometabólicos del peso corporal excesivo pueden ser contrarrestados por una adecuada capacidad muscular. El incremento en la masa grasa en niños y adolescentes ha ocurrido concomitantemente con una disminución en el tiempo de ejercicio [62]. Consideramos que la promoción regular de actividades que estimulen la fuerza puede ser útil en la prevención del riesgo cardiometabólico,

ya que este tipo de ejercicios en los niños obesos y con sobrepeso es mejor aceptado y tolerado que el ejercicio aeróbico. **I**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kavey RE, Daniels SR, Lauer RM, Atkins DL, Hayman LL, Taubert K, *et al.* American Heart Association guidelines for primary prevention of atherosclerotic cardiovascular disease beginning in childhood. *Circulation* 2003; 107:1562-6.
2. Saland JM. Update on the metabolic syndrome in children. *Curr Opin Pediatr* 2007; 19:183-91.
3. Raitakari OT, Juonala M, Kähönen M, Taittonen L, Laitinen T, Mäki-Torkko N, *et al.* Cardiovascular risk factors in childhood and carotid artery intima-media thickness in adulthood: The cardiovascular risk in young Finns Study. *JAMA* 2003; 290:2277-83.
4. Brage S, Wedderkopp N, Ekelund U, Franks PW, Wareham NJ, Andersen LB, *et al.* Features of the metabolic syndrome are associated with objectively measured physical activity and fitness in Danish children: The European Youth Heart Study (EYHS). *Diabetes Care* 2004; 27:2141-8.
5. Mesa JL, Ruiz JR, Ortega FB, Wärnberg J, González-Lamuño D, Moreno LA, *et al.* Aerobic physical fitness in relation to blood lipids and fasting glycaemia in adolescents: Influence of weight status. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2006; 16:285-93.
6. Twisk JW, Kemper HC, Van Mechelen W. The relationship between physical fitness and physical activity during adolescence and cardiovascular disease risk factors at adult age. The Amsterdam Growth and Health Longitudinal Study. *Int J Sports Med* 2002; 23 (Suppl 1):S8-S14.
7. Ruiz JR, Castro-Piñero J, Artero EG, Ortega FB, Sjörström M, Suni J, *et al.* Predictive validity of health-related fitness in youth: A systematic review. *Br J Sports Med* 2009; 43:909-23.
8. Stump CS, Henriksen EJ, Wei Y, Sowers JR. The metabolic syndrome: Role of skeletal muscle metabolism. *Ann Med* 2006; 38:389-402.
9. Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am J Clin Nutr* 2006; 84:475-82.
10. Myers J, Prakash M, Froelicher V, Do D, Partington S, Atwood JE. Exercise capacity and mortality among men referred for exercise testing. *N Engl J Med* 2002; 346:793-801.
11. Carnethon MR, Gidding SS, Nehgme R, Sidney S, Jacobs DR Jr, Liu K. Cardiorespiratory fitness in young adulthood and the development of cardiovascular disease risk factors. *JAMA* 2003; 290:3092-100.
12. LaMonte MJ, Barlow CE, Jurca R, Kampert JB, Church TS, Blair SN. Cardiorespiratory fitness is inversely associated

- with the incidence of metabolic syndrome: A prospective study of men and women. *Circulation* 2005; 112:505-12.
13. Mora S, Redberg RF, Cui Y, Whiteman MK, Flaws JA, Sharrrett AR, *et al.* Ability of exercise testing to predict cardiovascular and all-cause death in asymptomatic women: A 20-year follow-up of the lipid research clinics prevalence study. *JAMA* 2003; 290:1600-7.
 14. Metter EJ, Talbot LA, Schrager M, Conwit R. Skeletal muscle strength as a predictor of all-cause mortality in healthy men. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002; 57:359-65.
 15. Jurca R, Lamonte MJ, Barlow CE, Kampert JB, Church TS, Blair SN. Association of muscular strength with incidence of metabolic syndrome in men. *Med Sci Sports Exerc* 2005; 37:1849-55.
 16. Hülsmann M, Quittan M, Berger R, Crevenna R, Springer C, Nuhr M, *et al.* Muscle strength as a predictor of long-term survival in severe congestive heart failure. *Eur J Heart Fail* 2004; 6:101-7.
 17. Lopez-Jaramillo P. Defining the research priorities to fight the burden of cardiovascular diseases in Latin America. *J Hypertens* 2008; 26:1886-9.
 18. Lopez-Jaramillo P. Cardiometabolic disease in Latin America: The role of fetal programming in response to maternal malnutrition. *Rev Esp Cardiol* 2009; 62:670-6.
 19. Atlantis E, Martin SA, Haren MT, Taylor AW, Wittert GA. Inverse associations between muscle mass, strength, and the metabolic syndrome. *Metabolism* 2009; 58:1013-22.
 20. Ruiz JR, Ortega FB, Wärnberg J, Moreno LA, Carrero JJ, Gonzalez-Gross M, *et al.* Inflammatory proteins and muscle strength in adolescents: The Avena study. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2008; 162:462-8.
 21. Sayer AA, Dennison EM, Syddall HE, Gilbody HJ, Phillips DI, Cooper C. Type 2 diabetes, muscle strength, and impaired physical function: The tip of the iceberg? *Diabetes Care* 2005; 28:2541-2.
 22. Sayer AA, Syddall HE, Dennison EM, Martin HJ, Phillips DI, Cooper C, *et al.* Grip strength and the metabolic syndrome: Findings from the Hertfordshire Cohort Study. *QJM* 2007; 100:707-13.
 23. Jackson AW, Lee DC, Sui X, Morrow JR Jr, Church TS, Maslow AL, *et al.* Muscular strength is inversely related to prevalence and incidence of obesity in adult men. *Obesity (Silver Spring)* 2010; 18:1988-95.
 24. Larew K, Hunter GR, Larson-Meyer DE, Newcomer BR, McCarthy JP, Weinsier RL. Muscle metabolic function, exercise performance, and weight gain. *Med Sci Sports Exerc* 2003; 35:230-6.
 25. Benson AC, Torode ME, Singh MA. Muscular strength and cardiorespiratory fitness is associated with higher insulin sensitivity in children and adolescents. *Int J Pediatr Obes* 2006; 1:222-31.
 26. Steene-Johannessen J, Anderssen SA, Kolle E, Andersen LB. Low muscle fitness is associated with metabolic risk in youth. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41:1361-7.
 27. García-Artero E, Ortega FB, Ruiz JR, Mesa JL, Delgado M, González-Gross M, *et al.* Lipid and metabolic profiles in adolescents are affected more by physical fitness than physical activity (Avena study). *Rev Esp Cardiol* 2007; 60:581-8.
 28. Tanner JM, Whitehouse RH. Clinical longitudinal standards for height, weight, height velocity, weight velocity, and stages of puberty. *Arch Dis Child* 1976; 51:170-9.
 29. Freedman DS, Srinivasan SR, Valdez RA, Williamson DF, Berenson GS. Secular increases in relative weight and adiposity among children over two decades: the Bogalusa Heart Study. *Pediatrics* 1997; 99:420-6.
 30. Troiano RP, Flegal KM. Overweight children and adolescents: Description, epidemiology, and demographics. *Pediatrics* 1998; 101:497-504.
 31. Deckelbaum RJ, Williams CL. Childhood obesity: The health issue. *Obes Res* 2001; 9 (Suppl 4):S239-S43.
 32. Must A, Jacques PF, Dallal GE, Bajema CJ, Dietz WH. Long-term morbidity and mortality of overweight adolescents. A follow-up of the Harvard Growth Study of 1922 to 1935. *N Engl J Med* 1992; 327:1350-5.
 33. Baker JL, Olsen LW, Sørensen TI. Childhood body-mass index and the risk of coronary heart disease in adulthood. *N Engl J Med* 2007; 357:2329-37.
 34. Franks PW, Hanson RL, Knowler WC, Sievers ML, Bennett PH, Looker HC. Childhood obesity, other cardiovascular risk factors, and premature death. *N Engl J Med* 2010; 362:485-93.
 35. Juonala M, Magnussen CG, Berenson GS, Venn A, Burns TL, Sabin MA, *et al.* Childhood adiposity, adult adiposity, and cardiovascular risk factors. *N Engl J Med* 2011; 365:1876-85.
 36. Bhargava SK, Sachdev HS, Fall CH, Osmond C, Lakshmy R, Barker DJ, *et al.* Relation of serial changes in childhood body-mass index to impaired glucose tolerance in young adulthood. *N Engl J Med* 2004; 350:865-75.
 37. Barker DJ, Osmond C, Forsén TJ, Kajantie E, Eriksson JG. Trajectories of growth among children who have coronary events as adults. *N Engl J Med* 2005; 353:1802-9.
 38. De Salles BF, Simão R, Fleck SJ, Dias I, Kraemer-Aguiar LG, Bouskela E. Effects of resistance training on cytokines. *Int J Sports Med* 2010; 31:441-50.
 39. Donges CE, Duffield R, Drinkwater EJ. Effects of resistance or aerobic exercise training on interleukin-6, C-reactive

- protein, and body composition. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42:304-13.
40. Balducci S, Zanuso S, Nicolucci A, Fernando F, Cavallo S, Cardelli P, *et al.* Anti-inflammatory effect of exercise training in subjects with type 2 diabetes and the metabolic syndrome is dependent on exercise modalities and independent of weight loss. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 2010; 20:608-17.
 41. Holten MK, Zacho M, Gaster M, Juel C, Wojtaszewski JF, Dela F. Strength training increases insulin-mediated glucose uptake, GLUT4 content, and insulin signaling in skeletal muscle in patients with type 2 diabetes. *Diabetes* 2004; 53:294-305.
 42. Kirk EP, Donnelly JE, Smith BK, Honas J, Lecheminant JD, Bailey BW, *et al.* Minimal resistance training improves daily energy expenditure and fat oxidation. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41:1122-9.
 43. Cauza E, Hanusch-Enserer U, Strasser B, Ludvik B, Metz-Schimmerl S, Pacini G, *et al.* The relative benefits of endurance and strength training on the metabolic factors and muscle function of people with type 2 diabetes mellitus. *Arch Phys Med Rehabil* 2005; 86:1527-33.
 44. Ivy JL. Role of exercise training in the prevention and treatment of insulin resistance and non-insulin-dependent diabetes mellitus. *Sports Med.* 1997; 24:321-36.
 45. Argiles JM, López-Soriano J, Almendro V, Busquets S, López-Soriano FJ. Cross-talk between skeletal muscle and adipose tissue: A link with obesity? *Med Res Rev.* 2005; 25:49-65.
 46. Nielsen AR, Mounier R, Plomgaard P, *et al.* Expression of interleukin-15 in human skeletal muscle: Effect of exercise and muscle fibre type composition. *J Physiol* 2007; 584:305-12.
 47. Walsh K. Adipokines, myokines and cardiovascular disease. *Circ J* 2009; 73:13-8.
 48. Brandt C, Pedersen BK. The role of exercise-induced myokines in muscle homeostasis and the defense against chronic diseases. *J Biomed Biotechnol.* 2010; 2010:520258.
 49. Nielsen AR, Hojman P, Erikstrup C, Fischer CP, Plomgaard P, Mounier R, *et al.* Association between interleukin-15 and obesity: Interleukin-15 as a potential regulator of fat mass. *J Clin Endocrinol Metab* 2008; 93:4486-93.
 50. Visser M, Pahor M, Taaffe DR, Goodpaster BH, Simonsick EM, Newman AB, *et al.* Relationship of interleukin-6 and tumor necrosis factor-alpha with muscle mass and muscle strength in elderly men and women: The Health ABC Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2002; 57:326-32.
 51. Schaap LA, Pluijm SM, Deeg DJ, Harris TB, Kritchevsky SB, Newman AB, *et al.* Higher inflammatory marker levels in older persons: Associations with 5-year change in muscle mass and muscle strength. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2009; 64:1183-9.
 52. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, *et al.* Association between muscular strength and mortality in men: Prospective cohort study. *BMJ* 2008; 337:439.
 53. Ruiz JR, Ortega FB, Wärnberg J, Moreno LA, Carrero JJ, González-Gross M, *et al.* Inflammatory proteins and muscle strength in adolescents: The Avena study. *Arch Pediatr Adolesc Med* 2008; 162:462-8.
 54. Donges CE, Duffield R, Drinkwater EJ. Effects of resistance or aerobic exercise training on interleukin-6, C-reactive protein, and body composition. *Med Sci Sports Exerc* 2010; 42:304-13.
 55. Ramos-Bermúdez S, Alonso-Alzate G, Salazar D. Evaluación antropométrica y motriz condicional de niños y adolescentes. Manizales, Colombia: Editorial Universidad de Caldas; 2007.
 56. Cohen D, Voss C, Taylor M, Delextrat A, Ogunleye A, Sandercock G. Ten-year secular changes in muscular fitness in English children. *Acta Paediatr* 2011; 100:175-7.
 57. Schlüssel MM, Dos Anjos LA, De Vasconcellos MT, Kac G. Reference values of handgrip dynamometry of healthy adults: A population-based study. *Clin Nutr* 2008; 27:601-7.
 58. Chumlea WC, Guo SS, Kuczmariski RJ, Flegal KM, Johnson CL, Heymsfield SB, *et al.* Body composition estimates from NHANES III bioelectrical impedance data. *Int J Obes Relat Metab Disord* 2002; 26:1596-609.
 59. Shaibi GQ, Ball GD, Goran MI. Aerobic fitness among Caucasian, African-American, and Latino youth. *Ethn Dis* 2006; 16:120-5.
 60. ACSM. Physical fitness in children and youth. *Med Sci Sports Exerc* 1988; 20:422-3.
 61. Andersen LB, Riddoch C, Kriemler S, Hills AP. Physical activity and cardiovascular risk factors in children. *Br J Sports Med* 2011; 45:871-6.
 62. Centers for Disease Control and Prevention. Promoting better health for young people through physical activity and sports. A report to the President from the Secretary of Health and Human Services and the Secretary of Education. Silver Spring (MD): US Department of Health and Human Services and Department of Education, 2000.

Conflicto de intereses

Los autores hemos recibido ayuda económica de FUNDACIÓN MAPFRE para la realización de este trabajo. No hemos firmado ningún acuerdo por el que vayamos a recibir beneficios u honorarios por parte de alguna entidad comercial o de FUNDACIÓN MAPFRE.