

Estimación de la masa grasa por DXA y el modelo de cuatro compartimentos en púberes mexicanos de 9 a 14 años

Erik Ramírez, Mauro E. Valencia, Silvia Y. Moya Camarena, Heliodoro Alemán-Mateo, Rosa O. Méndez

Centro de Investigación en Nutrición y Salud Pública. Facultad de Salud Pública y Nutrición.
Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, Nuevo León, México. División de Nutrición.
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Hermosillo, Sonora, México

RESUMEN. Se evaluó la precisión y exactitud en la estimación de la grasa corporal (%) por absorciometría dual de rayos X (DXA Lunar-DPX-MD) comparado con el modelo de cuatro compartimentos (4C) en 32 púberes (F=16) de 9 a 14 años. El sesgo entre la DXA y el modelo de 4C fue de -3.5% de grasa ($r=0.25$; $p=0.171$) con un intervalo de confianza de -1.9 a -5.1 ($p=0.050$). Los límites de concordancia al 95% fueron de +5% a -12% de grasa. El coeficiente de correlación de concordancia fue de $p_c=0.85$. La prueba de exactitud por análisis de regresión mostró que el intercepto y la pendiente de las estimaciones de grasa corporal por DXA fueron diferentes al modelo de 4C ($p>0.05$). La precisión evaluada con el valor de R^2 mostró que la DXA explicó el 83% de la varianza de la grasa corporal por el modelo de 4C con un error de 4.1%. El error total como medida de exactitud fue de 5.6%. La exactitud grupal evaluada por análisis de varianza no mostró interacción entre el método (DXA-4C) y el análisis por separado del sexo, el estado puberal y la presencia de sobrepeso. No obstante, hubo efecto del método ($p=0.043$) en presencia de sobrepeso ($p<0.001$). En conclusión, los resultados muestran que el uso de la DXA comparado con el modelo de 4C no es equivalente en púberes mexicanos. Sin embargo, estos datos no limitan el uso de la DXA en estudios de composición corporal y su relación con anomalías metabólicas.

Palabras clave: DXA, composición corporal, México, púberes, porcentaje de grasa.

INTRODUCCION

En la evaluación del estado de nutrición, la composición corporal proporciona datos necesarios para interpretar la relación entre componentes de interés médico como la masa grasa (MG) y la masa libre de grasa (MLG). La evaluación de la composición corporal por técnicas indirectas como la absorciometría dual de rayos X (DXA) se ha convertido en una importante herramienta para la evaluación y seguimiento de la obesidad y enfermedades relacionadas (1,2). No obstante, la precisión de la DXA en la estimación de la grasa corporal ha sido cuestionada debido a que entre otros no se han establecido criterios uniformes de validación; existen diferencias en cuanto a los métodos usados; el tipo de equipo de DXA empleado así como los softwares utilizados. Otro

SUMMARY. Estimation of body fat by DXA and the four compartment model in Mexican youth. The objective of this study was to validate the estimation of body fat (%BF) by DXA (Dual-Energy X-Ray AbsorciomDPX-MD) against the four compartment model (4C) of body composition in 32 Mexican pubertal girls and boys (aged 9 – 14y; F=16). The mean of the difference between DXA and 4C model was -3.5 %BF ($p=0.171$). The limits of agreement ($95\% \pm 2$ SD) were +5% to -12%BF. The precision of estimated limits of and the confidence intervals were -1.9% to -5.1%BF ($P=0.050$). The concordance correlation coefficient was $p_c = 0.85$. The test of accuracy for coincidence of slop intercepts between DXA and the 4C model showed no coincidence ($p< 0.05$). The precision by R^2 explained 83% of the variance (SEE, 4.1 %). The individual accuracy assess by the total error was 5.6%. The group mean accuracy by two way analysis of variance of body fat did not show interaction between method (DXA-4C model) and separate analysis of gender and overweight. However, there was an effect of method ($p=0.043$) in the presence of overweight ($p<0.001$). In conclusion, the estimation of percent of body fat by DXA was not precise and accurate in a group of Mexican children. However, results do not limit the utility of DXA for the measurements of body composition and its relation with health outcomes, especially in follow up studies.

Key words: DXA, body composition, Mexican youth, body fat percentage.

factor a considerar es el grupo étnico ya que se han observado diferencias en todos los componentes de la composición corporal derivados de las mediciones con DXA en niños blancos de Estados Unidos y de origen mexicano de 3 a 18 años (3). En países como México y América Latina, el uso de la DXA se ha reportado en algunos estudios con niños y adolescentes para asociar la cantidad de masa grasa con la resistencia a la insulina y otros factores de riesgo cardiovascular así como para comparar técnicas en la evaluación de la adiposidad con relación a la desnutrición crónica (2, 4). Sin embargo, no se dispone de referencias en nuestra región que permitan contrastar las conclusiones acerca de la confiabilidad de la DXA en la evaluación de la grasa corporal en poblaciones diferentes a las caucásicas. En éste tipo de poblaciones, la mayor parte de los estudios de

validación mostraron resultados poco satisfactorios y sólo algunos resaltaron la confiabilidad de la DXA en la evaluación de la grasa corporal en niños y adolescentes (5- 9).

La validación de la DXA debe realizarse con métodos que permitan atenuar la variación biológica debida a la MLG (principalmente masa ósea y la hidratación de la MLG). El modelo de 4C permite resolver estas variaciones biológicas y se considera un método de referencia para validar otros métodos (3). El objetivo de este estudio fue validar la estimación de la masa grasa por DXA considerando como referencia el modelo de 4C en un grupo de púberes mexicanos de 9 a 14 años. Como un objetivo secundario, se propuso explorar la relación entre la masa grasa por el modelo de 4C y DXA con los pliegues cutáneos tricípital, bicípital, abdominal, suprailíaco y subescapular.

MATERIALES Y METODOS

Sujetos

Estudio descriptivo transversal. Se evaluaron 32 púberes (16 mujeres y 16 varones) con peso mayor a 34 kg. Los escolares pertenecían a escuelas públicas urbanas del estado de Sonora, México; sin relación cultural con algún grupo indígena. Todas las mediciones antropométricas y de composición corporal se realizaron en los laboratorios de la División de Nutrición, Área de Composición Corporal del CIAD, A.C durante el periodo de 2005 a 2006. Se utilizó un cuestionario médico general para determinar el estado de salud de los participantes y descartar alguna patología o el uso de medicamentos que pudieran alterar la composición corporal en los últimos tres meses. El grado de madurez sexual se evaluó por medio de la escala de Tanner con el uso de un cuestionario autoadministrado (10,11). Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética del CIAD, A.C. (Centro de investigación en Alimentación y Desarrollo).

Evaluación antropométrica

Todas las mediciones antropométricas se realizaron por una persona estandarizada en concordancia con lo sugerido por los criterios del Airlie Conference Committee o grupo de estandarización antropométrica y en todos los casos, el error técnico de la medición (ETM) intraobservador se encontró dentro de los límites reportados (12). La estatura y el peso se midieron por duplicado y se tomó el promedio de las mediciones como el valor final a considerar. La talla se midió con un estadiómetro (2.05 ± 0.1 cm; Holtain Ltd, Dyfed, Reino Unido). El peso corporal se midió con una balanza electrónica digital (150 ± 0.01 kg) conectada al BOD-POD (Body Composition System, Life Measurement Instruments, Concord, CA). Para ésta última medición, los participantes se vistieron con un traje de baño ajustado. El ETM para la talla y el peso respectivamente fueron de 0.2 mm y 0.01 kg.

Adicionalmente, se midieron los pliegues cutáneos: tricípital, bicípital, abdominal, suprailíaco y subescapular con un plicómetro Holtain T/W Skinfold Caliper (Holtain Ltd, Dyfed, Reino Unido). Las mediciones se realizaron por triplicado y se tomó el promedio como el valor final a considerar. Para fines descriptivos, el pliegue abdominal se tomó del lado derecho, a 3 cm de la cicatriz umbilical y uno por debajo de forma vertical. El ETM del pliegue tricípital fue de 0.36 mm, bicípital 0.37 mm, abdominal 0.44 mm, suprailíaco 0.64 mm y subescapular 0.91 mm.

Composición corporal

Densidad corporal

La densidad corporal (D_b) se calculó con un pletismógrafo de desplazamiento de aire o BOD-POD. (Body Composition System, Life Measurements Instruments, Concord, CA, USA Versión 1.69). El sistema ha sido validado en otros grupos de edad en nuestro laboratorio (13). Antes de cada medición, el BOD-POD se calibró de acuerdo a las recomendaciones del fabricante. De igual forma, los procedimientos para la medición del volumen corporal y el volumen de gas torácico se explicaron a cada participante. Después de la calibración, los púberes entraron en el BOD-POD con traje y gorra de baño ajustados para natación. Posteriormente, el volumen corporal se midió mientras los sujetos permanecían sentados y respirando normalmente. Con la corrección del volumen corporal y la medición del peso corporal se obtuvo la D_b . La reproducibilidad de la medición de la densidad por el BOD-POD ha sido reportada previamente en otro estudio (14).

Agua corporal total

Al ingresar al Laboratorio de Composición Corporal del CIAD A.C., los púberes recibieron un desayuno ligero (jugo de naranja y un sándwich) ya que no se consideró ético que permanecieran en ayuno prolongado. Cuarenta y cinco minutos después del desayuno, a los participantes se les requirió una muestra de saliva para medir sus niveles naturales de deuterio. Posteriormente, recibieron una dosis exacta vía oral de óxido de deuterio (0.2 g/kg de peso corporal; 99.9% de átomo; Cambridge Laboratorios, Andover, MA). Los recipientes se enjuagaron con 20 mL de agua de la región con el fin de garantizar la ingestión total de la dosis. Después de un periodo de 3.5 a 4.0 horas, a los púberes se les pidió otra muestra de saliva para establecer sus niveles posdosis o de enriquecimiento de deuterio. El tiempo posdosis se estableció en un estudio piloto ($n= 37$) en escolares de la misma edad, donde se encontró que el tiempo de equilibrio o meseta se obtuvo dentro de las primeras 4 h (535 ppm a las 3.0 h y 536 ppm a las 4.0 h; $p > 0.05$). La concentración de isótopos se midió en un espectrómetro de masas de relación isotópica (DELTA PLUS, Thermo Finnigan, Bremen, Alemania) en la

Unidad de Investigación del Centro Médico Nacional, Siglo XX, IMSS, en la Ciudad de México. La muestra líquida se evaporó y se redujo a gas hidrógeno en presencia de cromo a una temperatura de 850 °C. Los resultados del análisis fueron expresados en relación a los estándares medidos por el V-SMOW (Patrón de la composición promedio de agua oceánica) y de la SLAP (Patrón de Precipitación Ligera Antártica; Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria) con una precisión de 0.16–0.32 ppm. El agua corporal total (ACT) se calculó de acuerdo con el principio de dilución que permite determinar un volumen desconocido (ACT) a partir de un volumen y concentración de isótopo conocidos (agua deuterada). Finalmente, para evitar la sobreestimación del ACT el espacio de dilución del deuterio en el cuerpo se corrigió por el intercambio isotópico (4%) en otros compartimentos no acuosos (15).

Contenido mineral óseo y masa grasa por DXA

El contenido mineral óseo (CMO) se midió con un equipo de DXA Lunar (DPX-MD densitometer, versión del software 5.00, GE Lunar Radiation Corporation, Madison, WI, EE.UU.). La medición de cada púber se realizó con el mínimo de ropa (camiseta y pantalón corto) y sin objetos metálicos. La MG se obtuvo ajustando la estimación del tejido graso por DXA con el peso corporal obtenido de una báscula digital.

Modelo de cuatro compartimentos

El modelo de 4C se usó como método de referencia para validar las estimaciones de grasa por DXA. Para obtener la MG por el modelo de 4C, se empleó la ecuación modificada de Lohman (3): $MG \text{ kg} = (2.749 / Db - 0.714 w + b 1.146 - 2.0503)$, donde Db es la densidad corporal, w es el agua corporal total (L) expresada como fracción de la masa corporal, y b es el mineral corporal total (MCT; kg) expresado como fracción de la masa corporal total. El CMO de la DXA representa el hueso convertido en ceniza y para obtener el MCT, el contenido mineral óseo se multiplicó por el factor 1.22 (3).

Análisis estadístico

El sesgo entre las mediciones de grasa corporal por DXA y el modelo de 4C se evaluó con el procedimiento de Bland y Altman (16). Para este fin, se calcularon los límites de concordancia al 95% y su precisión se evaluó con los intervalos de confianza al 95%. La ausencia de relación entre las diferencias y la magnitud de las mediciones se confirmó analizando la significancia de la asociación de las diferencias con respecto al promedio de las mediciones del porcentaje de masa grasa (11).

La exactitud individual entre DXA y el modelo de 4C se evaluó por análisis de regresión al comparar el intercepto y la pendiente de la relación entre el DXA y el modelo de 4C contra la línea de identidad (modelo de 4C) que representa el valor

verdadero. Para lo anterior, se consideró que el intercepto del modelo de DXA no fuese diferente de cero y la pendiente no fuese diferente de uno en base a los intervalos de confianza del 95% para estos parámetros. La precisión se evaluó con el valor de R^2 y el error estándar del estimador (EES) de la regresión simple entre el DXA y el modelo de 4C (3).

Adicionalmente, se calculó el coeficiente de correlación de concordancia ($p_c = p c_b$) que evalúa el grado en que cada par de observaciones se localiza cerca de la línea de 45° que parte desde el origen. El valor de p es el coeficiente de Pearson y es una medida de precisión que determina la desviación de cada observación de la línea de correlación; c_b es un factor de corrección del sesgo y es una medida de exactitud que determina la desviación de la línea de correlación con respecto a la línea de 45° (17). Para comparar los resultados de éste estudio con otros publicados, se calculó el error total (ET) como medida de exactitud: $ET = \text{raíz} [(\sum (4C - DXA)^2 / N)]$; donde N es igual al número de sujetos (18). La exactitud grupal se evaluó por análisis de varianza de dos vías añadiendo como factores el método (DXA y el modelo de 4C) y analizando por separado la interacción con el género (masculino-femenino), el estado de madurez (Tanner I, II vs. III, IV) y la presencia de sobrepeso ($IMC < 85$ percentil vs. $IMC \geq 85$ percentil; 19). La comparación per se por estadios de Tanner y de sobrepeso en el grupo de estudio no fue un objetivo prioritario de esta investigación, sólo la influencia de estas variables sobre la exactitud grupal de la DXA en comparación con el método de 4 compartimentos.

Adicionalmente, se analizó la relación entre la masa grasa por el modelo de 4C y DXA con los pliegues cutáneos tricipital, bicipital, abdominal, suprailíaco y subescapular. Los datos fueron analizados utilizando el programa estadístico NCSS 2001 (Number Cruncher Statistical System for Windows, Kaysville, UT, EE.UU.).

RESULTADOS

Las características físicas y de composición corporal se muestran sólo como estadística descriptiva en la Tabla 1. No se encontraron niños con desnutrición crónica de acuerdo con el indicador de talla para la edad y el número de varones y mujeres con sobrepeso fue similar según el percentil del $IMC \geq 85$.

La Tabla 2 muestra los resultados de la evaluación del sesgo entre la DXA y el modelo de 4C en términos de porcentaje de grasa y de kilogramos de masa grasa. En promedio, la DXA subestimó la proporción de grasa en 3.5% comparado con el modelo de 4C. Los resultados indican que en el 95% de los casos (± 2 DE), una medición por DXA pudiera estar hasta 12.4% por debajo o 5.4% por arriba del valor obtenido por el modelo de 4C. Específicamente, el 91%

(29 sujetos) de las observaciones estuvo dentro de estos límites (Figura 1). Los límites de concordancia dependen del supuesto de una distribución homogénea y normal de las diferencias a través del intervalo de mediciones. En este sentido, no se encontró relación entre las diferencias y la magnitud de las

mediciones ($r=0.25$; $p=0.17$). El intervalo de confianza mostró que si se midiera otra muestra independiente, el 95% de los sujetos evaluados por DXA se encontraría entre -5.1% y -1.9% de grasa corporal comparado con el modelo de 4C.

TABLA 1
Características físicas de los sujetos del estudio

Características físicas	Masculino (n= 16)		Femenino (n= 16)	
	Media \pm DE	Intervalo	Media \pm DE	Intervalo
Edad, años	12.2 \pm 2.0	9.3- 14.9	12.1 \pm 1.6	9.1- 14.3
Peso, kg	53.7 \pm 13.2	35.9- 85.0	54.9 \pm 12.0	37.4- 75.0
Estatura, cm	156.8 \pm 11.2	136.8- 176.3	152.3 \pm 10.3	135.2- 170.0
Z, T/E	0.32 \pm 0.96	-1.85- 2.25	-0.08 \pm 0.91	-1.28- 2.09
IMC, kg/m ²	21.6 \pm 3.6	14.8- 27.6	26.6 \pm 4.3	17.4- 32.5
IMC = 85 Percentil (n)	10		10	
Composición Corporal				
ACT, L	25.0 \pm 7.1	15.4- 39.7	23.0 \pm 4.0	17.2- 31.0
Contenido mineral óseo, kg	2.03 \pm 0.56	1.27- 3.15	2.12 \pm 0.55	1.32- 3.30
Masa magra DXA, kg	35.2 \pm 8.4	23.2- 51.4	31.4 \pm 4.7	23.1- 39.1
MLG 4C Lohman, kg	34.5 \pm 9.4	21.8- 53.0	32.8 \pm 5.5	24.7 - 41.6
Densidad Corporal, g/cm ³	1.0246 \pm 0.006	0.9984- 1.0765	1.0223 \pm 0.0159	0.9940- 1.0480
% Grasa, DXA	29.6 \pm 11.4	7.9- 45.2	37.7 \pm 8.5	23.9- 51.3
% Grasa, 4C	35.4 \pm 10.0	14.5- 48.3	38.9 \pm 9.3	22.5- 52.4

Abreviaciones: Z, T/E: puntaje Z de estatura para la edad (CDC/Growth Charts 2000); IMC \geq 85 Percentil: índice de masa corporal correspondiente a los percentiles del CDC/Growth Charts, 2000; ACT: Agua corporal total; MLG 4C Lohman: Masa libre de grasa por la ecuación de 4 compartimentos de Lohman. Los valores están expresados como media \pm DE.

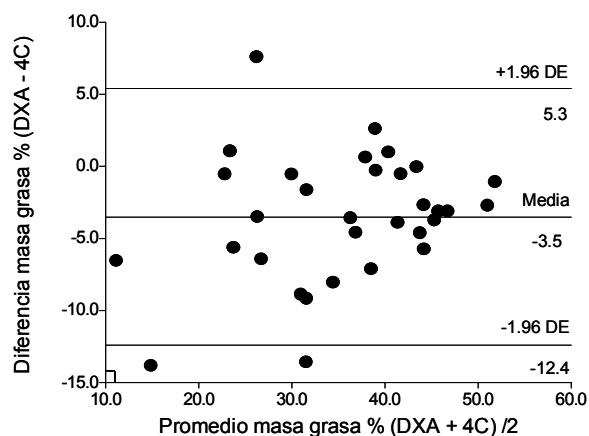
TABLA 2
Sesgo y concordancia entre DXA y el modelo de 4 compartimentos para la masa grasa corporal

Variable	Valor
Media de las diferencias, % grasa	-3.5
95%, intervalo de confianza	-5.1, -1.9
Limites de concordancia, (\pm 2 DE)	-12.4 a + 5.4
Coefficiente de correlación de concordancia	0.85
Error Total	5.6
Media de las diferencias, masa grasa kg	-1.7
95% intervalo de confianza	-2.5, -1.0
Limites de concordancia, (\pm 2 DE)	-5.8 a + 2.4
Coefficiente de correlación de concordancia	0.95
Error Total	2.6

Abreviaturas: 4C, cuatro compartimentos; DE, desviación estándar.

FIGURA 1

Diferencias en la proporción de masa grasa (MG) por DXA con respecto al modelo de 4 compartimentos (4C) contra el promedio de sus mediciones. No se encontró asociación entre las diferencias y la magnitud de las mediciones ($r=0.25$; $p=0.17$). Se muestran los límites de concordancia al $95\% \pm 2$ DE (líneas discontinuas)

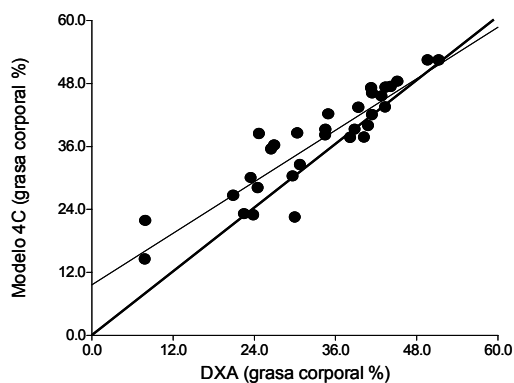


Por otra parte, el coeficiente de correlación de concordancia para el porcentaje de grasa ($p_c = 0.85$) fue más bajo que el coeficiente para el valor de la masa grasa en kilogramos ($p_c = 0.95$). El error total (ET) como medida de exactitud fue de 5.6% de grasa corporal. La regresión de DXA sobre el modelo de 4C mostró que el intercepto y la pendiente fueron diferentes respecto a la línea de identidad (modelo de 4C; Figura 2). La precisión evaluada con el valor de R^2 mostró que la DXA explicó sólo el 83% de la variabilidad de la grasa corporal del modelo de 4C con un error de 4.1% (Figura 2).

FIGURA 2

Prueba de exactitud para la estimación de grasa corporal por DXA contra el modelo de 4C (cuatro compartimento).

La línea de regresión (línea discontinua) entre DXA y el modelo de 4C no mostró coincidencia con la línea de identidad (línea sólida: modelo de 4C; ($p > 0.05$); $R^2 = 0.83$; error estándar del estimador = 4.1. Coeficiente de correlación de concordancia = 0.85



La Tabla 3 muestra el análisis de varianza por dos vías de las estimaciones de masa grasa por el modelo de 4C y la DXA como factores y su interacción con otras variables. No se encontró interacción entre el método y las variables sexo, estado puberal y sobrepeso ($p > 0.05$). No obstante, se encontró efecto del sexo en las estimaciones de grasa por los dos métodos ($p = 0.022$). Las mujeres tuvieron 3.5% más grasa corporal que los varones (Tabla 3). También se observó efecto del estado puberal en las estimaciones de masa grasa por el modelo de 4C y la DXA. Los púberes en los estados de Tanner I y II tuvieron una mayor proporción de grasa corporal (41.1%) que los púberes en los estados III y IV (34.8%; $p = 0.020$). Asimismo se observó efecto por la presencia de sobrepeso ya que la proporción de grasa corporal entre sujetos con sobrepeso y los que no presentaban sobrepeso fue respectivamente de 42.4% y 28.4% ($p < 0.001$). Se encontró además un efecto del método en la determinación de grasa corporal, ya que los sujetos con y sin sobrepeso evaluados con el modelo de 4C presentaron valores de 35.4% de grasa corporal contra 31.6% por DXA ($p = 0.043$).

La relación entre el porcentaje de grasa por DXA y los pliegues cutáneos bicipital, tricipital, subescapular, abdominal y suprailiaco fue significativa ($p < 0.05$). La correlación más fuerte se observó con el pliegue cutáneo tricipital ($r = 0.90$) y la más débil con el pliegue suprailiaco ($r = 0.72$). Un análisis de regresión simple reveló que el pliegue tricipital explicó por sí sólo el 70% de la variabilidad de la grasa corporal por DXA (EES= 5.3) y el 80% por el modelo de 4C (EES= 4.8)

TABLA 3

Proporción de masa grasa (% MG) por el modelo de 4 Compartimentos (4C % MG) y DXA en púberes mexicanos

Método	Categorías		
	Todos (32)	Masculino (16)	Femenino (16)
4C, %MG	37.2 ± 1.7	35.4 ± 2.5 ^a	38.9 ± 2.5 ^b
DXA, %MG	33.7 ± 1.7	26.6 ± 2.5 ^a	37.7 ± 2.5 ^b
Todos (32)	Tanner I y II (12)	Tanner III y IV (20)	
4C, %MG	38.0 ± 1.7	41.1 ± 2.9 ^a	34.8 ± 2.2 ^b
DXA, %MG	34.4 ± 1.7	37.4 ± 2.9 ^a	31.4 ± 2.2 ^b
Todos (32)	IMC < 85 percentil (12)	IMC ≥ 85 percentil (20)	
4C, %MG ^a	35.4 ± 1.3	28.4 ± 2.1 ^a	42.4 ± 1.6 ^b
DXA, %MG ^b	31.6 ± 1.3	23.6 ± 2.1 ^a	39.7 ± 1.6 ^b

Exactitud grupal de la DXA contra el modelo de 4C por análisis de varianza de 2 vías analizando por separado la interacción con el género: masculino y femenino; el estado de madurez: Tanner I, II vs. Tanner III, IV, y la presencia de sobrepeso: IMC < 85 percentil vs. IMC ≥ 85 percentil. Los valores representan media ± EE. El número de sujetos se indica entre paréntesis. Entre los niveles de cada categoría se indica con letras distintas el efecto significativo del género ($p = 0.022$), del estado de madurez sexual ($p = 0.020$) y del sobrepeso ($p < 0.001$). El efecto significativo del método se indica con letras diferentes ($p = 0.043$).

DISCUSION

La estimación de la grasa corporal por DXA comparada con el modelo de 4C se evaluó en 32 púberes mexicanos de 9 a 14 años. En general, la DXA subestimó la proporción de grasa corporal en comparación con el modelo de 4C en 3.5% de grasa corporal. Los límites de concordancia fueron de -12% a 5%, lo que establece una variabilidad amplia en la estimación de grasa corporal por DXA. Para conocer qué tan confiables serían las estimaciones de grasa por DXA en una muestra independiente, el cálculo del intervalo de confianza mostró que se obtendría una diferencia de 3% de grasa corporal. No obstante, se tendría que valorar nuevamente la amplitud de los límites de concordancia para respaldar su confiabilidad.

Al evaluar la exactitud por análisis de regresión, los valores de grasa corporal por DXA no fueron exactos ni precisos; el intercepto y la pendiente por DXA y el modelo de 4C fueron diferentes de la línea de identidad. De igual forma, al comparar los resultados de éste estudio con otros métodos, el valor de concordancia de la DXA resultó bajo comparado con el método de dilución con deuterio ($p_c = 0.91$) y con el BOD-POD ($p_c = 0.88$).

Los datos de éste estudio muestran que el DXA como método es poco confiable para ofrecer estimaciones de grasa corporal. En 30 púberes de 8 a 12 años, Wells et al., (5) reportó límites de concordancia de 13% de grasa en la estimación por DXA comparado con el modelo de 4C. Roemmich et al., (6) en 47 púberes reportó resultados similares a los nuestros en la media de las diferencias y en los límites de concordancia. Si bien la media de las diferencias entre la DXA y el modelo de 4C se ha reportado entre -2% y 1.9%, los límites de concordancia en todos los casos han sido inaceptables (5-8).

Un factor que modifica la precisión de DXA es el tipo de muestra. En el presente estudio, al evaluar la relación entre el método y el grado de sobrepeso, las estimaciones de grasa corporal por DXA fueron menores en comparación con el modelo de 4C. Lo anterior, coincide con otros estudios reportados en niños con sobrepeso donde se ha observado que la DXA ha sido el método menos confiable en comparación con el método de dilución con deuterio y el BOD-POD. No obstante, de acuerdo al análisis de varianza no se encontró interacción entre el método y la presencia de sobrepeso, por lo que las diferencias en la estimación de grasa corporal se mantuvieron constantes y en la misma dirección. Un mayor número de muestra pudiera revelar interacciones ya que se ha observado que algunas de las diferencias entre sujetos con sobrepeso pueden ser atribuidas entre otras, al supuesto en la hidratación de la MLG de la DXA, el grosor de los pliegues y la madurez ósea (3,20).

La interacción del estado puberal con el método (DXA vs. 4C) también se evaluó en el presente estudio y se encontró

influencia entre los estados de madurez sexual y la evaluación de la grasa corporal por DXA ó el modelo de 4C. El porcentaje de grasa corporal tendió a ser más alto en los estadios I y II que en los estadios III y IV. Cabe mencionar que en cuanto al comportamiento de las variables de composición corporal en relación con el género y la madurez sexual (datos no mostrados) no se encontraron diferencias significativas entre varones y mujeres en el porcentaje de grasa ($p = 0.058$), densidad corporal ($p = 0.125$), contenido mineral óseo ($p = 0.078$) y ACT ($p = 0.065$); no obstante, se observó que estas diferencias se acercan a la significancia. Los resultados fueron similares a lo reportado en otros estudios (6) y están en concordancia con los cambios atribuidos a la pubertad y el género (21). De igual forma no se observaron diferencias en el IMC entre ambos sexos ($p = 0.065$).

La exactitud individual evaluada con el error total (ET; 5.6%) del DXA respecto al modelo de 4C, permite la comparación con otros estudios. Se han reportado valores de ET de 3.6% y 4.05% de grasa (5, 6). Por su parte, el valor de EES se ha empleado con frecuencia para expresar la precisión de un método con respecto a otro (3). En éste estudio, DXA explicó sólo el 83% de la variación por el modelo de 4C con un error de 4.1%. Se ha sugerido considerar un valor del EES cercano o por debajo de 3% de GC para considerar a un método confiable. Sopher et al., (9) reportó un valor del EES de 3.7%, lo que resultó similar a nuestros resultados. No obstante, ellos consideraron que estas diferencias no limitan la utilidad de DXA para la evaluación de la grasa corporal en estudios clínicos. Nuestros resultados sugieren que es necesario valorar las limitaciones y usos de la DXA en cada tipo de estudio.

La validación de la DXA no ha sido satisfactoria en poblaciones caucásicas mientras que en otros grupos étnicos se desconoce su confiabilidad. Sin embargo, es frecuente que se use como método de referencia en composición corporal para el diseño de ecuaciones de predicción de grasa basadas en antropometría (22). Aunque nuestro estudio mostró que el pliegue tricípital puede explicar hasta el 70% de la variación en la grasa corporal por la DXA, se ha sugerido tener precaución con el método de absorciometría dual de rayos X al comparar grupos o realizar estudios de seguimiento, ya que las dimensiones corporales así como el grosor de los pliegues cutáneos afectan la precisión de las estimaciones de la grasa corporal (3).

A pesar de las limitaciones de la DXA, en países con economías emergentes se dispone de ésta tecnología cada vez en mayor número. Esto se debe a la utilidad y ventajas que tiene la DXA para evaluar la grasa regional, la grasa abdominal, los tejidos blandos magros y la masa ósea. Además, es un método excelente para evaluar la masa muscular apendicular esquelética en comparación con la tomografía axial computarizada; y es promisorio su uso como un método de referencia para evaluar los cambios en la composición corporal

(3). Los procesos de validación de la DXA deberán ser constantes para establecer su exactitud mientras continúen surgiendo nuevos modelos y tecnologías.

Respecto a las limitaciones del estudio es importante señalar que los resultados pueden generalizarse a niños con las mismas características, por lo que se requieren de otros trabajos que soporten la validez de la DXA en escolares de menor edad e incluso en otros grupos étnicos. En el presente estudio se decidió incluir sólo a niños de 9 a 14 años y debido a la limitación de la versión del software para estimar de forma confiable la masa grasa en niños de menor edad. No obstante, esto permitió a su vez evitar una mayor variabilidad en la muestra al no incluir a los niños menores de 9 años.

En conclusión, la estimación de grasa corporal por DXA comparada con el modelo de 4C no fue precisa ni exacta en púberes mexicanos de 9 a 14 años. No obstante, por su disponibilidad, la DXA tiene el mayor potencial de uso en pediatría en comparación con el BOD-POD por lo que estos resultados no limitan el uso de la DXA en aplicaciones de composición corporal, sobre todo aquellas que evalúan la composición regional del cuerpo y su relación con anormalidades metabólicas o las aplicaciones en estudios de seguimiento en tiempos relativamente cortos.

AGRADECIMIENTOS

A los padres y a los púberes por su entusiasta participación. A la Secretaria de Educación y Cultura del Estado de Sonora y a los directores de las escuelas por facilitar el acercamiento con los padres de familia. Agradecemos también a Alma Robles Sardín, Ana Cristina Gallegos y Gloria Ramírez por el apoyo técnico. Este estudio fue financiado por el CONACyT, Convocatoria de Salud 2003-C01-56 a MEV, y por una beca Doctoral a ER por el CONACyT-Mexico.

REFERENCIAS

1. Wells JCK, Fewtrell MS. Measuring body composition. *Arch Dis Child* 2006; 91:612-617.
2. Cisneros-Tapia R, Navarrete FA, Gallegos AC, Robles-Sardín AE, Méndez RO, Valencia ME. Insulin sensitivity and associated risk factors in Mexican children and adolescents. *Diabetes Care* 2005; 28:2546-2547.
3. Lohman TG and Chen Z. Dual-Energy X-Ray Absorciometry. In: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang ZM, Going SB, editors. *Human Body Composition*. 2nd ed. Champaign Il: Human Kinetics; 2005, p. 63-77.
4. Hoffman DJ, Sawaya AL, Martins PA, McCrory MA, Roberts SB. Comparison of Techniques to Evaluate Adiposity in Stunted and Nonstunted. *Pediatrics* 2006; 117:725-732.
5. Wells KCK, Fuller NJ, Dewit O, Fewtrell M, Elia M, Cole T. 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; 69:904-912.
6. Roemmich JN, Clark PA, Weltman A, Rogol AD. Alterations in growth and body composition during puberty. I. Comparing multicompartiment body composition models. *J Appl Physiol* 1997; 83:927-935.
7. Gately PJ, Radley D, Cooke CB, Carrol S, Oldroyd B, Truscott JG et al. Comparison of body composition methods in overweight and obese children. *J Appl Physiol* 2003; 95:2039-2046.
8. Fields D, Goran MI. Body composition techniques and the four-compartment model in children. *J Appl Physiol* 2000; 89:613-620.
9. Sopher AB, Thornton JC, Wang J, Pierson RN, Jr, Heymsfield SB, Horlick M. Measurement of Percentage of Body Fat in 411 Children and Adolescents: A Comparison of Dual-Energy X-Ray Absorptiometry With a Four-Compartment Model. *Pediatrics* 2004; 113:1285-1290.
10. Tanner JM. *Growth and Adolescence*. 2nd ed. Oxford, UK: Blackwell; 1962.
11. Duke PM, Litt IF, Gross RT. Adolescents' self-assessment of sexual maturation. *Pediatrics* 1980; 66:918-920.
12. Lohman TG, Roche AF, R M: *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics. 1988.
13. Alemán-Mateo H, Huerta RH, Esparza-Romero J, Méndez RO, Urquidez R, Valencia ME: Body composition by the four-compartment model: Validity of the BOD POD for assessing body fat in Mexican elderly. *Eu J Clin Nutr* 2007; 61:830-836.
14. Ramírez E, Valencia ME, Moya-Camarena SY, Alemán-Mateo A, Méndez RO. Four-compartment model and validation of deuterium dilution technique to estimate fat-free mass in Mexican youth. *Nutrition* 2009; 25:194-199.
15. IDECG: The doubly-labelled water method for measuring energy expenditure. Technical recommendations for use in humans. A consensus report by the International Dietary Energy Consultancy Group. Edited by Prentice AM. Vienna: NAHRES-4, IAEA; 1990.
16. Bland JM, Altman DG. Applying the right statistics: analyses of measurement studies. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2003; 22:85-93.
17. Lin LI-K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 1989; 45:255-268.
18. Lohman TG. Skinfolts and body density and their relation to body fatness: a review. *Hum Biol* 1981; 53:181-225.
19. Kuczmarski RJ, Ogden CL, Guo SS, Grummer-Straw LM, Flegal KM, Mei Z et al. 2000 CDC Growth Charts for the United States: Methods and development. *National Center for Health Statistics. Vital Health Stat* 11 2002; 246:147-148.
20. Haroun D, Wells JCK, Williams JE, 1, Fuller NJ, Fewtrell MS, Lawson MS. Composition of the fat-free mass in obese and nonobese children: matched case-control analices. *Int J Obes* 2005; 29:29-36.
21. Veldhuis JD, Roemmich JN, Richmond EJ, Rogol AD, Lovejoy JC, Sheffield-Moore M, et al. Endocrine control of body composition in infancy, childhood, and puberty. *Endocr Rev* 2005; 26:114-46.
22. Huang T T-K, Watkins MP, Goran MI, Predicting Total Body Fat from Anthropometry in Latino Children. *Obes Res* 2003; 11:1192-1199.

Recibido: 22-03-2010

Aceptado: 25-06-2010