

Revision of Literature

Recomendaciones de Métodos de la ASEP (Sociedad Americana de Fisiólogos del Ejercicio): Evaluación de la Composición Corporal

Vivian H Heyward¹

¹*Exercise Science Program, University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131-1258.*

RESUMEN

Este trabajo científico provee una revisión sobre los métodos de campo y laboratorio comúnmente usados en el marco de la investigación, la medicina y la salud/aptitud física, para obtener mediciones válidas de la composición corporal, también se recomiendan métodos específicos y ecuaciones de predicción para este propósito. Estas recomendaciones reflejan el estado actual de conocimientos acerca de la evaluación de la composición corporal, pero las mismas están sujetas a modificaciones a medida que se hagan disponibles información y tecnologías nuevas. Una revisión extensiva de la literatura sugiere que la densitometría (hidrodensitometría y pletismografía por desplazamiento de aire), la hidrometría, y la absorciometría dual por rayos X, son comúnmente usados para obtener medidas de referencia de la composición corporal en el marco de la investigación. Típicamente, las estimaciones de la composición corporal a partir de la densitometría o hidrometría son obtenidas usando modelos de composición corporal de 2 componentes (Masa corporal = masa magra + masa grasa). Las limitaciones de los modelos de 2 componentes están establecidas. También son comparados los méritos, defectos y errores técnicos asociados con cada uno de estos métodos de laboratorio. Dado que cada uno de estos métodos de referencia proporciona mediciones indirectas de la composición corporal, ninguno puede ser distinguido como el método "patrón oro" o "gold standard", para las evaluaciones de la composición corporal in vivo. Es recomendado, en su lugar, que las variables obtenidas a partir de estos tres métodos sean usadas junto con un modelo molecular, multicomponentes para derivar mediciones de referencia de la composición corporal para la investigación, ocupándose del desarrollo y la validación de métodos de campo y ecuaciones de predicción. El análisis de impedancia bioeléctrica, los pliegues cutáneos y otros métodos antropométricos son muy usados en el marco de la salud/aptitud física para evaluar la composición corporal. La exactitud de predicción de estos métodos de campo y ecuaciones de predicción, es limitada debido a la ausencia de un solo método de referencia "patrón oro" o "gold standard". Una abrumadora mayoría de ecuaciones de predicción de métodos de campo han sido desarrolladas y realizadas usando métodos de composición corporal moleculares y de dos componentes, en conjunción, con un solo método de referencia. De este modo, el error de predicción de las estimaciones de composición corporal obtenidas con estas ecuaciones puede ser más grande de lo esperado, especialmente si la densidad de la masa magra del individuo difiere mucho de los valores asumidos para los modelos de dos componentes. Con esta advertencia, las recomendaciones son hechas teniendo en cuenta los métodos/ecuaciones seleccionados para ser usados con diversos subgrupos de poblaciones.

Palabras Clave: hidrodensitometría, pletismografía por desplazamiento de aire, absorciometría dual por rayos X, impe

INTRODUCCIÓN

En el marco del laboratorio y la clínica, los científicos del ejercicio rutinariamente evalúan la composición corporal para identificar individuos en riesgo debido a niveles excesivamente bajos o altos de grasa corporal total. Además, los fisiólogos del ejercicio pueden usar las mediciones de composición corporal en un cierto número de formas. Monitorizando cambios en la masa magra (FFM) y en la masa grasa (FM) pueden favorecer nuestro entendimiento acerca del metabolismo energético y del proceso de las enfermedades, conduciendo al desarrollo de estrategias de intervención de nutrición y ejercicio más efectivas para contrarrestar la pérdida de FFM asociada a factores como malnutrición, sedentarismo, lesiones y ciertas enfermedades. Los datos de la composición corporal pueden también ser usados para estimar pesos corporales competitivos para los atletas, especialmente para aquellos que participan en deportes con clasificaciones por peso corporal para la competición. Además, los fisiólogos del ejercicio pueden monitorear el crecimiento, la maduración y los cambios en la composición corporal relacionados a la edad.

Los modelos teóricos son usados para obtener mediciones de referencia o criterio de la composición corporal. Para estudiar la composición corporal, la masa corporal es subdividida en 2 o más compartimientos, usando modelos atómicos, moleculares, celulares o de tejidos (1). Durante los últimos 60 años, los modelos moleculares de dos componentes desarrollados por Brozek et al. (2) y Siri (3), han sido muy usados para conseguir mediciones de referencia de la composición corporal y para validar las ecuaciones de predicción y los métodos de campo de la composición corporal. Los modelos clásicos de dos componentes dividen la masa corporal en compartimientos de grasa y masa magra corporal (FFB). La masa grasa (FM) consiste en todos los lípidos extraíbles del tejido adiposo y otros tejidos; la FFB incluye al agua, las proteínas y los componentes minerales (3). El modelo de dos componentes de Siri asume que, (a) la densidad de la grasa (.901 g/cc) y de la FFB (1.10 g/cc) son similares en todos los individuos, (b) las densidades y las proporciones relativas de agua, proteínas y componentes minerales en la FFB, son constantes en todos los individuos, y (c) los individuos difieren del cuerpo de "referencia" solo en la cantidad de grasa. Usando estas supuestas proporciones y sus respectivas densidades. Siri desarrollo una fórmula de conversión para estimar al grasa corporal relativa (% BF) a partir de la densidad corporal total (Db): $\%BF = [(4.95/Db) - 4.50] \times 100$. La fórmula de conversión del modelo de dos componentes de Brozek et al. (2) está basada en un cuerpo de referencia, con una Db total especificada y asume ligeras diferencias en los valores de densidad de la grasa (0.88876 g/cc) y la FFB (1.10333 g/cc): $\%BF = [(4.57/Db) - 4.142] \times 100$. Estas dos fórmulas de conversión de la Db total, producen estimaciones de % BF similares (entre 0.5 y 1.0 % BF) en un rango de entre 1.0300 a 1.0900 g/cc.

MÉTODOS DE REFERENCIA DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL: ¿EXISTE UN "PATRON ORO" O "GOLD STANDARD"?

Hay un número de métodos altamente sofisticados, pero caros que pueden ser usados para obtener medidas de referencia de la composición corporal, incluyendo a la tomografía computada, las imágenes por resonancia magnética nuclear, y el análisis de activación neutrónica. Alternativamente, la densitometría, hidrometría y la absorciometría dual por rayos X, son más comúnmente usados en el marco de la investigación para obtener medidas de referencia de la composición corporal. Todos estos métodos están sujetos a errores de medición y tienen suposiciones básicas de que no siempre tienen la verdad. De este modo, ninguno puede ser considerado individualmente como el método "patrón oro" o "gold standard" para las evaluaciones de la composición corporal in vivo.



Figura 1. Un cliente sumergido en el agua durante la medición del peso subacuático usando un sistema con una plataforma de célula de carga.

DENSITOMETRÍA

La densitometría se refiere a la medición de la D_b total y a la estimación de la composición corporal a partir de la D_b . La D_b es el cociente de la masa corporal sobre el volumen corporal (BV), el BV es medido por ambos, el desplazamiento de agua o de aire. Por años, un método de desplazamiento de agua, conocido como hidrodensitometría o pesaje hidrostático, ha sido considerado por algunos expertos como el método "gold standard" o "patrón oro" debido al error técnico relativamente pequeño asociado a la medición exacta de la D_b (0.0015 g/cc. o aproximadamente 0.7 % de % BF) (Fig. 1). Con el objeto de alcanzar este grado de exactitud, la masa corporal total, el peso subacuático, la temperatura corporal, y el volumen residual (RV) deben ser medidos con exactitud (dentro de 0.20 kg para la masa corporal y el peso subacuático, dentro de 0.0005 grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$) para la temperatura corporal, y dentro de 100 ml para el RV). El error técnico estimado asociado con la medición del RV (0.00139 g/cc) es relativamente grande comparado con los otros tres orígenes de error combinados (0.0006 g/cc) (4).

Para propósitos de investigación, el RV debería ser medido, y no predecido (Fig. 2). Las ecuaciones de predicción del RV típicamente tienen errores estándar de estimación que exceden los 500 ml (5). El RV puede ser medido usando métodos de dilución de circuito cerrado con helio, nitrógeno u oxígeno o usando un método de circuito abierto con nitrógeno. Aunque hay buena concordancia entre las mediciones del RV en la tierra y en el agua, el RV debería ser medido preferentemente en el tanque simultáneamente con el peso subacuático, en vez de afuera del tanque antes del pesaje subacuático. La medición simultánea del RV en el tanque conduce a estimaciones de la D_b más válidas y consume menos tiempo y es más fácil de realizar por el cliente (4).



Figura 2. Medición del volumen residual.

El pesaje hidrostático requiere considerable cooperación del sujeto dado los múltiples intentos que necesitan ser realizados con el objeto de obtener una estimación exacta del peso subacuático. Aunque algunos investigadores han establecido criterios de selección basados en 10 intentos de pesaje subacuático (6, 7), generalmente, la mayoría de los clientes van a alcanzar un peso subacuático estable en 4 o 5 intentos. Bonge y Donnelly (8) recomiendan usar el promedio de tres intentos, que hallan dado valores dentro de 100 g, para representar el peso subacuático del cliente. Este método puede ser apropiado especialmente para los clientes que no tienen la capacidad de realizar 10 intentos.

Las personas ancianas, los niños, las personas limitadas físicamente e individuos con ciertas enfermedades, pueden no ser capaces de cumplir con los procedimientos estandarizados de pesaje hidrostático. Como una alternativa, el volumen corporal y la Db pueden ser medidos por medio de una pletismografía por desplazamiento de aire (Fig. 3). Las investigaciones demuestran que el Bod Pod™, un pletismografo por desplazamiento de aire, probó estimaciones de la Db y % BF confiables y válidas, comparadas con el pesaje hidrostático en adultos (9). La confiabilidad test-retest Bod Pod™ en un mismo día, fue ligeramente mejor que la de la hidrodensitometría (CV = 1.7 % y 2.3 % para el Bod Pod™ y la hidrodensotometría, respectivamente). En promedio hubo un 0.3 % de diferencias en la BF, entre la grasa corporal estimada a partir de estos dos métodos. Sin embargo, estudios recientes reportaron que el Bod Pod™ sobrestima sistemáticamente el % de BF promedio (en aproximadamente 2 % de BF en promedio) de los hombres negros (10) y subestima el % de BF promedio (en aproximadamente 2 % de BF) de jugadores de fútbol universitarios de División I (11). Así, actualmente, puede ser prematuro recomendar el reemplazo de la hidrodensitometría por la pletismografía por desplazamiento de aire, cuando se evalúa la Db en el marco de la investigación. Están garantizadas investigaciones adicionales documentando la validez de estos dispositivos para individuos de diversos grupos de la población.



Figura 3. Un cliente en un Bod Pod™, al cual le esta siendo medida la densidad corporal por medio de la pletismografía por desplazamiento de aire.

Indiferentemente del método usado para medir la Db, un origen potencial de error de medición para estos dos métodos es la fórmula de conversión usada para estimar el % BF a partir de la Db. Las investigaciones demuestran que las suposiciones subyacentes al uso de los modelos clásicos de dos componentes, desarrollados por Siri y Brozek et al., no pueden ser usados en muchos grupos de individuos. Por ejemplo, la densidad de la FFB puede variar del valor asumido (1.10 g/cc.) debido a la edad, el sexo, el nivel de grasa corporal, la actividad física, y la etnia (12-14). Además, estos modelos no son apropiados para evaluar la composición corporal de individuos con enfermedades que alteran las proporciones relativas de agua (por ejem., malnutrición, obesidad), de proteínas (por ejem., cáncer y SIDA), y de minerales (por ejem., osteoporosis) de la FFB. Aunque los métodos densitométricos producen una medición exacta de la Db, Lohman (13) especula que la variabilidad en la composición de la FFB podría inducir a un error en el % BF de 2.8 %, cuando se estima la grasa corporal relativa a partir de la Db en una población homogénea (similar en edad, sexo y etnia). Por estas limitaciones, ni la hidrodensitometría, ni la platismografía por desplazamiento de aire pueden ser consideradas como métodos "gold standard" o "patrón oro" para evaluar la composición corporal.

HIDROMETRÍA

La hidrometría, o la medición del agua corporal total (TBW), es también limitada cuando es usada sola, para derivar mediciones de referencia de la composición corporal. Con este método, es medida la concentración de isótopos del hidrógeno (deuterio y tritio) en fluidos biológicos (saliva, plasma y orina) después de la equilibración, y la medición es usada para estimar el TBW (15). Este método asume que la distribución e intercambio de isótopos en el cuerpo son similares a la distribución e intercambio de agua. Sin embargo, debido al intercambio en el cuerpo de isótopos, con hidrógeno no acuoso, el TBW puede ser sobreestimada en un 1 a 5 % (16). Usando este método en conjunción con el modelo molecular de 2 componentes para obtener estimaciones de la FFM, es asumido que la hidratación de la FFM es consistente en todos los individuos (~ 73% of FFM). Debido a que el TBW fluctúa mucho dentro y entre individuos dependiendo de la edad, el sexo, el nivel de obesidad, y por enfermedad, pueden resultar grandes errores cuando la hidrometría es usada con el modelo de 2 componentes para derivar mediciones de referencia de la composición corporal. Siri (3) estimó que la variabilidad biológica (2%) en la hidratación de la FFB, podría producir un error substancial en la estimación de la grasa corporal (2.7 %) para la población general.

ABSORCIOMETRÍA DUAL POR RAYOS X

La Absorciometría Dual por Rayos X (DXA) constituye una tecnología nueva que está ganando reconocimiento como un método de referencia para la investigación de la composición corporal. Este método está basado en el modelo de 3 compartimientos que divide al cuerpo en mineral corporal total, masa magra y masa grasa. La precisión del DXA para medir el % BF, es estimado en un BF de 1.2 % (17 - 19). El DXA es altamente confiable, y hay un buen consenso (diferencias en el % de BF de ~ 0.4 %) entre estimaciones de % BF obtenidas por medio de hidrodensitometría (Db ajustada para el mineral corporal total relativo y el TBW) y DXA (20 - 22). Además para obtener estimaciones de las masas relativas de tejidos grasos y magros, el DXA provee mediciones segmentarias y regionales de la composición corporal. El DXA es una alternativa atractiva a la hidrodensitometría, como un método de referencia, debido a que es rápida (una exploración de todo el cuerpo toma 20 minutos), segura, requiere una mínima cooperación de los sujetos, y más importante, tiene en cuenta la variabilidad interindividuo en el contenido de mineral óseo. Además, las estimaciones de la composición corporal por el DXA, parecen ser menos afectadas por fluctuaciones en el TBW en comparación con la hidrodensitometría y la hidrometría. Kohrt (23) estimó que una diferencia de 5 % en la hidratación de la FFB (78 vs. 73 %) podría producir un error de menos de 0.5 kg en la grasa y FFM, sugiriendo que el estado de hidratación tiene un efecto relativamente pequeño en las estimaciones de tejidos blandos obtenidas por DXA.

Sin embargo, Lohman (18) señaló que el espesor antero-posterior del cliente y las variaciones en la distribución de la grasa pueden afectar la exactitud de las estimaciones del DXA de los tejidos blandos. También es imperativa la estandarización de la tecnología del DXA, antes de que pueda ser universalmente aceptado como un método de referencia para la evaluación de la composición corporal. Las estimaciones de la masa magra del DXA, dependen del fabricante (Hologic vs. Norland vs. Lunar), el modo de recolección de datos, y la versión del software usado para analizar los datos (18). Así, es un poco difícil establecer la validez del DXA para las evaluaciones de la composición corporal en comparación con otros métodos de referencia (Por ejem., hidrodensitometría y modelos multicomponentes). No obstante, los investigadores están empezando a usar el DXA para desarrollar y validar métodos de campo de composición corporal, y ecuaciones de predicción (24-26).



Figura 4: Un cliente siendo explorado usando absorciometría dual por rayos X (DXA).

En el futuro, es altamente probable que sean desarrollados y validados métodos de composición corporal adicionales y ecuaciones de predicción, usando DXA como método de referencia, especialmente en subgrupos de poblaciones para las cuales la hidrodensitometría no es viable (Por ejem., lesionados en la médula espinal y ancianos). Sin embargo, son necesarias investigaciones y estandarizaciones de esta tecnología, adicionales, antes de que el DXA pueda ser firmemente establecido como el método de referencia “gold standard” o “patrón oro” (18, 23, 27).

Recomendaciones

Debido a que cada uno de estos tres métodos de referencia (densitometría, hidrometría y DXA) producen estimaciones indirectas de la composición corporal, ninguno puede ser señalado como el “gold standard” o “patrón oro”, para las evaluaciones de la composición corporal in vivo. De hecho, muchos investigadores han obtenido mediciones de referencia más válidas de la composición corporal, usando variables obtenidas de los tres métodos. Existen propuestas de modelos multicomponentes que ajustan la Db a partir de la densitometría por variaciones en el TBW (medida por hidrometría) y los minerales corporales totales (medidos con las estimaciones de mineral óseo del DXA). Estos modelos (13, 28) tienen en cuenta la variabilidad interindividual en la hidratación y/o el contenido mineral de la FFB; de este modo, pueden ser obtenidas estimaciones de la composición corporal más exactas comparadas con el uso de cualquiera de estos métodos individualmente. Así, para propósitos de investigación, es recomendado que los tres métodos sean usados en conjunción con un modelo multicomponentes, con el objeto de derivar mediciones de referencia válidas del % BF, FM y FFM.

MÉTODOS DE CAMPO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

Los tres métodos frecuentemente usados por los fisiólogos del ejercicio para evaluar la composición corporal de los individuos en el marco del campo y la clínica, son el análisis de impedancia bioeléctrica, los pliegues cutáneos y la antropometría. Dado la opción de métodos y numerosas ecuaciones de predicción publicadas en la literatura, es frecuentemente difícil para el clínico seleccionar un método o ecuación de predicción apropiado para evaluar exactamente la composición corporal de cada cliente. Así, la validez del método de campo de composición corporal y la exactitud de predicción de las ecuaciones necesitan ser cuidadosamente evaluadas. El valor relativo de las ecuaciones de predicción es establecido por los investigadores comparando valores predichos con mediciones de referencia de la composición corporal. En general, las buenas ecuaciones de predicción tienen varias características en común: (a) usan métodos de referencia aceptables para obtener mediciones de criterio de la composición corporal, (b) usan muestra grandes ($n > 100$), y seleccionadas al azar, (c) alta correlación entre la medición de referencia y los valores predichos ($r_{yy} > .80$), (d) error de predicción o error estándar de estimación pequeño (Tabla 1), y (e) validación de la ecuación con muestras de la población adicionales e independientes.

La exactitud de predicción de los métodos y las ecuaciones de campo, son limitados por la ausencia de un solo método “gold standard” o “patrón oro” para obtener medidas de referencia de la composición corporal in vivo. Aunque la densitometría, la hidrometría y la absorciometría dual por rayos X, son frecuentemente usadas como métodos de referencia, estos métodos proveen solo una medida indirecta de la composición corporal y de este modo, están sujetos a errores de medición. El 50 % del error de predicción de las ecuaciones para métodos de campo de la composición corporal, puede ser atribuido a errores del método de referencia. Pocos estudios han usado todos estos métodos juntos y modelos multicomponentes para derivar medidas de referencia para el desarrollo y la validación de ecuaciones para métodos de campo.

SEE %BF	SEE Db (g/cc)	SEE FFM (kg)		Estimación Subjetiva
Hombres y Mujeres	Hombres y Mujeres	Hombres	Mujeres	
2.0	0.0045	2.0-2.5	1.5-1.8	Ideal
2.5	0.0055	2.5	1.8	Excelente
3.0	0.0070	3.0	2.3	Muy Bueno
3.5	0.0080	3.5	2.8	Bueno
4.0	0.0090	4.0	3.2	Bastante Good
4.5	0.0100	4.5	3.6	Regular
5.0	0.0110	>4.5	>4.0	Pobre

Así, muchas ecuaciones están limitadas ya que proveen solo una estimación de un modelo de 2 componentes de la composición corporal. Para seleccionar los métodos y las ecuaciones de predicción más apropiados, necesitan ser considerados factores como la edad, el sexo, la actividad física, el nivel de grasa corporal, y la etnia. Es importante cerciorarse que estas características físicas de su cliente sean similares a aquellas de la muestra de validación utilizada para desarrollar o cross-validar una ecuación de predicción específica.

ANÁLISIS DE IMPEDANCIA BIOELÉCTRICA

El análisis de impedancia bioeléctrica (BIA) es un método rápido, no invasivo y relativamente barato de evaluación de la composición corporal en el marco del campo y la clínica. Con este método, la impedancia u oposición al flujo de corriente a través del cuerpo entero es medido con un analizador de bioimpedancia de una sola frecuencia (Por ejem., RJL (Detroit, MI); Valhalla Scientific (San Diego, CA); Biodynamics (Seattle, WA)] (Figura 5). El TBW individual es estimada a partir de las mediciones de impedancia. La resistencia al flujo de corriente va a ser mayor en individuos con grandes cantidades de grasa corporal, dado que el tejido adiposo es un pobre conductor de la corriente eléctrica debido a su relativamente bajo contenido de agua. Debido a que el contenido de agua de la FFM es relativamente grande (~73%), la masa magra puede ser estimada a partir del TBW. Los individuos con una gran cantidad de FFM y TBW tienen menos resistencia al flujo de corriente a través de sus cuerpos en comparación con aquellos individuos con menos masa magra. Para obtener información más detallada acerca de este tema, ver Kushner (29) y Baumgartner (30).



Figura. 5: Un cliente siendo medido por medio de la impedancia bioeléctrica de todo el cuerpo (BIA).

En la Tabla 2 son presentadas las ecuaciones de BIA para todo el cuerpo más comúnmente usadas. Estas ecuaciones (31, 32) proveen una estimación de la FFM con un modelo de 2 componentes, para hombres y mujeres de diversos grupos étnicos (Indígenas Americanos, Negros, Hispanos y Blancos). Estas ecuaciones aplicadas a niños (13, 33) fueron basadas en estimaciones de la FFM por modelos de 3 componentes, con la DB ajustada para el TBW. En promedio, estas ecuaciones van a estimar la FFM exactamente, dentro de $\pm 2,8$ kg en la mujer, $\pm 3,5$ kg en el hombre, y $\pm 2,1$ kg en los niños.

Con el objeto de asegurar la exactitud de predicción de estas ecuaciones, los clientes deben respetar las Guías de Evaluación del BIA (Tabla 3). Además, deben ser seguidos procesos de evaluación estandarizados. Aunque, la exactitud de predicción relativa del método BIA puede ser preferible por las siguientes razones: (a) el método no requiere un alto grado de habilidad técnica, (b) el método es más comfortable y menos invasivo para el cliente, y (c) este método puede ser usado

para estimar la composición corporal de individuos obesos (31).

Recientemente, han sido comercializados analizadores de bioimpedancia segmentarios, los cuales son más baratos. El analizador Tanita™ mide diferencias de resistencias corporales entre las piernas derecha e izquierda, mientras el individuo esta parado sobre la placa de los electrodos del analizador (Figura 6). El analizador OMRON™ se sostiene en las manos (las placas de los electrodos están en la empuñadura), mide la impedancia del tren superior entre los brazos derecho e izquierdo (Figura 7). Actualmente, hay limitadas investigaciones dirigidas a establecer la validez y aplicabilidad de estos métodos y de sus ecuaciones de predicción para diversos subgrupos de población.

Etnia	Sexo	% De Nivel de BF (Edad)	Ecuación	Referencia
Indigenas Americanos, Negros, Hispanos o Blancos	Hombres ^a	<20 %BF (17-62 yr)	$FFM (kg) = 0.00066360(HT^2) - 0.02117(R) + 0.62854(BW) - 0.12380(EDAD) + 9.33285$	(31)
		≥20 %BF (17-62 yr)	$FFM (kg) = 0.00088580(HT^2) - 0.02999(R) + 0.42688(BW) - 0.07002(EDAD) + 14.52435$	(31)
Indigenas Americanos, Negros, Hispanos o Blancos	Mujeres ^a	<30 %BF (17-62 yr)	$FFM (kg) = 0.000646 (HT^2) - 0.014 (R) + 0.421 (BW) + 10.4$	(31)
		≥30% BF (17-62 yr)	$FFM (kg) = 0.00091186 (HT^2) - 0.01466 (R) + 0.29990 (BW) - 0.07012 (Edad) + 9.37938$	(31)
Blancos	Niños, Niñas	8-15 yr	$FFM (kg) = 0.62 (HT^2/R) + 0.21 (BW) + 0.10 (Xc) + 4.2$	(13)
	Niños, Niñas	10-19 yr	$FFM (kg) = 0.61 (HT^2/R) + 0.25 (BW) + 1.31$	(33)

Tabla 2. Ecuaciones de predicción seleccionadas para BIA. a Para clientes que son obviamente magros usar las ecuaciones de < 20% BF (hombres) y <30% BF (mujeres); Para clientes que son obviamente obesos usar las ecuaciones ≥20% BF (hombres) y ≥30% BF (mujeres) ; Para clientes que no son obviamente magros u obesos, calcular su FFM usando ambas, las ecuaciones para magros y obesos, y luego promediar las dos estimaciones de la FFM (Stolarczyk et al. 32).

No comer ni beber 4 horas antes de la evaluación.
No realizar ejercicio las 12 horas previas a la evaluación.
Orinar 30 minutos antes de la evaluación.
No consumir alcohol 48 horas antes de la evaluación.
No tomar diuréticos 7 días antes de la evaluación
No evaluar mujeres que perciban que están reteniendo agua durante el estadio de su ciclo menstrual

Tabla 3. Guía BIA para los clientes.



Figura 6. Un cliente siendo medido por medio de BIA usando el analizador Tanita™.



Figura 7. Un cliente siendo medido por medio de BIA usando el analizador OMRON™.

MÉTODO DE PLIEGUES CUTÁNEOS

El método de pliegues cutáneos (SKF) es una medición indirecta del grosor del tejido adiposo subcutáneo en un sitio específico (Figura 8). La mayoría de las ecuaciones para SKF usan dos o más mediciones de pliegues cutáneos para predecir ambas, Db o % de BF. Para una descripción detallada sobre los sitios de SKF y técnicas de medición, ver Harrison (34). La exactitud y precisión de las mediciones de SKF, depende enormemente de la habilidad técnica, tipo de calibre de SKF, y factores de los clientes. Toma una gran cantidad de tiempo y práctica desarrollar la habilidad de un técnico de SKF, y los procedimientos estandarizados deben ser cuidadosamente seguidos (34). Los calibres de plástico tienen menos precisión de escala (~2 mm), comparados con los calibres de metal de alta calidad (Por ejem., los calibres Lange o Harpenden), además los primeros no ejercen una tensión constante a través de todo el rango de medición, tienen una escala de medición pequeña (~40 mm), y tienen menos consistencia cuando son usados por técnicos de SKF inexpertos.



Figura 8. Medición del pliegue tricaptal.

Generalmente, los pliegues cutáneos no deberían ser medidos inmediatamente después del ejercicio, debido a la posible acumulación de fluido extracelular (edema) en el tejido subcutáneo. También, el método de SKF no es recomendado para evaluar la composición corporal de individuos obesos. Frecuentemente, el grosor del pliegue cutáneo de un individuo obeso excede la apertura máxima del calibre. Aún los técnicos de SKF, con una alta habilidad tienen dificultad midiendo el grosor de los pliegues cutáneos de clientes obesos. El método de SKF puede ser usado para estimar la composición corporal de los niños (Blancos y Negros) y de adultos (36, 37) de diversos grupos étnicos (Negros, Hispanos y Blancos), así como de atletas hombres y mujeres (Tabla 4). En promedio, estas ecuaciones van a predecir exactamente la Db, dentro de +/- .0080 g/cc y las estimaciones por un modelo de 2 componentes del % BF dentro de +/-3.5 % BF. Cuando sea posible, hay que usar fórmulas de conversión específicas de la población para convertir la Db en % de BF (Tabla 5). Las ecuaciones de pliegues cutáneos para niños, estiman el % BF directamente, en vez de la Db. Estas ecuaciones fueron desarrolladas usando un modelo de composición corporal multicomponentes que incluyó mediciones de Db, TBW y densidad mineral (38).

Sitios de SKF	Grupos	Sexo	Edad*	Ecuación	Ref.
ΣSKF (C + A + Th + Tr + Sub + Sup + MA)	Blancos o Hispanos	Mujeres	18-55	$Db (g/cc)^a = 1.0970 - 0.00046971(\Sigma 7SKF) + 0.00000056(\Sigma 7SKF)^2 - 0.00012828(Edad)$	(37)
	Blancos o Atletas	Hombres	18-61	$Db (g/cc)^a = 1.1120 - 0.00043499(\Sigma 7SKF) + 0.00000055(\Sigma 7SKF)^2 - 0.0002882(EDAD)$	(36)
Σ4SKF (Tr + SupA+ A + Th)	Atletas	Mujeres	18-29	$Db (g/cc)^a = 1.096095 - 0.0006952(\Sigma 4SKF) - 0.0000011(\Sigma 4SKF)^2 + 0.0000714(EDAD)$	(37)
Σ3SKF (Tr + Sup + Th)	Blancos o Anoréxicos	Mujeres	18-55	$Db (g/cc)^a = 1.0994921 - 0.0009929(\Sigma 3SKF) + 0.0000023(\Sigma 3SKF)^2 - 0.0001392(EDAD)$	(37)
(C + A + Th)	Blancos	Hombres	18-61	$Db (g/cc)^a = 1.109380 - 0.0008267(\Sigma 3SKF) + 0.0000016(\Sigma 3SKF)^2 - 0.0002574(EDAD)$	(36)
ΣSKF (Tr + Ca)	Blancos o Negros	Niños	6-17	$\%BF = 0.735(\Sigma SKF) + 1.0$	(38)
	Blancos o Negros	Niñas	6-17	$\%BF = 0.610(\Sigma SKF) + 5.1$	(38)

Tabla 4. Ecuaciones de predicción de pliegues cutáneos. ΣSKF = suma de pliegues cutáneos (mm); A = abdomen, C = pecho, Ca = pantorrilla, MA = axilar medial, Sub = subscapular, Sup = suprailíaco. Sup A = suprailíaco anterior, Th = muslo, Tr = tríceps ; *Edad en años ; ^aUso de fórmulas específicas de la población para calcular el % BF a partir de la Db.

ANTROPOMETRÍA

La Antropometría se refiere a la medición del tamaño y las proporciones del cuerpo humano (Figura 9). Las ecuaciones antropométricas de predicción estiman la DB, % BF o FFM, a partir de combinaciones de la masa corporal, talla parada, diámetros esqueléticos, y mediciones de circunferencias. En comparación con las mediciones de SKF, esta técnica antropométrica es relativamente simple, barata y requiere menos habilidad y entrenamiento. La exactitud y precisión de la medición antropométrica, sin embargo, están afectadas por la habilidad técnica y por factores de los clientes. La habilidad técnica no es un problema, si son seguidos de cerca los procedimientos estandarizados para la localización de los sitios de medición, el posicionamiento del antropómetro y la cinta de medición y la aplicación de tensión durante la medición (39). La variabilidad entre técnicos es relativamente pequeña (0.2 a 1.0 cm) para las mediciones de circunferencia. Aunque los técnicos expertos pueden obtener valores similares cuando miden las circunferencias de clientes obesos, es más difícil obtener mediciones consistentes en individuos obesos que en los magros (40). Sin embargo, las circunferencias son preferibles a los pliegues cutáneos cuando se miden clientes obesos, por las siguientes razones: (a) sin tener en cuenta el tamaño, las circunferencias de los individuos obesos pueden ser medidas, mientras que el grosor de los pliegues cutáneos puede exceder la apertura máxima del calibre, y (b) las circunferencias requieren menos habilidad técnica, y la diferencia entre técnicos es menor comparada a las mediciones de pliegues cutáneos.

Población	Edad	Sexo	% BF	FFB₁ (g/cc)*
<i>Etnia</i>				
Indígena Americano	18-60	Mujeres	(4.81) / Db - 4.34	1.108
Negro	19-45	Hombres	(4.86) / Db - 4.39	1.106
	24-79	Mujeres	(4.85) / Db - 4.39	1.106
Hispano	20-40	Mujeres	(4.87) / Db - 4.41	1.105
Japones Nativo	18-48	Hombres	(4.97) / Db - 4.52	1.099
		Mujeres	(4.76) / Db - 4.28	1.111
	61-78	Hombres	(4.87) / Db - 4.41	1.105
		Mujeres	(4.95) / Db - 4.50	1.100
Blanco	7-12	Hombres	(5.30) / Db - 4.89	1.084
		Mujeres	(5.35) / Db - 4.95	1.082
	13-16	Hombres	(5.07) / Db - 4.64	1.094
		Mujeres	(5.10) / Db - 4.66	1.093
	17-19	Hombres	(4.99) / Db - 4.55	1.098
		Mujeres	(5.05) / Db - 4.62	1.095
20-80	Hombres	(4.95) / Db - 4.50	1.100	
	Mujeres	(5.01) / Db - 4.57	1.097	
Niveles de Grasa Corporal				
Anoréxicos	15-30	Mujeres	(5.26) / Db - 4.83	1.087
Obesos	17-62	Mujeres	(5.00) / Db - 4.56	1.098

Tabla 5. Fórmulas específicas de poblaciones para la conversión de la Db en % de BF.



Figura 9. Medición de una circunferencia del cuerpo.

Las ecuaciones antropométricas presentadas en la Tabla 6 pueden ser usadas para predecir la Db de mujeres (41) y estimaciones del % BF por un modelo de dos componentes para mujeres (42) y hombres (43) obesos.

Etnia	Sexo	Edad *	Ecuación	Referencia
Blancos	Mujeres	15-79	$Db (g/cc)^a = 1.168297 - 0.002824 (Abdom C^b) + 0.0000122098 (Abdom C^b)^2 - 0.000733128(HIP C) + 0.000510477(HT) - 0.000216161(EDAD)$	(41)
Blancos	Mujeres Obesas	20-60	$\% BF = 0.11077 (Abdom C^b) - 0.17666 (HT) + 0.14354 (BW) + 51.033$	(42)
	Hombres Obesos	24-68	$\% BF = 0.31457 (Abdom C^b) - 0.10969 (BW) + 10.834$	(43)

Tabla 6. Ecuaciones Antropométricas de Predicción. *Edad en años ; ^auso de fórmulas específicas de la población para calcular el % BF a partir de la Db.; ^babdomen C (cm) es la circunferencia abdominal promedio medida en dos sitios: (1) a mitad de camino entre el proceso xifoideo del esternón y el ombligo y lateralmente entre la parte mas baja de la caja torácica y la cresta ilíaca y (2) al nivel del ombligo. En general, estas ecuaciones estiman la composición corporal con un razonablemente buen grado de exactitud (~3.0 a 3.6% BF).

Recomendaciones

Es importante reconocer que la mayoría de los métodos de campo proveen solo una estimación de un modelo de 2 componentes de la composición corporal. Por esta limitación, los siguientes métodos son recomendados para evaluar la composición corporal de varios subgrupos de poblaciones (ver las tablas para las ecuaciones específicas):

1. El método de bioimpedancia de todo el cuerpo puede ser usado para evaluar la FFM de los adultos (Indígenas Americanos, Negros, Hispanos y Blancos) y niños (Negros y Blancos).
2. El método de pliegues cutáneos puede ser usado para evaluar la Db de adultos no obesos (Blancos, Hispanos y Blancos) y atletas (Hombres y Mujeres) así como el % BF de niños (Blancos y Negros).
3. El método de pliegues cutáneos no debería ser usado para evaluar la composición corporal de individuos obesos.

4. Las ecuaciones antropométricas (circunferencias) pueden ser usadas para evaluar el % BF de hombres y mujeres obesos.

Dirección para correspondencia: Dr. Vivian H. Heyward, Ph.D., Johnson Center, University of New Mexico, Albuquerque, NM 87131; Phone: 505-277-2658; Fax: 505-277-9742; Email: vheyward@unm.edu

REFERENCIAS

1. Wang J, Pierson RN, Heymsfield SB (1992). The five level model: a new approach to organizing body composition research. *Am J Clin Nutr*; 56: 19-28
2. Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A (1963). Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann NY Acad Sci*; 113-40
3. Siri WE (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. In: Brozek J, Henschel A, editors. *Techniques for measuring body composition*. Washington, DC: National Academy of Sciences, 223-44
4. Going SB. Densitometry. In Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (1996). *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics, 3-24
5. Morrow JR, Jackson AS, Bradley PW, Hartung GH (1986). Accuracy of measured and predicted residual lung volume on body density measurement. *Med Sci Sports Exerc*; 18: 647-52
6. Katch FI, Katch VL (1980). Measurement and prediction errors in body composition assessment and the search for the perfect equation. *Res Q Exerc Sport*; 51: 249-60
7. Behnke AR, Wilmore JH (1974). Evaluation and regulation of body build and composition. *Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall*
8. Bonge D, Donnelly JE (1989). Trials to criteria for hydrostatic weighing at residual volume. *Res Q Exerc Sport*; 60: 176-79
9. McCrory MA, Gomez TD, Bernauer EM, Mole PA (1995). Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc*; 27: 1686-91
10. Wagner, DR, Heyward VH, Gibson AL (2000). Validation of air displacement plethysmography for assessing body composition. *Med Sci Sports Exerc*; 32:1339-1344
11. Collins MA, Millard-Stafford ML, Sparling PB, Snow TK, Roskopf LB, Webb SA, et al (1999). Evaluation of the Bod Pod for assessing body fat in collegiate football players. *Med Sci Sports Exerc*; 31: 1350-56
12. Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lichtman S, Wang J, Pierson RN (1991). Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr*; 53: 1345-53
13. Lohman TG (1992). Advances in body composition assessment. *Current issues in exercise science series (monograph 3)*. Champaign, IL: Human Kinetics
14. Williams DF, Going SB, Massett MP, Lohman TG, Bare LA, Hewitt MJ (1992). Aqueous and mineral fractions of the fat-free body and their relation to body fat estimates in men and women aged 49-82 years. In Ellis KJ, Eastman JD, editors. *Human body composition: in vivo methods, models, and assessment*. New York, NY: Plenum, 109-13
15. Schoeller DA, Kushner RF, Taylor P, Dietz WH, Bandini L (1985). Measurement of total body water: isotope dilution techniques. *Report of the sixth Ross conference on medical research*. Columbus, OH: Ross Laboratories
16. Lukaski HC (1987). Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr*; 46: 537-56
17. Hansen NJ, Lohman TG, Going SB, Hall MC, Pamerter RW, Bare LA, et al (1993). Prediction of body composition in premenopausal females from dual-energy x-ray absorptiometry. *J Appl Physiol*; 75: 1637-41
18. Lohman TG (1996). Dual energy x-ray absorptiometry. In Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, editors. *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics, 63-75
19. Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hanso, J (1990). Dual-energy x-ray absorptiometry for total-body and regional bone-mineral and soft-tissue composition. *Am J Clin Nutr*; 51: 1106-12
20. Going SB, Massett MP, Hall MC, Bare LA, Root PA, Williams DP, et al (1993). Detection of small changes in body composition by dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr*; 57: 845-50
21. Friedl KE, DeLuca JP, Marchitelli LJ, Vogel JA (1992). Reliability of body-fat estimations from a four-compartment model by using density, body water, and bone mineral measurements. *Am J Clin Nutr*; 55: 764-70
22. Prior BM, Cureton KJ, Modlesky CM, Evans EM, Sloniger MA, Saunders M, et al (1997). In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy x-ray absorptiometry. *J Appl Physiol*; 83: 623-30
23. Kohrt WM (1995). Body composition by DXA: tried and true?. *Med Sci Sports Exerc*; 27: 1349-53
24. Hart PD, Wilkie ME, Edwards A, Cunningham J (1993). Dual energy x-ray absorptiometry versus skinfold measurements in the assessment of total body fat in renal transplant recipients. *Eur J Clin Nutr*; 47: 347-52
25. Wang J, Thornton JC, Russell M, Burastero S, Heymsfield S, Pierson RN (1994). Asians have lower body mass index (BMI) but higher percent body fat than do whites: comparison of anthropometric measurements. *Am J Clin Nutr*; 60: 23-28
26. Wang J, Thornton JC, Burastero S, Heymsfield S, Pierson RN (1995). Bioimpedance analysis for estimation of total body potassium, total body water, and fat-free mass in white, black, and Asian adults. *Am J Hum Biol*; 7: 33-40
27. Roubenoff R, Kehayias JJ, Dawson-Hughes B, Heymsfield SB (1993). Use of dual-energy x-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a gold standard. *Am J Clin Nutr*; 58: 589-91
28. Heymsfield SB, Wang ZM, Withers RT (1996). Multicomponent molecular level models of body composition analysis. In Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, editors. *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics, 129-47

29. Kushner RF (1992). Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications. *J Am Coll Nutr*; 11: 199-209
30. Baumgartner RN (1996). Electrical impedance and total body electrical conductivity. In Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, editors. *Human body composition. Champaign, IL: Human Kinetics, 79-107*
31. Segal KR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, Van Itallie TB (1988). Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: a four-site cross-validation study. *Am J Clin Nutr*; 47: 7-14
32. Stolarczyk LM, Heyward VH, Van Loan M, Hicks VL, Wilson WL, Reano LM (1997). The Segal fatness-specific bioimpedance equations: are they valid and generalizable?. *Am J Clin Nutr*; 66: 8-17
33. Houtkooper LB, Going SB, Lohman TG, Roche AF, VanLoan M (1992). Bioelectrical impedance estimation of fat-free body mass in children and youth: a cross-validation study. *J Appl Physiol*; 72: 366-73
34. Harrison GG, Buskirk ER, Lindsay Carter JE, Johnston FE, Lohman TG, Pollock ML, et al (1988). Skinfold thicknesses and measurement technique. In Lohman TG, Roche AF, Martorell R, editors. *Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics, 55-70*
35. Lohman TG, Pollock ML, Slaughter MH, Brandon LJ, Boileau RA (1984). Methodological factors and the prediction of body fat in female athletes. *Med Sci Sports Exerc*; 16: 92-96
36. Jackson AS, Pollock ML (1978). Generalized equations for predicting body density in men. *Br J Nutr*; 40: 497-504
37. Jackson AS, Pollock ML, Ward A (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc*; 12: 175-82
38. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, Horswill CA, Stillman RJ, Van Loan M, et al (1988). Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol*; 60: 709-23
39. Callaway CW, Chumlea WC, Bouchard C, Himes JH, Lohman TG, Martin AD, et al (1988). Circumferences. In Lohman TG, Roche AF, Martorell R, editors. *Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics, 39-54*
40. Bray GA, Gray DS (1988). Anthropometric measurements in the obese. In Lohman TG, Roche AF, Martorell R, editors. *Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics, 131-36*
41. Tran ZV, Weltman A (1989). Generalized equation for predicting body density of women from girth measurements. *Med Sci Sports Exerc*; 21: 101-04
42. Weltman A, Levine S, Seip RL, Tran ZV (1988). Accurate assessment of body composition in obese females. *Am J Clin Nutr*; 48: 1179-83
43. Weltman A, Seip RL, Tran ZV (1987). Practical assessment of body composition in obese males. *Hum Biol*; 59: 523-35

Cita Original

Vivian Heyward. ASEP Methods Recommendation: Body Composition Assessment. JEPonline; Vol. 4, Number 4: 1-12, November 2001.