

COMPOSICIÓN CORPORAL EN NIÑOS Y ADOLESCENTES

BODY COMPOSITION IN CHILDREN

J. Ramón Alvero-Cruz¹

J. Carlos Fernández-García³

Jesús Barrera-Expósito¹

Elvis Alvarez-Carnero²

Margarita Carrillo de Albornoz-Gil¹

M. Carmen Martín-Fernández¹

Álvaro Reina-Gómez³

¹Coordinador Grupo de Investigación Composición Corporal in Vivo Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte Dpto. de Fisiología Humana y Educación Física y Deportiva Facultad de Medicina Universidad de Málaga

²Laboratorio de Exercício e Saúde Faculdade de Motricidade Humana Universidad Técnica de Lisboa, Portugal

³Laboratorio de Motricidade Humana Facultad de Ciencias de la Educación Universidad de Málaga

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, el incremento del sobrepeso y la obesidad en los niños jóvenes, se ha incrementado de forma alarmante¹⁻⁴. El predominio de la obesidad (10,9%) ha doblado al predominio del sobrepeso (15,5%) en los niños estadounidenses²⁻⁵. España ya tiene una cifra del 16% de obesos y actualmente ostenta el segundo lugar, en niveles de obesidad infantil de la Unión Europea, superada tan sólo por el Reino Unido. Lo más importante es que estos niños obesos en la infancia, tenderán a ser adultos obesos, con un alto riesgo de desarrollar enfermedades y alteraciones asociadas al exceso de peso y la obesidad. Debido a ello, las instituciones sanitarias están estimulado el interés, en identificar las formas correctas para evaluar la composición corporal de los niños en edad escolar.

La evaluación de la composición corporal en niños y jóvenes es compleja y cambiante debido a que estos, son químicamente inmaduros, produciéndose cambios en las proporciones y densidades de los componentes (agua, mineral y proteínas) de la masa libre de grasa (MLG). Los cambios en el agua corporal, el mineral y las proteínas de la MLG debidos a la maduración y el crecimiento influyen en la densidad total de este compartimento⁶⁻⁸. Desde el nacimiento hasta los 22 años de edad, la densidad de la MLG se incrementa de forma regular, en los hombres

desde ~1,063 hasta 1,102 g/cc y en las mujeres desde ~1,064 hasta 1,096 g/cc.⁸⁻¹⁰. La hidratación disminuye desde el 80% desde el primer año de edad, hasta el 74% en torno a los 20 años¹¹⁻¹² y el mineral óseo contenido en la MLG aumenta desde el 3,7% en la niñez hasta un ~7,0% en la edad adulta⁷.

Por todo ello, los modelos multicomponente de composición corporal¹³⁻¹⁵ deben ser utilizados para desarrollar un campo metodológico en el cual sean posibles, la validación de ecuaciones predictivas de masa grasa (MG) y la MLG, con una buena precisión y un bajo error de estimación¹⁶. Hoy en día, la cantidad de investigaciones que usan estos métodos considerados de referencia son muy escasos y en España casi inexistentes¹⁷.

Los modelos multicomponente de nivel molecular requieren mediciones de la densidad corporal total (Dc), el mineral óseo, y/o el agua corporal total (ACT). Tradicionalmente el pesaje hidrostático se ha utilizado para medir la densidad corporal, sin embargo, en los niños, especialmente los muy jóvenes o los que tienen sobrepeso, pueden tener dificultades para ajustarse a los procedimientos de la evaluación. Por ello, los investigadores están comprobando y ya han validado métodos alternativos, como la pletismografía por desplazamiento de aire (PDA) y la absorciometría fotónica dual de rayos X (DXA),

CORRESPONDENCIA:

José Ramón Alvero Cruz
 Escuela de Medicina de la Educación Física y el Deporte. Campus de Teatinos s/n. Edificio López de Peñalver
 Facultad de Medicina. Universidad de Málaga. 29071 Málaga.
 E-mail: alvero@uma.es

Aceptado: 20-06-2007 / Revisión nº 213

los cuales ya han sido considerados como métodos de referencia¹³⁻¹⁵.

En esta revisión se describen los diferentes modelos de composición corporal y los métodos de referencia para niños y se presentan las ecuaciones predictivas basadas en modelos multicomponente. Estas ecuaciones de predicción han sido seleccionadas por su bajo error de predicción. Algunas ecuaciones de predicción de la composición corporal, emplean combinaciones de diferentes variables y métodos (pliegues de grasa, perímetros musculares, valores de impedancia bioeléctrica como la resistencia (R) o la reactancia (Xc), en la misma ecuación. Cuantas más variables entren a explicar el modelo, mayor será el grado de estimación y el error de predicción disminuirá.

LOS MODELOS MULTICOMPONENTALES DE COMPOSICIÓN CORPORAL Y LOS MÉTODOS DE REFERENCIA

Modelo de dos componentes (2C)

Éste es el modelo básico, donde el cuerpo es dividido en dos partes: la masa grasa (MG) y el resto, que se denomina la masa libre de grasa (MLG). La medición de la grasa siempre ha sido una prueba de fuego para los métodos y técnicas que pretenden determinarla. Si por otro lado lo que estimamos es la MLG, por derivación de la masa total, se obtendría la MG. El modelo 2C, está siendo utilizado desde hace más de 50 años y aún tiene un papel importante en la investigación de nuevas tecnologías para la valoración de la MG. Los modelos de 2C se basan en la medida de la densidad corporal. El método que más se ha utilizado, es la hidrodensitometría (HD), que se inició con los trabajos de Behnke, *et al.*¹⁸. El método hidrodensitométrico está basado en la determinación del peso corporal en seco, el peso inmerso en un tanque de agua y el volumen que desplaza, permitiendo esta técnica el cálculo de la densidad corporal. Un aspecto que limita la precisión de este método, es el cálculo del volumen residual pulmonar (VRP) y el volumen corporal (VC).

Otros dos métodos como el potasio-40 (K_{40}) y la dilución isótopos en el agua (deuterio, tritio), están siendo utilizados para la medición de la MLG, asumiendo que las concentraciones de agua en este compartimento son de 0,732 l/kg (73,2%) y una cantidad de 68,1 mEq/kg de potasio corporal. El método de 2C asume que la densidad de MLG es constante, aunque esta circunstancia está demostrada que varía según la edad, la raza, los grupos étnicos, etc.¹²

Los modelos clásicos 2-C de Siri y Brozek¹⁹ están especialmente limitados en niños y adolescentes debido a las proporciones o densidades de los componentes de la MLG y su promedio de la densidad, difiere significativamente de los valores de referencia para los adultos. Comparados con los modelos 4C, estos modelos de 2C sobreestiman sistemáticamente el %GC de los niños entre un 3-5%^{8,16-20}. Por consiguiente, no se deberían usar estos modelos de 2C, como método para derivar ecuaciones de predicción, para obtener medidas de referencia o para estimar la composición corporal de niños y adolescentes.

Para solventar este problema, los investigadores han desarrollado fórmulas de conversión de modelos 2C para poblaciones específicas¹⁸ para estimar el % GC a partir de la Dc en los niños. Los valores de las constantes para esta edad y género específica las ecuaciones que han sido teórica o empíricamente derivadas usando los valores medios para el agua, el mineral, y los componentes proteicos de niños y adolescentes de diferentes etnias y edades^{10,16-22}. Estas fórmulas de conversión han venido siendo usadas para derivar las medidas de referencia de composición corporal para el desarrollo y la validación cruzada de ecuaciones²³, y también para comparación de los modelos y métodos de referencia^{8,24-28}. Comparado con los modelos de 4C, la edad, el sexo, las fórmulas específicas de conversión estiman de forma razonable el % GC (Tabla 1).

La dificultad que presentan los niños para mantener la respiración bajo el agua en el método hidrodensitométrico (HD), ha hecho que los investigadores hayan desarrollado el uso de la plestismografía por desplazamiento de aire

TABLA 1.
Constantes de
hidratación para
niños de 5-10
años (tomado de
Lohman, et al,
1984)

Edad (años)	Masa libre de grasa en niños	Masa libre de grasa en niñas
5-6	ACT/0,77	ACT/0,78
7-8	ACT/0,768	ACT/0,776
9-10	ACT/0,762	ACT/0,77

ACT: Agua corporal total

(PDA) (BodPod®) como práctica alternativa a la HD para medir la Dc y el %GC de los niños²⁴⁻²⁸. La fiabilidad (precisión) de la PDA es excelente (0,8-1,0% GC). Comparado con la HD, el método de la PDA tiende a sobreestimar el %GC_{2C} de un 0,8% al 1,7%^{24,28,29}. El 95% de los límites de confianza entre métodos fueron amplios (-8,7 a 10,4% GC), reflejando el gran grado de variación en la diferencia entre los métodos PDA y HD, para individuos dentro de un grupo. Igualmente, ambos métodos subestiman significativamente el %GC_{4C} en un 2,7% (PDA) y en un 3,9% (HD) en niños²⁴.

Modelos tricompartimentales (3C)

Este modelo requiere de las medidas de densidad corporal por HD o PDA y del ACT, mediante un método de dilución isotópica (deuterio y tritio). Este modelo de partición en 3C divide la MLG en dos partes: contenido de agua y el resto serían los materiales sólidos como proteínas y minerales. Por ello, en sujetos con depleción proteica y/o mineral ósea (malnutridos, enfermos crónicos), la estimación de la densidad para estos compartimentos implicará un error en la estimación de la MLG y de la MG.

Las ecuaciones del modelo de tres componentes tienen en cuenta la variabilidad interindividual tanto en el ACT o en el mineral corporal total (MCT). Siri²⁹ y Boileau⁶ ajustan la Dc a las ecuaciones de 3C para las proporciones relativas de agua corporal, mientras las ecuaciones 3C de Lohman⁹ ajustan la Dc para la cantidad relativa de MCT en el cuerpo. En un estudio en niños y adolescentes (entre 8-20 años de edad), la ecuación del modelo 3C de Boileau⁶ sobreestimó significativamente el %GC_{4C}, en ~2% (Error

Total = 2,2%) tanto en niños como en niñas²⁶. No obstante, otros investigadores han presentado una excelente concordancia entre el modelo 3C (agua) y 4C estimando el %GC en niños^{8,10}. Estos datos sugieren que el modelo 3C, con agua proporciona una correcta y válida referencia de las medidas de la composición corporal para niños y adolescentes.

Modelos tetracompartimentales (4C)

Se utiliza, para mejorar la precisión en las medidas de los compuestos proteico y mineral. Los métodos empleados para medir estos componentes son el análisis de activación de neutrones y el DXA, que asumen que la densidad de la proteína corporal y el mineral óseo es de 1,34 Kg/l y 3,075 Kg/l respectivamente³¹. Otra alternativa de 4C es la presentada por Moore³², en la cual la MLG se compone de: masa celular, agua extracelular y sólidos extracelulares, y estos componentes serían medidos respectivamente por K₄₀ o K₄₂ en plasma, dilución de bromo y DXA.

Modelos multicompartimentales de 5 componentes (5C)

Este modelo fue desarrollado por Wang³³. Se pueden distinguir varios niveles:

- Nivel elemental o atómico: en el cual se incluyen elementos como: oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, cloro, sodio, magnesio y el sumatorio de todos esos elementos sería el peso corporal.
- Nivel molecular: Compuesto por la masa grasa, agua corporal total, proteína corporal total, mineral óseo (2,941 x Calcio corporal total) y mineral en tejidos blandos.
- Nivel celular: Se incluyen la masa celular, el agua extracelular, los sólidos extracelulares y la grasa.
- Nivel de sistemas de tejidos: Se compone de el tejido adiposo (grasa + células), el tejido músculo esquelético, el tejido óseo y otros tejidos (piel, vísceras, sangre, etc.).

Modelo DXA (Dual energy X-ray absorptiometry)

En los últimos años, el DXA se ha venido usando, para obtener medidas de referencia de composición corporal y para el desarrollo y la validación cruzada de métodos y ecuaciones de predicción para niños y adolescentes^{25,34-36}. Numerosos investigadores han comprobado la validez del DXA para evaluar las medidas de referencia de composición corporal en niños y jóvenes por comparación del %GC de DXA ($\%GC_{DXA}$) con las estimaciones del modelo 4C ($\%GC_{4C}$). Cuando las versiones de software y sus factores de corrección tienen en cuenta la relativamente pequeña talla corporal de los niños, el DXA y los modelos 4C ofrecen similares promedios de estimación del %GC para grupos de niños^{10,24}.

En resumen, se recomendaría el modelo de 4C o 3C para obtener medidas de referencia en la composición corporal de niños y adolescentes. No obstante las fórmulas de conversión para el DXA y el modelo 2C, en cada grupo de edad y género específico ofrecen también estimaciones bastante buenas del %GC debiendo considerar el error (como mucho de $\pm 9\%$ GC) cuando se usan estos modelos para estimar el %GC individual de un niño.

LOS MÉTODOS DE CAMPO Y LAS ECUACIONES DE PREDICCIÓN

Los métodos de campo son los más comúnmente utilizados en los niños escolares y en consultas pediátricas, para estimar la composición corporal con el propósito de registrar los cambios durante el periodo de crecimiento y desarrollo y clasificarlos según sus niveles de grasa corporal. En la escuela, los profesores de Educación Física necesitan interpretar los resultados de composición corporal tanto para los niños como para los padres. Los niños deberían ser enseñados sobre cómo conseguir y mantener un cuerpo sano a través de la modificación de sus hábitos de vida (actividad física y nutrición).

En base al trabajo de Thomas y Whitehead³⁶, se sugiere la siguiente propuesta para incorporar la

composición corporal en los currículos de educación para la salud y la educación física:

- Informar a los padres para que comprendan el objetivo y los procedimientos de esta evaluación.
- Instruir a los alumnos para que comprendan los conceptos y procedimientos para la evaluación de la composición corporal.
- Conservar los registros de estas medidas en el tiempo para evaluar los efectos de la interacción del crecimiento, la maduración, la alimentación y actividad física en los cambios de la composición corporal.
- Medir sólo en los lugares estandarizados y seguir los procedimientos establecidos.
- Si lo cree necesario, pregunte al profesor o padres si quieren estar presentes durante la evaluación de la composición corporal.
- Asegúrese la confidencialidad mostrando únicamente los resultados a los niños o a sus padres.
- Proveer de información tanto personal como al grupo respecto a la interpretación de los resultados.
- No utilizar los resultados de la estimación de la composición corporal con objetivos clasificatorios.
- Asegurarse de que la evaluación de la composición corporal es una experiencia positiva. No etiquete, critique o ridiculice a los niños durante ninguna fase de esta evaluación.

ECUACIONES DE PLIEGUES CUTÁNEOS DE GRASA PARA NIÑOS

En la Tabla 2, se presentan las ecuaciones que predicen la Dc o el %GC a partir de los pliegues

Autor de la ecuación	Modelo de referencia, métodos y tipo de calibre	Muestra de validación	Ecuación
Brook 1971	2C; ACT _{D2O} ; Harpenden	23 niños, 1-11 años; raza NC	Niños: Dc = 1,1690 - 0,0788 (log Σ4) ^b Niñas: Dc = 1,2063 - 0,0999 (log Σ4) ^b
Deurenberg, Pieters, et al. 1990	2C; HD; Holtain	114 niños y 99 niñas, 7-12 años; raza NC	Niños: Dc = 1,133 - 0,0561 (log Σ4) ^b + 1,7 (edad x 10 ⁻³) R ² = 0,43; SEE = 0,0095 g/cc Niñas: Dc = 1,1187 - 0,0630 (log Σ4) ^b + 1,9 (edad x 10 ⁻³) R ² = 0,47; SEE = 0,0095 g/cc
Durnin & Rahaman 1967	2C; HD; Harpenden	48 niños, 12-16 años y 38 niñas 13-16 años; raza NC	Niños: Dc = 1,1533 - 0,0643 (log Σ4) ^b R ² = 0,58; SEE = 0,0083 g/cc Niñas: Dc = 1,1369 - 0,0598 (log Σ4) ^b R ² = 0,61; SEE = 0,0081 g/cc
Johnston, et al. 1988	2C; HD; Harpenden	140 niños y 168 niñas canadienses, 8-14 años; raza NC	Niños: Dc = 1,1660 - 0,0070 (log Σ4) ^b R ² = 0,49; SEE = 0,0050 g/cc Niñas: Dc = 1,1440 - 0,0600 (log Σ4) ^b R ² = 0,45; SEE = 0,0050 g/cc
Lohman, Caballero, et al. 2000	2C; ACT _{D2O} ; Lange	98 niños indoamericanos, 8-11 años	%GC = 17,66 - 0,08 (edad) + 2,4 (sexo) ^a + 0,21 (PC) + 0,38 (tri) + 0,20 (SI) R ² = 0,83; RMSE = 3,36% GC
Slaughter, 1988	4C; HD, D ₂ O, SPA; Harpenden	242 niños AA y CA, 8-17 años	Niños: %GC = 0,735 (Σ2) ^c + 1,0 R ² = 0,77; SEE = 3,8% GC Niños: % GC = 0,783 (Σ2) ^d + 1,6 (si Σ2 > 35 mm) R ² = NC; SEE = NC Niños: %GC = 1,21 (Σ2) ^d - 0,008 (Σ2) ² R ² = 0,78; SEE = 3,6% GC Niñas: %GC = 0,610 (Σ2) ^c + 5,1 R ² = 0,77; SEE = 3,8% GC Niñas: % GC = 0,546 (Σ2) ^d + 9,7 (si Σ2 > 35 mm) Niñas: %GC = 1,33 (Σ2) ^d - 0,013 (Σ2) ² - 2,5 R ² = 0,78; SEE = 3,8% GC

^aSexo = 0 para los niños; 1 para las niñas; ^bΣ4pliegues = bíceps + tríceps + subescapular + suprailíaco; ^cΣ2pliegues = tríceps + pantorrilla; ^dΣ2 = tríceps + subescapular; ^e1 = cambios de intersección. Claves: HD: peso hidrostático; Dc: densidad corporal; GC: grasa corporal; ACT: agua corporal total; D₂O: dilución de óxido de deuterio; SPA: absorciometría de fotón único; PC: Peso corporal; tri: tríceps; SI: suprailíaca; R²: cuadrado del coeficiente de correlación; SEE: estimación del error Standard; NC: no conocido/a; AA: afroamericano; CA: Caucásicos.

TABLA 2.
Ecuaciones de pliegues para niños

de grasa, para niños y adolescentes. El uso de estas ecuaciones está limitado por el hecho de que es necesario emplear fórmulas de conversión de la Dc y específicas para grupos. Las ecuaciones de Slaughter³⁷, están basadas en las medidas del % GC a partir de un modelo 4C. Estas ecuaciones son específicas para edad, sexo, y grado de adiposidad y emplean la suma (Σ) de dos pliegues para predecir el %GC (Tabla 2). El error de predicción para estas ecuaciones se encuentra

entre 3,6% al 3,8% de la GC. Estas ecuaciones deben ser usadas para evaluar la composición corporal de niños y niñas afroamericanos y caucásicos de 8 a 17 años de edad. Las ecuaciones de grasa corporal han sido desarrolladas para niños cuyo Σ2P es mayor o menor a 35 mm.

Se han revisado los estudios de validación cruzada publicados previamente respecto a las ecuaciones pliegues para niños³⁶⁻⁴³. La exactitud

predictiva de estas ecuaciones varía porque los estudios han empleado diferentes métodos (modelos 2C, 4C o modelos DXA), y con diferentes métodos de referencia (HD, ACT o DXA), para diferentes edades (4-17 años de edad) así como diferentes grupos étnicos (indoamericano, afroamericano o caucásico) y con diferentes medidores de pliegues (Harpenden, Holtain o Lange). Todos estos factores influyen potencialmente en los resultados de la validación cruzada y por lo tanto la interpretación de los resultados encontrados se hace difícil.

Generalmente, la validación cruzada de las ecuaciones de pliegues de Slaughter en relación a las medidas de referencia del modelo 4C indica que estas ecuaciones poseen un buen nivel de estimación del %GC (Error = -0,3 a 1,3% GC) para los grupos de niños y adolescentes afroamericanos y caucásicos^{8,43} pero subestima excesivamente la media del %GC en los niños indoamericanos de 8 a 11 años en ~14%⁴¹. El error de predicción (SEE) para estas ecuaciones generalmente oscila entre un 3,5 - 4,5% GC, pero el 95% de los límites de concordancia se desvía en $\pm 8-10\%$ y es variable^{8,10,43}. Esto quiere decir que estas ecuaciones pueden sobre o infraestimar el %GC de algunos individuos entre un 8% o un 10%.

Usando las medidas de referencia del modelo 2C, Janz, *et al.*⁴⁰ realizaron una validación cruzada de las ecuaciones de pliegues por la ecuación de Slaughter³⁷ para niños y niñas. Se determinó la Dc mediante HD convirtiendo el %GC mediante las fórmulas de Lohman¹⁶ y utilizando las fórmulas de conversión para la edad y sexo. En el caso de las chicas, ambas ecuaciones tienen un aceptable error de predicción (SEE = 3,5-3,6% GC). Sin embargo, el Σ de (tríceps + pantorrilla) sobreestima ligeramente la media en el %GC de las chicas (+ 1,7% GC). Para los chicos, el error de predicción del Σ de (tríceps + pantorrilla) es de (SEE = 4,6% GC)

Hasta que estas ecuaciones sean ajustadas o una nueva ecuación de pliegues basada en los modelos 4C, se estandarice el equipamiento y los protocolos de medida se desarrollen para su validación cruzada, se recomienda el empleo de las

ecuaciones de Slaughter³⁷ para la estimación del %GC de niños y adolescentes caucásicos (Tabla 2). Es necesario recordar, además, que este error en la estimación del %GC es bastante grande ($\pm 10\%$) para algunos individuos. Para minimizar el error de predicción, debería emplearse el mismo tipo de calibre que empleó Slaughter³⁷ (el modelo Harpenden) para medir los pliegues.

ECUACIONES DE BIOIMPEDANCIA ELÉCTRICA PARA NIÑOS

Las ecuaciones para niños y adolescentes realizadas con bioimpedancia eléctrica (BIA) se presentan en la Tabla 3. Todas estas ecuaciones BIA estiman la MLG en vez del %GC. Sólo una ecuación⁴⁴ esta basada en medidas de referencia multicomponente de MLG. La ecuación fue validada sobre muestras de tres laboratorios diferentes y su error de predicción fue de 2,1 kg. Esta ecuación de BIA⁴⁴ puede ser usada para estimar la MLG de niños y adolescentes de entre 10 y 19 años y con grasa corporal entre 6,5% al 36%. Se han revisado los estudios previos sobre validación de las ecuaciones BIA para niños^{45,46}. La exactitud predictiva de estas ecuaciones varía debido a que los estudios emplean diferentes modelos (2C, 4C o modelos DXA), diferentes analizadores de bioimpedancia y realizado en diferentes edades (6-14 años) o grupos étnicos (amerindios, afroamericanos, asiáticos y caucásicos). Además, sólo uno de los estudios evaluó la exactitud de estas ecuaciones frente a un modelo 4C⁸.

A pesar de estas diferencias la ecuación de Houtkooper⁴⁴ tiene una razonable exactitud de estimación de la composición corporal para grupos independientes de niños caucásicos. Comparado con las medidas de referencia del modelo 4C, esta ecuación ha estimado con exactitud el promedio del %GC para grupos de niños de entre 8 a 14 años; no obstante, el error de la ecuación para individuos dentro del grupo fue grande (95% de los límites de confianza = $\pm 11\%$ GC)⁸. Comparado con las medidas de referencia del modelo de 2C, obtenido mediante el empleo de las fórmulas de conversión usando la edad y el

Autor de la ecuación	Modelo de referencia, métodos y analizador	Muestra de validación	Ecuación
Boileau 1996	4-C; HD, DXA D ₂ O; Valhalla 1990B	129 niños y niñas CA, 8-16 años	MLG = 4,138 + 0,657 (HT ² /R) + 0,16 PC -0,131 (sexo) ^a R ² = 0,97; SEE = 1,8 kg
Deurenberg van der Kooy, et al. 1991	2-C; HD; RJL 101	166 niños y niñas, 7-15 años; raza NC	MLG = 0,360 (PC) + 0,406 (HT ² /R) + 5,58 (T) + 0,56 (sexo) ^b -6,48 R ² = 0,97; SEE = 1,7 kg
Houtkooper, et al. 1992	3-C; HD, D ₂ O; RJL 101	94 niños y niñas, 10-14 años	MLG = 0,61 (HT ² /R) + 0,25 (PC) + 1,31 R ² = 0,95; SEE = 2,1 kg
Kim, et al. 1994	2-C; HD, Selco SIF-891 analyzer	84 niños nativos japoneses, 9-14 años	MLG = 0,56 + (HT ² /Z) + 0,20 (PC) + 1,66 R ² = 0,92; SEE = 1,3 kg Muestras combinadas: R ² = 0,97; SEE = 1,6 kg
Kushner, et al. 1992	ACT; H ₂ ¹⁸ O; RJL 101	24 niños y niñas CA, 5-10 años	ACT = 0,593 (HT ² /R) + 0,065 (PC) + 0,04 R ² = 0,99; SEE = 1,41 L
Lewy, et al. 1999	DXA; Lunar (modelo y SV NC); RJL (modelo MR)	34 niños y niñas AA	MLG = 0,84 (HT ² /R) + 1,10 R ² = 0,97; SEE = 1,5 kg
Lohman, Caballero, et al. 2000	2-C; D ₂ O; Valhalla 1990B	98 niños indoamericanos, 8-11 años	%GC = 23,64 - 0,71 (edad) + 0,83 (sexo) ^c + 0,83 (PC) - 0,60 (HT ² /R) + 0,04 (Xc) R ² = 0,78; RMSE = 3,8% BF
Tyrrell, et al. 2001	DXA; Lunar DPX-L, Modelo Tanita NC	82 niños europeos, maoríes y de las islas del pacífico, 5-11 años	MLG = 0,31 (HT ² /Z) + 0,17 (T) + 0,11 (PC) + 0,942 (sexo) ^d - 14,96 R ² = 0,97
Watanabe, et al. 1993	2-C; HD	163 niñas japonesas nativas, 9-15 años	MLG = 0,42 (HT ² /Z) + 0,60 (PC) - 0,75 (C brazo) + 7,72 R ² = 0,94; SEE = 1,9 kg

^aSexo = -1 para hombres; 1 para mujeres; ^bSexo = 1 para hombres; 0 para mujeres; ^cSexo = 0 para hombres; 1 para mujeres; ^dSexo = 2 para hombres; 1 para mujeres. Claves: MLG: masa libre de grasa; HD: peso hidrostático; PC: peso corporal; T: altura; ACT: agua corporal total; D₂O: técnica de dilución de oxido de deuterio; H₂¹⁸O: técnica de dilución del isótopo de oxígeno; HT²/R: índice de resistencia; HT²/Z: índice de impedancia; R: Resistencia, Z: Impedancia, C: circunferencia; tri: tríceps; SI: suprailíaca; R²: coeficiente de determinación; RMSE: error de la raíz cuadrada de la media; SEE: error estándar de estimación; AA: afroamericano; CA: Caucásicos. ** Ecuaciones no validadas.

TABLA 3.
Ecuaciones
mediante el
análisis por
impedancia
bioeléctrica para
niños

género específicos, para derivar el %GC desde la Dc, la ecuación de Houtkooper⁴⁴ estimó valores de MLG con una sesgo insignificante (- 0,3 Kg o 1,4% GC); con un error individual (95% de límite de confianza) de estimación (0-2,9% GC) mucho menor, que en otras ecuaciones de BIA²³. Comparando las medidas de referencia de DXA y ACT, la ecuación de Houtkooper⁴⁴ subestima sistemáticamente la media del %GC para grupos de niños afroamericanos, indoamericanos y caucásicos (-7,4 a -11,1% GC). El 95% de los límites de confianza era bastante grande ($\pm 8,3-9,6\%$ GC)^{25,41}. Algunos de estos errores pueden ser de-

bidos a las diferencias de los métodos utilizados, así como a la edad y raza de los sujetos.

Hasta que se desarrollen nuevas ecuaciones de BIA, basados en modelos 4C y se estandaricen los protocolos de medición para las validaciones cruzadas de los estudios, se recomendaría el uso de la ecuación de Houtkooper⁴⁴ para estimar la composición corporal de niños y adolescentes caucásicos de entre 10 y 19 años (Tabla 3).

Para evaluar a niños menores de 10 años, Kim, et al.⁴⁷ recomienda el empleo de la ecuación de

Kushner⁴⁹ (Tabla 3). Esta ecuación se estima el ACT, en vez del MLG, de niños prepúberes de entre 6 y 10 años. Para desarrollar esta ecuación, se ha empleado el método de dilución de deuterio (D₂O) para obtener valores de referencia de ACT. El error de predicción para esta ecuación fue de 1,41 L. Para convertir el ACT en MLG, se deberían emplear las constantes de hidratación por edad y sexo de Lohman y Boileau⁴⁹ (Tabla 1).

La ecuación generalizada descrita por Tyrrell, *et al.*, en niños 5 a 11 años de edad fue desarrollada para europeos, maoríes y niños y niñas de las islas del pacífico, así como para los descendientes de mezclas⁵⁰ (Tabla 3). El DXA fue empleado para medidas de referencia de MLG y se midió la bioimpedancia en las piernas en lugar del cuerpo completo con un analizador BIA Tanita. Para la validación total de la muestra, esta ecuación subestima ligeramente (-0,75 kg) el promedio de MLGDXA y sobrestima el %GCDXA en un 2,5%. Para individuos, el 95% de los límites de confianza para la MLG y el % GC fueron bastante buenos.

RESUMEN

El reconocimiento de la necesidad de medir la composición corporal en los niños y adolescentes es cada vez mayor. El aumento en la prevalencia del sobrepeso y la obesidad infantil ha hecho que paralelamente se incremente la necesidad de poseer métodos para determinar la grasa corporal. En esta revisión se presentan los diferentes modelos multicomponente de

composición corporal así como los métodos de campo basados en las técnicas antropométricas (pliegues de grasa) y de bioimpedancia eléctrica y las ecuaciones de predicción de la masa grasa y de la masa libre de grasa.

La ecuación de Slaughter, basada en pliegues de grasa y la ecuación de bioimpedancia de Houtkooper se recomiendan para estimar la composición corporal en niños y adolescentes caucásicos.

Palabras clave: Composición corporal. Niños y adolescentes. Antropometría. Bioimpedancia eléctrica.

SUMMARY

There is growing recognition of the need to measure body composition in children. The rise in the prevalence of childhood overweight and obesity has increased the demand for determining body fatness with accurate methods in younger age groups. In this review it shows a different component models of body composition as field methods based in anthropometric measurements (skinfold-thickness) and bioelectrical impedance analysis and the prediction equations for fat mass and fat-free mass. The Slaughter skinfold-based equation and Houtkooper BIA equation, are recommended for Caucasian children population to estimate body composition.

Key words: Body composition. Children. Anthropometry. Bioelectrical impedance analysis.

B I B L I O G R A F Í A

1. National Center for Health Statistics. *Prevalence of overweight among children and adolescents: United States, 1999*. Washington, 2001.
2. Ogden CL, Flegal KM, Carroll MD, Johnson CL. Prevalence and trends in overweight among US children and adolescents. 1999-2000. *JAMA* 2002;288:1728-32.
3. Ogden CL, Carroll MD, Curtin LR, McDowell MA, Tabak CJ, Flegal KM. Prevalence of overweight and obesity in the United States, 1999-2004. *JAMA* 2006;295:1549-55.
4. Strauss RS, Pollack HA. Epidemic increase in childhood overweight, 1986 1998. *JAMA* 2001;286:2845-8.

5. **Styne DM.** Childhood and adolescent obesity. Prevalence and significance. *Pediatric Clinics of North America* 2001;48:823-54.
6. **Boileau RA, Lohman TG, Slaughter MH, Ball TE, Going SB, Hendrix MK.** Hydration of the fat free body in children during maturation. *Hum Biol* 1984;56:651-66.
7. **Fomon SJ, Haschke F, Ziegler EE, Nelson SE.** Body composition of reference children from birth to age 10 years. *Am J Clin Nutr* 1982;35:1169-75.
8. **Roemmich JN, Clark PA, Weitman A, Rogol AD.** Alterations in growth and body composition during puberty. Comparing multicompartment body composition models. *J Appl Physiol* 1997;83:927-35.
9. **Lohman TG.** Applicability of body composition techniques and constants for children and youth. En: Pandolf KB (ed.). *Exercise and Sports Sciences Reviews*. New York: Macmillan 1986;325-57.
10. **Wells JCK, Fuller NJ, Dewit O, Fewtrell MS, Elia M, Cole TJ.** Four component model of body composition in children: Density and hydration of fat free mass and comparison with simpler models. *Am J Clin Nutr* 1999;69:904-12.
11. **Lohman TG.** Assessment of body composition in children. *Pediatric: Exercise Science* 1989;1:19-30.
12. **Lohman TG, Slaughter MH, Boileau RA, Bunt J, Lussier L.** Bone mineral measurements and their relation to body density in children, youth, and adults. *Hum Biol* 1984;56:667-79.
13. **Alvero Cruz JR, De Diego Acosta AM, Fernández Pastor VJ, García Romero JC.** Métodos de evaluación de la composición corporal: Tendencias Actuales (I). *Archivos de Medicina del Deporte* 2005;104:535-40.
14. **Alvero Cruz JR, De Diego Acosta AM, Fernández Pastor VJ, García Romero JC.** Métodos de evaluación de la composición corporal: Tendencias Actuales (II). *Archivos de Medicina del Deporte* 2005;105:33-7.
15. **Alvero Cruz JR, De Diego Acosta AM, Fernández Pastor VJ, García Romero JC.** Métodos de evaluación de la composición corporal: Tendencias Actuales (III). *Archivos de Medicina del Deporte* 2005;106:121-7.
16. **Lohman TG.** Skinfolts and body density and their relation to body fatness: a review. *Hum Biol* 1981;53:181-225.
17. **López Calbet JA, Armengol O, Chavarren J, Dorado C.** Una ecuación antropométrica para la determinación del porcentaje de grasa corporal en varones jóvenes de la población canaria. *Med. Clin.* 1997;108:207-13.
18. **Benhke AR, Feen BG, Welham WC.** The specific gravity of healthy men. Body weight and volume as an index of obesity. *J. Am. Med. Assoc.* 1942;118:495-8.
19. **Siri WE.** The gross composition of the body. En: Tobias C.A. and Lawrence J.H. *Advances in biological and medical physics*, New York: Academic Press 1956;239-80.
20. **Nielsen DH, Cassady SL, Janz KE, Cook JS, Hansen JR, Wu Y.** Criterion methods of body composition analysis for children and adolescents. *Am J Hum Biol*, 1993;5:211-23.
21. **Heyward VH, Wagner DR.** *Applied body composition assessment*. Human Kinetics: Champaign 2004;109-22.
22. **Weststrate JA, Deurenberg P.** Body composition in children: Proposal for a method for calculating body fat percentage from total body density or skinfold thickness measurements. *Am J Clin Nutr* 1989;50:1104-15.
23. **Reilly JJ, Wilson J, McColl JH, Carmichael M, Durnin JVG.** Ability of bioelectric impedance to predict fat free mass in prepubertal children. *Pediatric Res* 1996;39:176-9.
24. **Fields DA, Hunter GR, Goran MI.** Validation of the Bod Pod with hydrostatic weighing: Influence of body clothing. *Int J Obes Rel Metab Disord* 2000;24:200-5.
25. **Nicholson JC, McDuffie JR, Bonat SH, Russell DL, Boyce KA, McCann S, Michael M, Sebring NG, Reynolds JC, Yanovski JA.** Estimation of body fatness by air displacement plethysmography in African American and white children. *Pediatric Res* 2001;50:467-73.
26. **Fields DA, Goran MI, McCrory MA.** Body composition assessment via air displacement plethysmography in adults and children: A review. *Am J Clin Nutr* 2002;75:453-67.
27. **Demerath EW, Guo SS, Chumlea WC, Towne B, Roche AF, Siervogel RM.** Comparison of percent body fat estimates using air displacement plethysmography and hydrodensitometry in adults and children. *Int J Obes Rel Metab Disord* 2002;26:389-97.

28. Dewit O, Fuller NJ, Fewtrell MS, Elia M, Wells JCK. Whole body air displacement plethysmography compared with hydrodensitometry for body composition analysis. *Arch Dis Child* 2000;82:159-64.
29. Siri WE. Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. En: Brozek J, Henschel A. *Techniques for measuring body composition*. Washington, DC: National Academy of Sciences 1961;223-44.
30. Selinger A. *The body is a three component system*. (Ph D Thesis) Urbana. Univ of Illinois 1977.
31. Moore FD, Olesen JD, McMurray HV, Parker MR, Ball, Boyden CM. *The Body Cell Mass and Its Supporting Environment*. Philadelphia: PA Saunders 1963.
32. Wang J, Pierson RN, Heymsfield SB. The five level model: a new approach to organizing body composition research. *Am J Clin Nutr* 1992;56:19-28.
33. Morrison JA, Guo SS, Specker B, Chumlea WC, Yanovski SZ, Yanovski JA. Assessing the body composition of 6 17 year old black and white girls in field studies. *Am J Hum Biol* 2001;13:249-54.
34. Okasora K, Takaya R, Tokuda M, Fukunaga Y, Oguni T, Tanaka H, Konishi K, Tamai H. Comparison of bioelectrical impedance analysis and dual energy X ray absorptiometry for assessment of body composition in children. *Pediatrics Intern* 1999;41:121-5.
35. Tyrrell VJ, Richards G, Hofman R, Gillies GF, Robinson E, Cutfield WS. Foot to foot bioelectrical impedance analysis: A valuable tool for the measurement of body composition in children. *Int J Obes Rel Metab Disord* 2001;25:273-8.
36. Thomas DQ, Whitehead JR. Body composition assessment. Some practical answers to teachers' questions. *Journal of Physical Education, Recreation and Dance* 1993;63:16-9.
37. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau, RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan MD, Bembien DA. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol* 1988;60:709-23.
38. Goran MI, Driscoll P, Johnson R, Nagy TR, Hunter G. Cross calibration of body composition techniques against dual energy X ray absorptiometry in young children. *Am J Clin Nutr* 1996;63:299-305.
39. Gutin B, Litaker M, Islam S, Manos T, Smith C, Treiber F. Body composition measurement in 9-11 years old children by dual energy X ray absorptiometry, skinfold thickness measurements, and bioimpedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1996;63:287-92.
40. Janz KF, Nielsen DH, Cassady SL, Cook JS, Wu Y, Hansen JR. 1993. Cross validation of the Slaughter skinfold equations for children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc* 1993;25:1070-6.
41. Lohman TG, Caballero B, Himes JH, Davis CE, Stewart D, Houtkooper L, Going SB, Hunsberger S, Weber JL, Reid R, Stephenson L. Estimation of body fat from anthropometry and bioelectrical impedance in Native American children. *Int J Obes Rel Metab Disord* 2000;24:982-8.
42. Reilly JJ, Wilson J, Durnin JVGA. Determination of body composition from skinfold thickness: A validation study. *Arch Dis Child* 1995;73:305-10.
43. Wong WW, Stuff JE, Butte NF, O'Brian Smith E, Ellis KJ. Estimating body fat in African American and white adolescent girls: A comparison of skinfold thickness equations with a 4 compartment criterion method. *Am J Clin Nutr* 2000;72:348-54.
44. Houtkooper LB, Going SB, Lohman TG, Roche AF, Van Loan M. Bioelectrical impedance estimation of fat free body mass in children and youth: A cross validation study. *J Appl Physiol* 1992;72:366-73.
45. Deurenberg P, Kusters CS, Smit HE. 1990. Assessment of body composition by bioelectrical impedance in children and young adults is strongly age dependent. *Eur J Clin Nutr* 1990;44:261-8.
46. Goran MI, Driscoll P, Johnson R, Nagy TR, Hunter G. Cross calibration of body composition techniques against dual energy X ray absorptiometry in young children. *Am J Clin Nutr* 1996;63:299-305.
47. Kim HK, Tanaka K, Nakadomo F, Watanabe K. Fat free mass in Japanese boys predicted from bioelectrical impedance and anthropometric variables. *Eur J Clin Nutr* 1994;48:482-9.
48. Kushner RF. Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications. *J Am Coll Nutr* 1992;11:199-209.
49. Lohman TG, Boileau RA, Slaughter MH. Body composition in children and youth. En: Boileau RA. *Advances in pediatric sport sciences*. Champaign, IL: *Human Kinetics* 1984;29-57.
50. Tyrrell VJ, Richards G, Hofman R, Gillies GF, Robinson E, Cutfield WS. Foot to foot bioelectrical impedance analysis: A valuable tool for the measurement of body composition in children. *Int J Obes Rel Metab Disord* 2001;25:273-8.