MÁSTER

«Condicionantes Genéticos, Nutricionales y Ambientales del Crecimiento y el Desarrollo»

Dinamometría manual y factores asociados en adolescentes

Alumno: **José María Andrés Carreira**

Tutores: Prof. Dr. Carlos G. Redondo Figuero

Prof. Dr. Pedro Manuel De Rufino Rivas

Título: Dinamometría manual y factores asociados en adolescentes.

Autor: José María Andrés Carreira DNI: 20199479M

Tutores: Prof. Dr. Carlos G. Redondo Figuero DNI: 13695998G

Prof. Dr. Pedro Manuel De Rufino Rivas DNI: 07821692J

Este trabajo se ha realizado bajo la línea de investigación del estudio «RIMA», englobado dentro del proyecto educativo que se está llevando a cabo entre dos institutos de Enseñanza Secundaria (IES Augusto G. Linares e IES Cantabria) y la Facultad de Medicina de la Universidad de Cantabria.

TÍTULO

Dinamometría manual y factores asociados en adolescentes.

RESUMEN

Introducción: la fuerza muscular medida mediante dinamometría manual es un buen indicador de salud, ya que nos predice el estado de salud presente y futuro.

Objetivo: describir la fuerza manual en la adolescencia y relacionarla con la edad y el sexo. Al mismo tiempo analizar qué influencia ejercen diversos factores como el estado nutricional, la lateralidad del individuo, el IMC, el perímetro de la cintura, el volumen del antebrazo y el *commuting* ejercen su influencia en la fuerza muscular.

Personas y métodos: estudio observacional transversal cuya muestra se compuso de 503 alumnos (268 mujeres y 235 varones) de entre 12 y 17 años. La medición de la fuerza de presión se realizó con un dinamómetro manual digital con agarre ajustable (Takei 5401). Se midió el peso, la altura, el perímetro de cintura y la longitud del antebrazo junto con sus perímetros distal y proximal. Con estos datos se calculó el Índice de Masa Corporal (IMC) y el volumen del antebrazo.

Resultados: la edad, el sexo y el estado nutricional son importantes predictores de la fuerza muscular. Ponemos de manifiesto por primera vez la importancia del volumen del antebrazo en la fuerza muscular de los adolescentes. El aumento del volumen del antebrazo supone un aumento en la fuerza prensil.

Conclusiones: La fuerza máxima se incrementa con la edad, sobre todo en los varones. El análisis de correlación múltiple estableció la asociación positiva del género, la edad y el volumen del antebrazo. En cambio de manera negativa el perímetro de cintura y en mayor grado la obesidad.

PALABRAS CLAVE: Dinamometría, Fuerza muscular. Adolescencia. Estado nutricional. Lateralidad funcional.

TITLE

Handgrip strength and associated factors in teenagers.

ABSTRACT

Background: muscular strength measured by handgrip strength test is a good health indicator since it is a predictor of the present and future health state.

Objective: to describe the manual strength during adolescence and to relate it with age and gender. Simultaneously, to analyze how muscular strength is altered by several factors such as nutritional state, laterality, BMI, waist circumference, forearm volume and the commuting.

Methods: a cross-sectional study of 503 students (268 women and 235 men) between 12 and 17 years old, was conducted. Handgrip strength was measured with a digital manual dynamometer (Takei 5401) with an adjustable grip. Weight, height, waist circumference, forearm length and forearm distal and proximal circumferences. With this data, Body Mass Index (BMI) and forearm volume was calculated.

Results: age, gender and nutritional state are strong predictors of muscular strength. For the first time, it is highlighted the relevance of the relation between the forearm volume and the muscular strength in adolescents. A growth in the forearm volume causes an increment in the handgrip strength.

Conclusion: maximum strength is increased with age, especially among men. The multiple correlation analysis determined a positive association with gender, age, and the forearm volume. In contrast, waist circumference and obesity were negatively associated with handgrip strength.

KEY WORDS: Dynamometry. Muscle strength. Adolescent. Nutritional Status. Functional laterality.

Santander, 7 de octubre de 2015

Don Carlos Godofredo Redondo Figuero y Don Pedro Manuel de Rufino Rivas, profesores asociados de la Universidad de Cantabria, en el Departamento de Ciencias Médicas y Quirúrgicas y profesores del Máster «Condicionantes Genéticos, Nutricionales y Ambientales del Crecimiento y Desarrollo» (Real Decreto 1393/2007):

CERTIFICAN

Que el presente trabajo «Dinamometría manual y factores asociados en adolescentes», desarrollado por el alumno Don José María Andrés Carreira, es una investigación que cumple con los requisitos de originalidad, calidad y pertinencia para ser presentado como **Trabajo Fin de Máster** y así obtener el título de la UC de *Máster en Condicionantes Genéticos, Nutricionales y Ambientales del Crecimiento y Desarrollo* en el curso 2014/2015.

Los Tutores

Fdo. Carlos G. Redondo Figuero y Fdo. Pedro M. de Rufino Rivas

El alumno

Fdo. José María Andrés Carreira

ÍNDICE

Introducción 6
Hipótesis 9
Objetivos 9
Personas y Métodos 10
Resultados 14
Discusión 22
Conclusiones 24
Agradecimientos 24
Bibliografía 25

INTRODUCCIÓN

Actualmente el sobrepeso y la obesidad se han convertido en un grave problema de salud pública a nivel mundial. Tiene particular importancia en niños y adolescentes por su elevada prevalencia y por ser un factor de riesgo de enfermedades cardiovasculares [1]. Incluso ciertas enfermedades consideradas del adulto, como son la diabetes mellitus o la hipertensión, están apareciendo con mayor frecuencia en niños y adolescentes [2].

Debido a la relación de estas enfermedades con los hábitos de vida, se ha demostrado el importante papel que tienen la alimentación y el ejercicio físico en el estado nutricional [3, 4]. Dentro del ámbito de la actividad física se utiliza el concepto de Condición Física (CF), que es definida de numerosas formas, como por ejemplo: «la capacidad funcional del individuo para rendir en aquellos trabajos que requieren actividad muscular» [5]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) la define como «la habilidad de realizar adecuadamente un trabajo muscular» [6]. Otra definición es «la capacidad de llevar a cabo las tareas diarias con vigor y vivacidad, sin excesiva fatiga y con suficiente energía para disfrutar del tiempo libre u ocio y para afrontar emergencias inesperadas» [7].

En la CF se pueden distinguir fundamentalmente dos componentes: (1) *Físico*, en el que se consideran aspectos de fuerza, resistencia, flexibilidad y velocidad; y (2) *Psicomotriz*, en el que se contemplan la agilidad, el equilibrio y la coordinación de los movimientos.

Por lo tanto, un buen indicador de salud, que compone parte de la CF, es la fuerza muscular (FM). A ésta se la define como «la fuerza generada por la actividad bioquímica, o el estiramiento del tejido no contráctil, que tiende a acercar entre sí los extremos de un músculo» [8]. La generación de fuerza o tensión mediante la contracción del músculo depende de varios factores, unos estructurales, como el volumen muscular y el número de miofilamentos, otros de índole fisiológica, como el número y tamaño de las unidades motoras y también existen otros factores, como la dotación genética, la edad, el sexo, el desarrollo muscular, el nivel de entrenamiento y finalmente, otros factores dietéticos y hormonales [9].

Tradicionalmente el rendimiento aeróbico ha sido la cualidad física más estudiada por su relación con la salud, pero el reconocimiento del papel de la FM en la prevención de enfermedades ha aumentado gracias a las investigaciones de los últimos años.

En los adultos está muy relacionada con su salud metabólica [10], de hecho, se ha observado una asociación entre la baja FM y un incremento de la resistencia insulínica a los 20 años de seguimiento [11]. También está asociada con futuras limitaciones funcionales [12]. Diferentes estudios prospectivos han concluido que una alta FM disminuye el riesgo de mortalidad por cualquier causa [13,14]. En una cohorte de más de un millón de hombres, la FM se asoció inversamente con enfermedades cardiacas y los accidentes cerebrovasculares [15]. Otra cohorte confirmó que el exceso de grasa total y abdominal es mayor en las personas con bajos niveles de FM [16]. La FM no solo produce mejoras cardiovasculares y se asocia con un aumento del volumen del hipocampo, mejorando las capacidades de memoria [17], sino que también tiene un impacto positivo en la estructura ósea [18].

Durante la infancia y la adolescencia la capacidad muscular es un componente importante de la CF y un predictor del estado de salud presente y futuro [19,20]. Al igual que en los adultos, también la FM alta se asocia con la salud metabólica [21], disminuye la resistencia a la insulina [22], y tiene un efecto protector sobre las enfermedades cardiovasculares [21,23-26] y las proteínas inflamatorias [27]. Curiosamente, los niveles más altos de FM tienden a contrarrestar el perfil cardiovascular adverso de las personas con sobrepeso y obesidad [21,25,27]. Una FM baja se asocia con una mayor mortalidad en el adolescente y adulto joven por suicidio y enfermedad cardiovascular [28] y con un mayor riesgo de fractura al realizar ejercicio [29]. Existe una clara asociación entre la fuerza muscular y el *commuting* [30,31]. Se denomina *commuting* a aquella actividad física rutinaria consistente en ir caminando al centro escolar y que tiene efectos beneficiosos sobre la salud del adolescente [32].

Un programa completo para mejorar la CF, y por lo tanto la salud de los menores, incluye no solo el ejercicio aeróbico, sino también ejercicios de musculación y de estiramiento [33].

La actividad física es uno de los factores más importantes para mantener la armonía entre el estado de salud del individuo y su dotación genética [34], de ahí que sea importante promocionarla, aunque se observen importantes variaciones geográficas e individuales [35]. Debido a estas variaciones, es importante conocer en cada lugar cuál

es el nivel de actividad física en los niños y adolescentes para acomodar los programas preventivos a las necesidades de cada lugar [36].

HIPÓTESIS

La fuerza medida mediante dinamometría manual es similar en ambos sexos hasta llegar al desarrollo puberal, donde empieza a ser mayor en los varones. Durante la adolescencia la FM estará modulada por la edad, sexo, estado nutricional, lateralidad del individuo, IMC, perímetro de cintura, volumen del antebrazo y *commuting*.

OBJETIVOS

Objetivo principal. Describir la fuerza manual en la adolescencia medida mediante dinamometría y relacionarla con la edad, el sexo y estudiar la influencia que sobre ella ejercen diversos factores.

Objetivos secundarios. En este estudio se contemplan varios:

1. Describir la fuerza mediante medias, DE y percentiles a los largo de los años estudiados, diferenciando entre varones y mujeres.
2. Analizar la influencia de la lateralidad sobre la FM.
3. Evaluar la influencia del IMC sobre la FM.
4. Ponderar la influencia del perímetro de la cintura sobre la FM.
5. Referir la influencia del volumen del antebrazo sobre la FM
6. Evaluar la asociación entre el estado nutricional y la FM.
7. Analizar la influencia del *commuting* sobre la FM.
8. Ponderar la influencia de cada uno de los factores estudiados sobre la FM empleando un modelo de regresión lineal múltiple.

PERSONAS Y MÉTODOS

Diseño. El presente estudio observacional transversal fue realizado a partir de los datos obtenidos para el desarrollo de los proyectos: «*Cuida tu Salud*», del IES Cantabria y «*A gusto con tu salud*» del IES Augusto González de Linares. Ambos proyectos forman parte del programa «***Escuelas Promotoras de Salud***» y fueron aprobados por la Consejería de Educación del Gobierno de Cantabria. La información referente al mismo fue transmitida a los padres de los alumnos a través de una circular a comienzos del curso 2014–2015. De igual forma, todo el alumnado fue informado del proyecto a través de los tutores de grupo. Finalmente, para la realización de alguna de las actividades, también se les facilitó a los padres la información, por escrito, sobre las mismas.

Sujetos. Un total de 503 alumnos (268 mujeres y 235 varones) se seleccionaron después de pasar los criterios de participación.

Criterios de participación. Para que la muestra fuera lo más heterogénea posible y obtener una gran validez externa se incluyó a todos los alumnos matriculados en dos institutos de Santander con enseñanzas de Bachillerato y Formación Profesional con una edad de [12,17) años. Los criterios de exclusión fueron cualquier enfermedad o malestar agudo o un impedimento físico de cualquier tipo que les impidiera la realización de las prueba físicas en la clase de Educación Física.

Fuerza manual. De cada individuo se recogieron diversas medidas de fuerza manual. Para realizar las mediciones de FM se utilizó un dinamómetro manual digital con agarre ajustable (modelo Takei 5401) y una regla-tabla para medir el tamaño de la mano en su anchura máxima (midiendo la distancia que separa los extremos distales de los dedos primero y quinto con la mano totalmente abierta). Esta medida llamada Amplitud de la Mano sirvió para regular el maneral del dinamómetro y se mide en centímetros. Una vez regulado de manera individual y habiendo registrado la lateralidad del individuo (preguntándole si es diestro o zurdo en función de qué mano utiliza para la escritura) pusimos el aparato a cero y se lo entregamos. Al realizar la prueba estaba en bipedestación, con la extremidad superior que sujetaba el aparato totalmente extendida y en ligera separación del cuerpo (formando un ángulo de 10º), y con el antebrazo y la muñeca en posición neutra. Se le decía que apretara con su máxima fuerza

durante 5 – 7 segundos, realizando un estímulo verbal por parte del investigador, y se registraba la cifra obtenida antes de poner dicho valor de nuevo a 0. Este proceso se repitió alternando la mano, con un minuto de descanso, en cinco ocasiones más, para así obtener tres determinaciones de cada mano. La FM se mide en kilogramos de fuerza (kgf).

Antropometría. Para las mediciones corporales se utilizaron técnicas estandarizadas [37] tomando de cada parámetro dos medidas y se tomó la media de ambas. El peso se determinó empleando una báscula Seca (modelo 869, precisión 50 g) colocando al sujeto en el centro de la placa con ropas ligeras. La altura se determinó con una cinta métrica no elástica pegada a una pared (precisión 1 mm) estando colocado el sujeto descalzo con los talones, las nalgas, la zona dorsal interomóplatos y la nuca adosadas a la pared, la cabeza mirando al frente y con plano de Frankfurt horizontal. Con el peso y la altura se calculó el índice de masa corporal (IMC) expresado en kg/m² según la ecuación 1, lo que permitió clasificar a los sujetos como delgados, normales, sobrepeso u obesidad empleando los criterios de la International Obesity Task Force (IOTF) [38,39] adoptados por la OMS [40].

$$IMC = \frac{Peso\ [kg]}{\left(Altura\ [m]\right)^2} \tag{1}$$

Los perímetros corporales se midieron con una cinta métrica no elástica (precisión de 1 mm). El perímetro de la cintura se midió con el abdomen descubierto, con los brazos bajados en una posición relajada y abducida, entre el borde del costal inferior (décima costilla) y la cresta ilíaca, al final de una espiración normal y sin que la cinta presionara la piel.

El perímetro del antebrazo se midió en su parte proximal (zona junto al codo) y en su parte distal (muñeca). La longitud del antebrazo se obtuvo midiendo la distancia desde el olécranon hasta la apófisis estiloidea del cúbito. Con estas tres medidas se calculó el volumen del antebrazo (en mL) aplicando la siguiente fórmula matemática asumiendo que el antebrazo es un tronco de cono (ecuación 2):

$$V = \frac{A}{12\pi}(C^2 + C\cdot M + M^2) \tag{2}$$

Siendo *A* la longitud del antebrazo, *C* el perímetro proximal del antebrazo (codo) y *M* el perímetro distal del antebrazo (muñeca).

Preparación de la matriz de datos. Antes de realizar el análisis estadístico se depuraron los datos para así poder evitar el síndrome «GIGO» (*garbage in, garbage out*). Una vez depurados se borró cualquier dato que pudiera permitir identificar a algún alumno. La matriz de datos anonimizada es la que se puso a disposición de los investigadores para el análisis estadístico.

Análisis estadístico. En primer lugar se realizó una estadística descriptiva de las variables. Inicialmente se comprobó la condición de normalidad de las variables numéricas mediante la prueba de Shapiro-Wilks y gráficos de normalidad (*Q-Q plot*); las variables que la cumplieron se describieron con la media y la desviación estándar (DE), y en las que no con la mediana y el rango intercuartílico. Se calculó el intervalo de confianza del 95% mediante técnicas asintóticas o de *bootstrap*. Las variables cualitativas se describieron mediante porcentajes con intervalos de confianza según el método recomendado de Wilson.

En segundo lugar se estudiaron la relaciones bivariables mediante pruebas no pareadas paramétricas (*t* de Student con la corrección de Welch, ANOVA) o no paramétricas (prueba de Man-Whitney o de Kruskal-Walis) según las características de las variables. Para comparar entre el inicio y el final se utilizaron pruebas pareadas paramétricas o no paramétricas, según correspondió en cada caso, de acuerdo a la comprobación de las condiciones de aplicación.

Los datos se almacenaron en hojas de cálculo Excel. La depuración y el análisis de datos se realizaron con el programa estadístico R. Se consideró como significativo un valor de $p < 0,05$ y todas las pruebas de hipótesis fueron bilaterales (*two-tailed*).

Características basales. Las características de la población estudiada se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de la población estudiada (268 mujeres y 235 varones)

Característica	Mujeres *n*	Mujeres %	Varones *n*	Varones %
IES:				
Augusto González Linares	114	42.5	113	48.1
Cantabria	154	57.5	122	51.9
Curso:				
1º ESO	66	24.6	61	26.0
2º ESO	69	25.7	63	26.8
3º ESO	54	20.1	43	18.3
4º ESO	46	17.2	41	17.4
1º Bachiller	33	12.3	27	11.5
Edad:				
12 años	51	19.0	39	16.6
13 años	59	22.0	59	25.1
14 años	55	20.5	44	18.7
15 años	56	20.9	48	20.4
16 años	47	17.5	45	19.1
Estado Nutricional:				
Delgadez	20	7.5	14	6.0
Normal	188	70.1	164	69.8
Sobrepeso	46	17.2	46	19.6
Obesidad	14	5.2	11	4.7

RESULTADOS

Fuerza máxima (FM). Definida como la fuerza manual máxima ejercida por un individuo tanto en el brazo izquierdo como en el derecho. Por lo tanto, de los seis resultados que se obtuvieron de cada individuo, se escogió uno, el más elevado. Esta FM en los 503 sujetos tuvo una media de 27.8 kgf (DE = 7.44). En las 268 adolescentes del sexo femenino la FM fue de 24.7 kgf (DE = 4.74), significativamente menor (prueba *t* de Student con la corrección de Welch, $t = 10.8$, $gl = 360.1$, $p < 0{,}001$) que la FM observada en los 235 varones: 31.4 kgf (DE = 8.33).

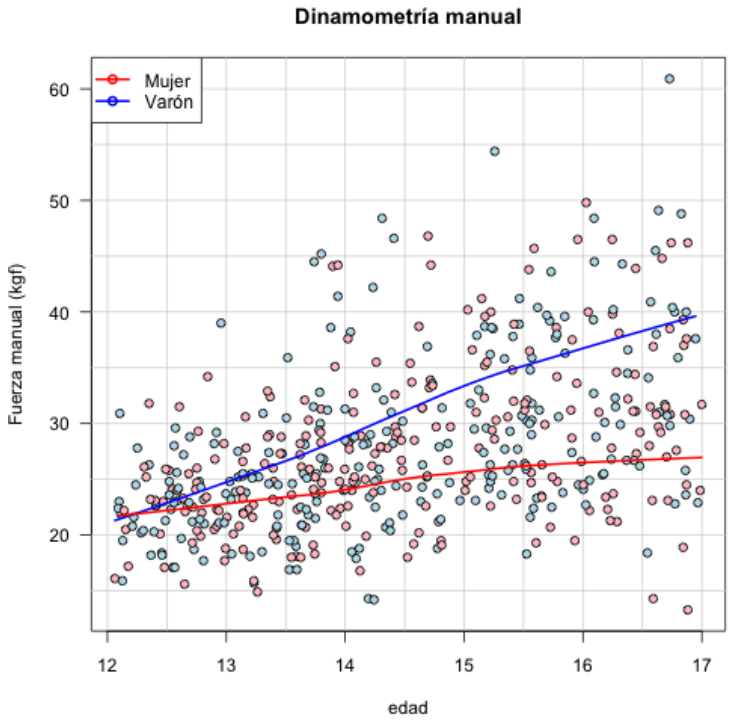

Figura 1. FM (kgf) en función de la edad (años). Los puntos correspondientes a los varones se representan de color azul y los de las mujeres en color rosa. Se han representado las líneas de regresión no paramétrica para hombres y mujeres.

En la Figura 1 se aprecia que la FM aumenta con la edad, más en los varones que en las mujeres.

En la Tabla 2 se presentan los principales estadísticos (media, desviación estándar y percentiles) de la FM para ambos sexos en función de la edad. Se aprecia una mayor variabilidad en los varones y éstos presentan una FM similar a las chicas a los

12 años, pero después (en la etapa de la adolescencia intermedia), presentan valores significativamente superiores (ver Tabla 3).

Tabla 2. Estadística descriptiva de la FM (kgf) según edad y sexo.

Edad				*Percentiles*								
(años)	*n*	*Media*	*DE*	P_3	P_5	P_{10}	P_{25}	P_{50}	P_{75}	P_{90}	P_{95}	P_{97}
Mujeres:												
12	51	22.5	3.50	16.5	17.1	17.7	20.3	22.9	24.8	26.8	28.2	28.8
13	59	23.4	4.07	15.8	16.8	18.0	21.1	23.3	26.1	28.4	30.0	30.7
14	55	24.2	4.33	15.9	17.6	18.6	21.1	24.7	27.9	29.1	29.7	30.3
15	56	27.4	5.08	19.4	20.4	22.4	23.9	26.3	30.3	32.0	36.6	39.2
16	47	26.4	4.85	15.9	18.5	21.8	23.5	26.7	29.9	31.3	31.6	32.1
Varones:												
12	39	23.9	4.86	17.1	17.1	19.7	20.5	22.7	25.7	31.0	32.0	33.9
13	59	27.5	6.81	18.3	19.4	20.1	22.9	25.9	30.8	36.4	44.1	44.3
14	44	31.4	6.98	19.7	20.6	24.0	27.6	31.0	33.8	41.2	46.2	46.7
15	48	35.6	6.16	24.4	24.7	26.5	31.7	36.4	39.0	41.2	43.7	45.4
16	45	38.5	7.69	22.7	25.1	30.9	34.1	38.1	44.3	47.6	49.0	49.6

Factores que influyen en la FM. En este estudio se han analizado varios factores:

***a)* Sexo**. La fuerza en los varones (31.4 kgf, DE = 8.33) es significativamente superior ($p < 0.001$) a la de las mujeres (24.7 kgf, DE = 4.74), como se presenta en la Tabla 3. Además se aprecia que la variabilidad en los varones es superior.

***b)* Lateralidad**. La FM en los zurdos es ligeramente superior a la de los diestros, pero sin alcanzar significación estadística (Tabla 3). Esto sucede tanto en los de un sexo como en los del otro.

Tabla 3. Características de la FM (kgf) según lado del cuerpo, lateralidad, edad y estado nutricional. Comparación entre ambos sexos.

	Mujeres		*Varones*		*Prueba t-test de Welch*		
Característica	*media*	*DE*	*media*	*DE*	*|t|*	*df*	*p.value*
Global:							
Fuerza máxima	24.7	4.74	31.4	8.33	10.78	360.1	< 0,001
en lado derecho	24.3	4.75	30.9	8.39	10.73	359.2	< 0,001
en lado izquierdo	22.9	4.80	29.3	7.99	10.73	372.8	< 0,001
Lateralidad:							
Diestros	24.7	4.68	31.4	8.45	10.38	333.6	< 0,001
Zurdas	25.0	5.67	31.6	6.53	2.96	26.0	0,006
Edad:							
12 años	22.5	3.50	23.9	4.86	1.50	66.2	0,139
13 años	23.4	4.07	27.5	6.81	3.99	94.6	< 0,001
14 años	24.2	4.33	31.5	6.98	6.06	68.4	< 0,001
15 años	27.4	5.08	35.6	6.16	7.31	91.2	< 0,001
16 años	26.4	4.85	38.5	7.69	8.94	73.7	< 0,001
Estado nutricional:							
Delgadez	19.6	3.68	29.4	7.35	4.62	17.6	< 0,001
Normal	25.0	4.68	31.8	8.20	9.36	251.0	< 0,001
Sobrepeso	25.5	4.29	31.5	9.71	3.83	61.9	< 0,001
Obesidad	26.6	3.84	27.8	3.56	0.83	22.31	0,418

***c)* Edad**. La FM fue aumentando progresiva y significativamente con la edad (Tabla 3 y Figura 1), aunque con un ritmo distinto para los hombres que para las mujeres. De partir, a los 12 años, con unas fuerzas máximas muy parecidas y con muy poca variabilidad (DE = 3.50 y 4.86, respectivamente) se llega a los 16 años con una gran diferencia entre los dos sexos (12.1 kgf) y con una variabilidad mayor, sobre todo en los varones (DE = 7.69). En todas las edades, salvo a los 12 años, la FM en los hombres fue significativamente superior a la FM de las mujeres ($p < 0.001$). Un hecho a destacar es que la FM en las mujeres asciende hasta un máximo a los 15 años y luego desciende a los 16 años. Esto ya se apreció en la Figura 1.

***d)* IMC**. La FM se correlaciona significativamente con el IMC. En la Figura 2 se observa que hay una relación positiva entre la FM y el IMC, no actuando el sexo como un factor de interacción.

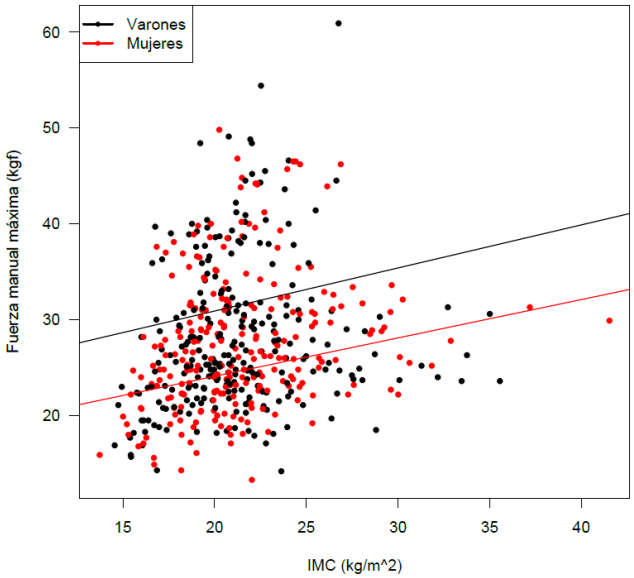

Figura 2. Correlación entre la FM (kgf) y el IMC (kg/m^2) según sexo.

La relación entre la FM y el IMC mediante regresión lineal simple (ecuaciones 3 y 4) es la siguiente:

$$FM_{\text{var}} = 21.92 + 0.45 \cdot IMC \quad (p = 0.005) \tag{3}$$

$$FM_{muj} = 16.10 + 0.40 \cdot IMC \quad (p < 0.001) \tag{4}$$

Estas ecuaciones indican que por cada aumenta de una unidad de IMC aumenta la FM 0.4 kgf en las mujeres y 0.45 kgf en los hombres.

***e)* Perímetro de la cintura**. La FM se correlaciona significativamente con el perímetro de la cintura (Figura 3).

La relación entre la FM y el perímetro de la cintura (CIN) mediante regresión lineal simple (ecuaciones 5 y 6) es:

$$FM_{\text{var}} = 16.81 + 0.19 \cdot CIN \quad (p = 0.002) \tag{5}$$

$$FM_{muj} = 12.19 + 0.17 \cdot CIN \quad (p < 0.001) \tag{6}$$

Por cada cm que aumente la cintura aumenta la FM en 0.19 kgf en los varones y una cantidad similar (0.17 kgf) en las mujeres.

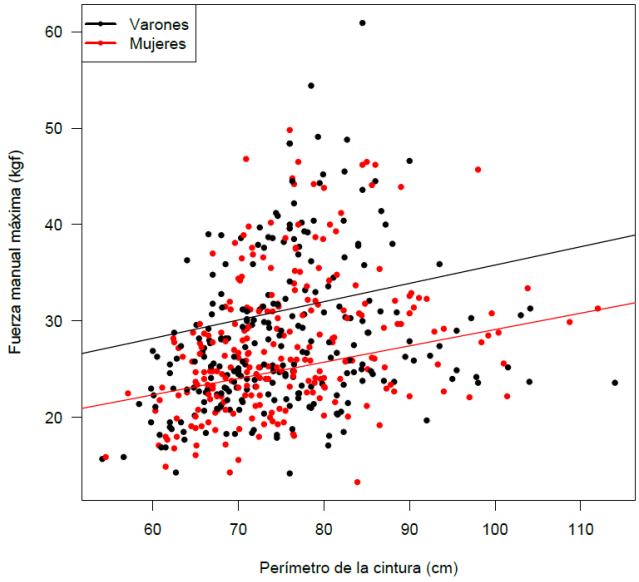

Figura 3. Correlación entre la FM (kgf) y el perímetro de la cintura (cm) según sexo.

***f)* Estado nutricional**. Los sujetos eutróficos y con sobrepeso tienen una FM similar (aunque siempre mayor en los varones que en las mujeres), pero el comportamiento de los sujetos pertenecientes a los estados nutricionales extremos (delgadez y obesidad) es diferente en ambos sexos: en los varones los sujetos con delgadez tienen algo menos fuerza y los sujetos con obesidad menos fuerza; por el contrario, en las mujeres con delgadez se observa que tienen mucha menos fuerza (respecto a las eutróficas o con sobrepeso), mientras que las mujeres con obesidad tienen más fuerza (ver Tabla 3). Este distinto comportamiento hace que las mujeres obesas tengan una fuerza similar ($p=0.418$) a los varones (cuando en los otros tres grupos, según el estado nutricional, siempre tienen significativamente más fuerza los varones).

***g)* Volumen del antebrazo**. La FM se asocia significativamente con el volumen del antebrazo (VA), tanto en varones ($p < 0.001$) como en mujeres ($p < 0.001$). Esta asociación lineal es positiva, de manera que cuanto mayor es el volumen del antebrazo mayor FM ejerce, como se aprecia en la Figura 4.

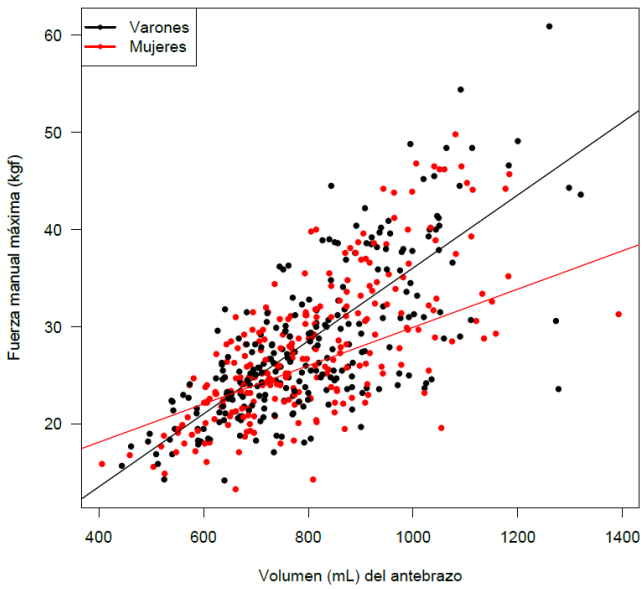

Figura 4. FM ejercida en relación con el volumen del antebrazo. Se han dibujado las rectas correspondientes a los varones y a las mujeres.

La relación entre la FM y el VA mediante regresión lineal simple (ecuaciones 7 y 8) es

$$FM_{\text{var}} = -1.47 + 0.04 \cdot VA \quad (p < 0.001) \tag{7}$$

$$FM_{muj} = 10.26 + 0.02 \cdot VA \quad (p < 0.001) \tag{8}$$

La pendiente de la recta es mayor en los varones que en las mujeres, indicando que por cada mL que aumenta el volumen del antebrazo del varón se consigue el doble de FM que para igual aumento en la mujer. Esto refleja simplemente que el aumento del VA en el adolescente varón es debido más a un aumento muscular, mientras que en la mujer es debido a un aumento de la grasa.

g) Commuting. Se diferenciaron tres grupos de adolescentes en función del *commuting*: los que iban andando, los que iban en bus y los que lo hacían en coche. Globalmente no había diferencias en la FM entre estos tres grupos (prueba de Kruskal-Walis, p = 0,301).

Pero cuando se estudió en función del sexo (Tabla 4) se observó que en los varones cuanto menos caminan más fuerza tenían (prueba de Kruskal-Walis, p = 0,099), mientras que en las mujeres el comportamiento era al revés, es decir, que cuanto más caminaban más fuerza tenían (prueba de Kruskal-Walis, p = 0,020).

Tabla 4. FM (kgf) y commuting en función del sexo.

	Varones			*Mujeres*		
Commuting	*n*	*Media*	*DE*	*n*	*Media*	*DE*
andando	104	30.5	8.48	82	25.6	4.23
autobús	56	31.1	7.35	78	24.5	4.92
coche	75	32.9	8.70	108	24.2	4.91
	$p = 0{,}099$			$p = 0{,}020$		

Esto se aprecia más claramente en la Figura 4.

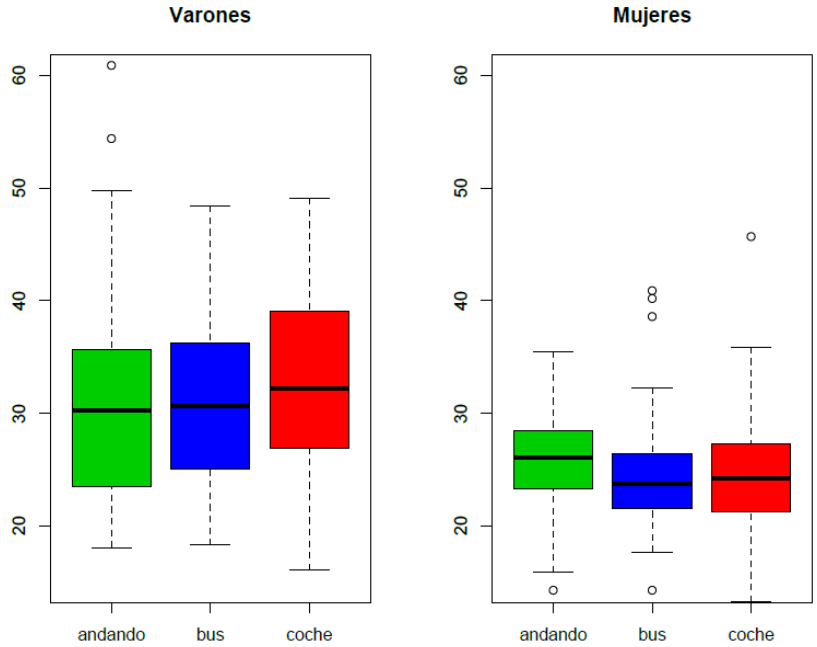

Figura 5. FM (kgf) en relación con el commuting. En la figura de la izquierda se representa lo co-rres-pondiente a los varones y en la figura de la derecha lo correspondiente a las mujeres.

Modelo de regresión múltiple. Después de analizar todas las variables independientes con la FM se realizó un modelo de regresión múltiple para ver la importancia de cada uno de los *k* factores (ecuación 9).

$$FM = \beta_0 + \sum_{1}^{k} \beta_i \cdot X_i \quad (i = 1, 2, \ldots, k) \tag{9}$$

Se creó un modelo inicial en el que como variables independientes se incluyeron sexo, edad, estado nutricional, lateralidad, commuting, volumen del antebrazo, perímetro de la cintura e IMC. Posteriormente se excluyeron las variables no significativas, quedando un modelo más sencillo cuyos coeficientes se recogen en la Tabla 5.

Tabla 5. Coeficiente del modelo de regresión múltiple final (r^2 = 0.66, p < 0.0001).

Coeficientes	β	*EE*	*t*	*p*
Intercept	-9.190	2.664	-3.450	< 0.001
Sexo (varón)	2.025	0.460	4.402	< 0.001
EN (eutrófico)	0.372	0.843	0.441	0.660
EN (sobrepeso)	-1.532	1.138	-1.345	0.179
EN (obesidad)	-4.777	1.614	-2.961	0.003
Edad	1.275	0.162	7.887	< 0.001
Volumen del antebrazo	0.035	0.002	17.626	<0.001
Perímetro de la cintura	-0.134	0.039	-3.488	<0.001

EE = error estándar,
t = prueba t de Student,
p = grado de significación,
EN = estado nutricional

Este modelo nos permite afirmar que en la fuerza del adolescente de 12 a 16 años de edad influyen significativamente varios factores: *a)* en sentido positivo, el sexo, la edad y el volumen del antebrazo, y *b)* en sentido negativo, el estado nutricional (sobre todo el tener obesidad) y el perímetro de la cintura.

DISCUSIÓN

Este trabajo describe la FM en los miembros superiores de adolescentes de 12 – 16 años de edad, escolarizados en dos institutos de Enseñanza Secundaria de Santander.

Hallazgos importantes. Nuestro estudio está en consonancia con otras investigaciones, ya que también concluye que la edad, el sexo y el estado nutricional son importantes predictores de la FM.

Lo novedoso de este trabajo es que, por primera vez en la literatura, pone de manifiesto la importancia del volumen del antebrazo en la FM en los adolescentes. El aumento del volumen del antebrazo supone un aumento en la fuerza prensil. Esta relación se publicó recientemente en un estudio realizado a mujeres entre 20 y 33 años [41], pero en la adolescencia no conocemos estudios que lo hayan publicado.

Otro aspecto que llama la atención es que la FM empieza muy igualada a los 12 años, pero a partir de ahí, el ritmo de aumento de la FM en los varones es superior al de las mujeres. Hemos realizado comparaciones de nuestro estudio con otros con poblaciones similares (españoles o europeos) y que han utilizado el mismo modelo de dinamómetro (Takei). Un estudio del año 2010 informó, después de comparar diferentes dinamómetros, que el Takei tenía una validez de criterio superior y mayor fiabilidad en adolescentes [42].

La fuerza prensil está muy igualada en ambos sexos desde edades tempranas (6 años) y sigue así hasta los doce años que es cuando empieza a aumentar más rápido en los varones [43,44]. Este hecho influenciado por el género y la edad son probablemente el resultado de los cambios físicos que ocurren durante la pubertad. El crecimiento longitudinal en este periodo supone el 30 % del total corporal [45], debido al importante crecimiento óseo y muscular. Además se empiezan a expresar los cambios hormonales, lo que determina un diferente volumen muscular, superior en los varones. Las diferencias en el género se basan principalmente en los sistemas cardiovascular y respiratorio, en la musculatura esquelética y en la capacidad ventilatoria, que aumenta hasta los 16 años en los varones y hasta los 13 años en las mujeres [46]. El estudio HELENA realizado con más de 3.000 adolescentes entre 12 y 17 años [47] y el reali-

zado por Marrodán Serrano *et al*. [43], con 2.125 niños entre 6 y 18 años tienen unas cifras de dinamometría muy parecidas a las de nuestro estudio, tanto en varones como en mujeres en los respectivos rangos de edad. La media de la FM en la mano derecha para los varones del estudio HELENA a los 13, 14 y 15 años fue de 27, 32.1 y 37.4 kgf respectivamente. Marrodán *et al*. obtuvo 24.9, 31.3 y 35.1 kgf respectivamente y en nuestro estudio 27.5, 31.5 y 35.6 kgf. Y en la mano derecha de las mujeres la FM fue de 23.6, 25.5 y 26.6 kgf en el estudio HELENA. Marrodán midió 21.8, 23.2 y 23.6 kgf y en nuestro estudio 23.4, 24.2 y 27.4 kgf para cada rango de edad.

El IMC va aumentando a lo largo de la adolescencia debido al proceso fisiológico de acumulo graso. Pensábamos que este exceso de peso impediría el ejercicio y por lo tanto tendrían menos fuerza muscular, pero tal como ha quedado representado en la figura 1 y 2, la FM aumenta según aumenta el IMC y el perímetro de la cintura. Este hecho también se ha observado en otros estudios en los que los jóvenes obesos obtienen mejores resultados en las pruebas de fuerza prensil, pero en cambio peores resultados en los ejercicios que requieren elevación o propulsión de la masa corporal [48].

Con respecto a la FM y el *commuting*, los varones que iban caminando al Centro Escolar tenían menos fuerza que los que iban en coche; en cambio, en las mujeres al hacer ejercicio acudiendo al instituto andando, tenían más fuerza que las que iban en coche o en autobús. Esto puede significar que los varones hacen ejercicio por otro lado, de manera que cuanto mayor nivel económico (y por eso van en vehículo) más posibilidades tienen de hacer ejercicio reglado que les proporciona la fuerza [49], mientras que las mujeres, que casi no hacen ejercicio reglado, sí se cumple que el ejercicio de ir andando al colegio les supone tener más fuerza. Un estudio del año 2014 y con una muestra de 6.829 escolares demostró que los que tenían mayor fuerza de prensión eran los que acudían a clase en bicicleta [31]. En la ciudad de Santander es muy difícil ver a adolescentes yendo al instituto en bici; la cultura y las infraestructuras para poder hacerlo no son las adecuadas para fomentar este hábito.

Limitaciones de este estudio. Existen varias ya que por ser un estudio transversal, no permite indagar la influencia de otros factores biológicos y socioeconómicos que posiblemente influyan en la FM de los adolescentes. Ni tampoco la medición de los cambios que se produzcan en cada adolescente de forma individual a través del tiempo. La limitación más importante es que este estudio se ha hecho en la etapa de la adolescencia en la que ocurren los mayores cambios por el desarrollo puberal, por lo que debiera haberse realizado el estudio en función de las diferentes fases puberales (etapas del desarrollo puberal de Tanner) por las que van pasando los adolescentes.

No se pudo hacer porque no éramos médicos los que hacíamos el trabajo de campo y los adolescentes son reacios a desnudarse en una clase junto con sus compañeros.

Fortalezas del estudio. Por un lado, los investigadores que recogían los datos siempre fueron los mismos y se realizó en un corto periodo de tiempo (36 días). Siempre por la mañana, por lo que no habían comido ni bebido en abundancia antes de realizar las mediciones; las cuales, según se realizaban, se registraban en una base de datos virtual, por lo que se minimizó la posterior manipulación y riesgo de error.

CONCLUSIONES

La fuerza máxima evaluada por dinamometría manual se incrementa con la edad, de manera más sobresaliente en los varones, entre los 12 y los 17 años. Estos valores son muy similares a los datos encontrados en la literatura científica de estudios realizados en Europa. Al asociar la fuerza muscular con los factores estudiados concluimos que influyen positivamente el género, la edad y sobre todo el volumen del antebrazo. En cambio, los que influyen de manera negativa son la obesidad y el perímetro de cintura. Se debe de considerar que, viendo los beneficios que tiene en los adolescentes una fuerza prensil alta, se tendría que incentivar un tipo de ejercicio anaeróbico. Quizá este tipo de ejercicio sea más atractivo para las personas con sobrepeso y obesidad, que suelen ser reacios a realizar actividades aeróbicas.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a los profesores y alumnos de los Institutos de Enseñanza Secundaria Augusto González Linares y Cantabria su generosa participación en este estudio, así como a mis compañeras en la recogida de datos.

A los profesores Dr. Carlos G. Redondo Figuero y Dr. Pedro Manuel De Rufino Rivas, por su apoyo continuo y constante y su rapidez en resolver las dudas que iban surgiendo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Friedemann C, Heneghan C, Mahtani K, Thompson M, Perera R, Ward AM. Cardiovascular disease risk in healthy children and its association with body mass index: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2012;345:e4759. doi: 10.1136/bmj.e4759

2. Martínez-Gómez D, Eisenmann JC, Gómez-Martínez S, Veses A, Marcos A, Veiga OL. Sedentary behavior, adiposity and cardiovascular risk factors in adolescents. The AFINOS study. *Rev Esp Cardiol*. 2010;63:277-285.

3. Prins RG, Ball K, Timperio A, Salmon J, Oenema A, Brug J, et al. Associations between availability of facilities within three different neighbourhood buffer sizes and objectively assessed physical activity in adolescents. *Health Place*. 2011;17:1228–1234.

4. Veitch J, van Stralen MM, Chinapaw MJM, te Velde SJ, Crawford D, Salmon J, et al. The neighborhood social environment and body mass index among youth: a mediation analysis. *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2012;9:31 (9 pages).

5. Fleishman FA. *The structure and measurement of physical fitness*. Englewood Cliffs, NY (USA): Prentice Hall; 1964.

6. OMS. *Relaciones entre los programas de salud y el desarrollo social y económico*. Ginebra (Suiza): Organización Mundial de la Salud; 1968.

7. Caspersen CJ, Powell KE, Christenson GM. Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*. 1985;100:126–131.

8. Harman E. Biomecánica de los ejercicios de fuerza. In: Baechle TR, Earle RWe, editors. *Principios del Entrenamiento de la Fuerza y del Acondicionamiento Físico*. 2ª ed. Buenos Aires: Panamericana; 2007. p. 25–56.

9. Barbany-Cairó JR. *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento*. 2ª ed. Badalona (España): Paidotribo; 2006. ISBN: 84-8019-589-4.

10. Roberts HC, Syddall HE, Sparkes J, Ritchie J, Butchart J, Kerr A, et al. Grip strength and its determinants among older people in different healthcare settings. *Age Ageing*. 2014;43:241–246.

11. Lazarus R, Sparrow D, Weiss ST. Handgrip strength and insulin levels: cross-sectional and prospective associations in the Normative Aging Study. *Metabolism*. 1997;46:1266–1269.

12. Rantanen T, Guralnik JM, Foley D, Masaki K, Leveille S, Curb JD, et al. Midlife hand grip strength as a predictor of old age disability. *JAMA*. 1999;281:558–560.

13. Ruiz JR, Sui X, Lobelo F, et al. Association between muscular strength and mortality in men: prospective cohort study. *BMJ*. 2008;337:a439.

14. Artero EG, Lee DC, Ruiz JR, *et al*. A prospective study of muscular strength and all-cause mortality in men with hypertension. *J Am Coll Cardiol*. 2011;57:1831–1837.

15. Silventoinen K, Magnusson PK, Tynelius P, Batty GD, Rasmussen F. Association of body size and muscle strength with incidence of coronary heart disease and cerebrovascular diseases: a population-based cohort study of one million Swedish men. *Int J Epidemiol*. 2009;38:110–118.

16. Jackson AW, Lee DC, Sui X, et al. Muscular strength is inversely related to prevalence and incidence of obesity in adult men. *Obesity (Silver Spring)* 2010;18:1988–1995.

17. Niemann C, Godde B, Voelcker-Rehage C. Not only cardiovascular, but also coordinative exercise increases hippocampal volume in older adults. *Front Aging Neurosci*. 2014;6:170.

18. Szulc P, Blaizot S, Boutroy S, Vilayphiou N, Boonen S, Chapurlat R. Impaired bone microarchitecture at the distal radius in older men with low muscle mass and grip strength: the STRAMBO study. *J Bone Miner Res*. 2013;28:169–178.

19. Ervin RB, Fryar CD, Wang CY, Miller IM, Ogden CL. Strength and Body Weight in US Children and Adolescents. *Pediatrics*. 2014;134:e782–789.

20. Smith JJ, Eather N, Morgan PJ, Plotnikoff RC, Faigenbaum AD, Lubans DR. The health benefits of muscular fitness for children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med.* 2014;44:1209–1223.

21. Artero EG, Ruiz JR, Ortega FB, et al. Muscular and cardiorespiratory fitness are independently associated with metabolic risk in adolescents: the HELENA study. *Pediatr Diabetes.* 2011;12:704–712.

22. 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;1:222–231.

23. Grøntved A, Ried-Larsen M, Møller NC, Kristensen PL, Froberg K, Brage S, Andersen LB. Muscle strength in youth and cardiovascular risk in young adulthood (the European Youth Heart Study). *Br J Sports Med*. 2015;49:90-94. doi: 10.1136/bjsports-2012-091907.

24. Garcia-Artero E, Ortega FB, Ruiz JR, et al. Lipid and metabolic profiles in adolescents are affected more by physical fitness than physical activity (AVENA study) *Rev Esp Cardiol.* 2007;60:581–588.

25. Steene-Johannessen J, Anderssen SA, Kolle E, Andersen LB. Low muscle fitness is associated with metabolic risk in youth. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41:1361–1367.

26. Timpka S, Petersson IF, Zhou C, Englund M. Muscle strength in adolescent men and risk of cardiovascular disease events and mortality in middle age: a prospective cohort study. *BMC Med*. 2014;12:62. doi: 10.1186/1741-7015-12-62.

27. Ruiz JR, Ortega FB, Warnberg J, et al. Inflammatory proteins and muscle strength in adolescents: the Avena study. *Arch Pediatr Adolesc Med*. 2008;162:462–468.

28. Ortega FB, Silventoinen K, Tynelius P, Rasmussen F. Muscular strength in male adolescents and premature death: cohort study of one million participants. *BMJ*. 2012;345:e7279.

29. Clark EM, Tobias JH, Murray L, Boreham C. Children with low muscle strength are at an increased risk of fracture with exposure to exercise. *J Musculoskelet Neuronal Interact*. 2011;11:196-202.

30. Ostergaard L, Kolle E, Steene-Johannessen J, Anderssen SA, Andersen LB. Cross sectional analysis of the association between mode of school transportation and physical fitness in children and adolescents. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*. 2013;10:91 (7 pages).

31. Cohen D, Ogunleye AA, Taylor M, Voss C, Micklewright D, Sandercock GR. Association between habitual school travel and muscular fitness in youth. *Prev Med*. 2014;67C:216–220.

32. Ortega FB, Ruiz JR, Castillo MJ, Sjöström M. Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *Int J Obes (Lond)*. 2008;32:1–11.

33. García Fuentes M, Redondo Figuero C, Meléndez Ortega A, González Gross M. Actividad física y salud en los adolescentes. En: Figuero CR, Muñoz GG, Fuentes MG, editors. *Atención al adolescente*. Santander: Universidad de Cantabria; 2008, págs. 153-166, ISBN 978-84-8102-476-0.

34. Simopoulos AP. Declaration of Olympia on nutrition and fitness. Ancient Olympia, Greece, May 28-29, 1996. *World Rev Nutr Diet*. 1997;82:1–12.

35. Redondo-Figuero CG, Noriega-Borge MJ, García-Fuentes M. Tendencia secular y variaciones geográficas de la actividad y condición física en los niños. In: Redondo-Figuero CG, González-Gross M, Moreno-Aznar L, García-Fuentes L, editors. *Actividad física, deporte, ejercicio y salud en niños y adolescentes*. Asociación Española de Pediatría; 2010. p. 9–23. ISBN: 978-8444102597.

36. Cuenca-García M, Jiménez-Pavón D, España-Romero V, Artero EG, Castro-Piñero J, Ortega FB, et al. Condición física relacionada con la salud y hábitos de alimentación en niños y adolescentes: propuesta de addendum al informe de salud escolar. *Revista de Investigación en Educación*. 2011;9:35–50.

37. Lohman TG, Roche AF, Martorell R. *Anthropometric Standardization Reference Manual*. Champaign, Illinois (USA): Human Kintetics; 1988.

38. Cole TJ, Bellizzi MC, Flegal KM, Dietz WH. Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey. *BMJ*. 2000;320:1240–1243.

39. Cole TJ, Flegal KM, Nicholls D, Jackson AA. Body mass index cut offs to define thinness in children and adolescents:international survey. *BMJ*. 2007;335:194.

40. de Onis M, Onyango AW, Borghi E, Siyam A, Nishida C, Siekmann J. Development of a WHO growth reference for school-aged children and adolescents. *Bulletin of the World Health Organization*. 2007;85:660–667.

41. Abe T, Loenneke JP. Handgrip strength dominance is associated with difference in forearm muscle size. *J Phys Ther Sci*. 2015;27:2147-2149. doi: 10.1589/jpts.27.2147.

42. España-Romero V, Ortega FB, Vicente-Rodríguez G, Artero EG, Rey JP, Ruiz JR. Elbow position affects handgrip strength in adolescents: validity and reliability of Jamar, DynEx, and TKK dynamometers. *J Strength Cond Res*. 2010;24:272-277. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b296a5.

43. Marrodán Serrano MD , Romero Collazos JF, Moreno Romero S, Mesa Santurino MS, Cabañas Armesilla MD, Pacheco Del Cerro JL, González-Montero de Espinosa M. Dinamometría en niños y adolescentes de entre 6 a 18 años: valores de referencia y asociación con tamaño y composición corporal. *An Pediatr (Barc).* 2009;70:340-348. doi: 10.1016 / j.anpedi.2008.11.025.

44. Cohen DD, Voss C, Taylor MJ, Stasinopoulos DM, Delextrat A, Sandercock GR. Hand-grip strength in English schoolchildren. *Acta Paediatr*. 2010;99:1065-1072. doi: 10.1111/j.1651-2227.2010.01723.x.

45. Lissauer T, Clayden G. *Texto Ilustrado de Pediatría*. 3rd ed. Barcelona (España): Elsevier; 2009. ISBN: 978-84-8086+368-1.

46. Malina RM, Little BB. Physical activity: the present in the context of the past. *Am J Hum Biol.* 2008;20:373-391. doi: 10.1002/ajhb.20772.

47. Ortega FB, Artero EG, Ruiz JR, Vicente-Rodriguez G, Bergman P, Hagstromer M, et al. Reliability of health-related physical fitness test in European adolescents. The HELENA Study 2008. *Int J Obes* 2008;32:S49-S57.

48. Ervin RB, Fryar CD, Wang CY, Miller IM, Ogden CL. Strength and body weight in US children and adolescents. *Pediatrics*. 2014;134:e782-789. doi: 10.1542/peds.2014-0794.

49. Chillón P, Ortega FB, Ruiz JR, Pérez IJ, Martín-Matillas M, Valtueña J, et al; AVENA Study Group. Socio-economic factors and active commuting to school in urban Spanish adolescents: the AVENA study. *Eur J Public Health*. 2009;19:470-476. doi: 10.1093/eurpub/ckp048.