

9. DIAGNOSTICO NUTRICIONAL POR METODOS DE COMPOSICION CORPORAL

Benjamín Torún

La determinación de la composición corporal de una persona permite establecer cuánta masa muscular, grasa, agua o minerales contiene. Esa composición se altera como consecuencia de varias enfermedades y desórdenes fisiológicos y metabólicos, tales como la mala nutrición, inactividad física, deshidratación y diversas anomalías endocrinas y degenerativas.

La medición del peso y la talla permiten evaluar en forma práctica y sencilla el estado nutricional de una persona o una población. Sin embargo, hay muchos casos en los que esto no es suficiente o puede llevar a errores de diagnóstico. Un ejemplo clásico de ello fue la denegación a jugadores de fútbol americano, para servir en grupos élite de la armada estadounidense durante la Segunda Guerra Mundial. Por su elevado peso fueron clasificados como obesos, cuando realmente se trataba de individuos musculosos en óptimas condiciones físicas (1). En contraste con esta situación, hay personas que no tienen tanto sobrepeso como para considerarlas obesas, pero tienen una adiposidad excesiva que eleva el riesgo de que sufran alteraciones metabólicas y de salud.

Además del diagnóstico de la obesidad, las determinaciones de composición corporal permiten valorar la calidad de la masa corporal, ganada durante el crecimiento de un niño o durante el tratamiento de la desnutrición con diversos regímenes terapéuticos, estimar el tipo de tejidos perdidos durante el tratamiento de la obesidad y evaluar el resultado de programas de ejercicio físico y regímenes alimentarios.

Otra aplicación importante de la determinación de la composición corporal es la relación de sus distintos componentes con procesos metabólicos. Por ejemplo, el metabolismo basal está directamente relacionado con la masa tisular activa del organismo, la cual está representada por la masa celular exenta de grasa y minerales óseos. Esto permite interpretar de mejor manera tales procesos metabólicos, identificar algunas alteraciones y evaluar los cambios inducidos por intervenciones dietéticas o farmacológicas.

Componentes del cuerpo humano

En términos químicos, el cuerpo humano está constituido por agua, proteínas, grasas, carbohidratos, minerales y diversos compuestos orgánicos que incluyen ácidos nucleicos, creatina, ácido úrico y otros. Sin embargo, generalmente se le divide en componentes o compartimientos relacionados con la actividad metabólica de las distintas partes del cuerpo. Tales compartimientos son conceptuales y no físicos, pues incluyen diversos tejidos y no hay límites que separen claramente un compartimiento de otro.

El modelo más simple considera al cuerpo dividido en dos compartimientos: grasa y cuerpo libre de grasa. Esos compartimientos también han sido llamados adiposidad y masa magra, respectivamente (1,2). Sin embargo, los términos no son equivalentes, ya que la adiposidad (o tejido adiposo) contiene 2-3% de proteínas y 10-12% de agua, que forman parte del citoplasma de los adipocitos, mientras que el término grasa no incluye agua ni proteínas. Por otra parte, la masa magra contiene cerca de 2% de lípidos que forman parte de las membranas celulares.

Casi todos los métodos actuales para medir la composición corporal con el modelo de dos compartimientos la dividen en grasa y cuerpo libre de grasa. No obstante, algunas personas siguen usando el término masa magra como sinónimo de cuerpo libre de grasa. Esto puede dar origen a confusiones.

Otro modelo divide el cuerpo en tres compartimientos, de acuerdo a sus funciones: tejidos de reserva energética, representados por la grasa que está principalmente bajo la piel y alrededor de las vísceras; tejidos de soporte, constituido por los líquidos extracelulares y los minerales del esqueleto; y masa celular activa, que es el resto de la masa corporal (3). Algunos proponen un modelo de cuatro compartimientos que subdivide los tejidos de soporte y considera: grasa, líquidos extracelulares, minerales óseos y residuo celular o masa tisular activa (4).

El Cuadro 1 muestra el promedio de valores normales para adultos calculados de distintas fuentes (3-7), usando los tres modelos descritos. Existen otros modelos de tres, cuatro y seis compartimientos, basados en la composición química del cuerpo (8). El modelo de elección dependerá de las aplicaciones que se le quieran dar a la composición corporal y a la metodología disponible para evaluarla.

CUADRO 1
COMPOSICIÓN CORPORAL DE ADULTOS SANOS
(% DEL PESO TOTAL)*

	Dos compartimientos		Tres compartimientos			Cuatro compartimientos			
	Grasa	Cuerpo libre de grasa	Reserva energética	Tejidos de soporte	Masa celular activa	Grasa	Líquido extra-celular	Mineral óseo	Residuo celular
Hombres	17	83	17	29	54	17	22	7	54
Mujeres	29	71	29	24	47	29	19	5	47

* Calculados de Moore et al (3), Brozek et al (4), Passmore y Robson (5), Grande y Keys (6), Moore (1)

Métodos de medición

La composición corporal se puede medir usando métodos directos que permiten establecer muchas de sus características químicas. Estas sirven de base para diversos métodos indirectos. Algunos de ellos, a su vez, se basan en inferencias derivadas de relaciones estadísticas con otros métodos indirectos, y se ha propuesto considerarlos como métodos doblemente indirectos (9).

En el Cuadro 2 se enumera los métodos de mayor uso o importancia. A continuación se hará un breve análisis de sus principios, ventajas y limitaciones.

CUADRO 2

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA COMPOSICIÓN CORPORAL

Directos	Indirectos*	Doblemente indirectos*
Análisis químicos	Densitometría	Antropometría
Activación de neutrones	Hidrometría y dilución de marcadores	Conductividad e impedancia eléctrica
	Medición de potasio corporal	Ultrasonido
	Visualización de órganos y tejidos	Interactancia infrarroja
	Absorciometría de energía	Excreción de creatinina y 3-metilhistidina

* De acuerdo a Deurenberg (8).

Métodos directos

Análisis químicos

Entre 1945 y 1956 se analizaron los cadáveres de cinco hombres entre 25 y 60 años de edad, y de una mujer de 42 años (10-13). Este número tan reducido, que se hace aún menor por el hecho de que no todos los cadáveres analizados eran de personas sanas, carece de representatividad universal en términos étnicos y de edad. Complejidades éticas, legales y técnicas no han permitido estudiar más cadáveres. Sin embargo, de estos estudios y del análisis químico de tejidos obtenidos quirúrgicamente se ha asumido que, en promedio, el cuerpo libre de grasa contiene 73,2% de agua, 20% de proteínas y 6,8% de minerales (14-17).

Activación de neutrones

Este método permite determinar *in vivo* el contenido corporal de algunos elementos químicos. Se basa en el bombardeo del cuerpo con neutrones de energía conocida. Estos neutrones son capturados por elementos químicos en el cuerpo.

pasando a un nivel más alto de energía que se manifiesta por la emisión de rayos gama (18). De acuerdo con la fuente de neutrones y la radiación emitida, se puede determinar el contenido de calcio, fósforo, sodio, cloruros, nitrógeno, cadmio y carbono en el cuerpo, y a partir de ellos se pueden hacer estimaciones del contenido de masa ósea, proteínas y grasa (19-21).

Este método puede ser de gran importancia para evaluar *in vivo* la veracidad de los resultados de análisis químicos en cadáveres y para validar algunos métodos indirectos. Sin embargo, es sumamente costoso y requiere de instalaciones especiales que sólo existen en pocos países. Además, expone a los sujetos experimentales a la radiación emanada de los radionucleidos que algunos sistemas usan como fuente de neutrones.

Métodos indirectos

Estos métodos estiman la composición corporal en cuanto a ciertos principios físicos y algunas suposiciones o postulados derivados de los métodos directos.

Densitometría

Si se considera que el cuerpo humano está formado por dos componentes con densidad conocida, al determinar la densidad del cuerpo total se puede calcular la cantidad de sus componentes. Esto se basa en un principio postulado por Arquímedes: la cantidad de un objeto, dividida entre su densidad, es igual a la suma de las cantidades de sus componentes, divididas entre sus respectivas densidades. Si consideramos que el 100% del cuerpo humano contiene x% de grasa y el resto (o sea, $100 - x\%$) es cuerpo libre de grasa (CLG), entonces:

$$100/\text{densidad corporal} = (x / \text{densidad grasa}) + [(100 - x) / \text{densidad CLG}] \quad [1]$$

Si se conoce la densidad del cuerpo, grasa y CLG se puede resolver la ecuación [1] para calcular x, que es el % de grasa; restándolo de 100, se obtiene el % de CLG.

A partir de análisis químicos de cadáveres y de materiales obtenidos por biopsia y cirugía se ha estimado que a una temperatura de 37°C la grasa del adulto tiene una densidad de 0.900 (22) y su cuerpo libre de grasa tiene, una densidad de 1.100 (23). Incluyendo esos valores en la ecuación [1] y resolviéndola para calcular x, se obtiene:

$$x = (495/\text{densidad corporal}) - 450 \quad [2]$$

donde x = % de grasa corporal.

La ecuación [2] se puede modificar para aplicarla a niños y otras personas cuyo CLG tiene una densidad que difiere del adulto promedio (6.24-26).

Como la densidad corporal es igual al peso dividido entre el volumen corporal, para calcular y resolver la ecuación [2] se mide el volumen corporal pesando a una persona bajo el agua y aplicando otro postulado de Arquímedes, que estipula que cuando un objeto se sumerge desplaza un volumen de agua igual al volumen del cuerpo sumergido. En vez de medir directamente el volumen de agua desplazada, se puede pesar a una persona en seco y sumergida; la diferencia de peso es igual al peso del agua desplazada y, conociendo la densidad del agua, se calcula su volumen. A este volumen se debe restar los volúmenes de aire en el tracto respiratorio y el tracto digestivo (1, 17, 27). Es importante medir el volumen residual pulmonar cuando la persona aún está sumergida en el agua para reducir una de las fuentes de error. Generalmente se asume que el volumen de aire en el tracto digestivo es 100 ml en adultos y 2 ml/kg en niños.

Este método da resultados muy reproducibles, con errores menores de 3% en la estimación de grasa (17). Estos errores se pueden reducir, aplicando factores adecuados a personas cuyo cuerpo libre de grasa tiene una densidad distinta a 1,100, como sucede en el caso de niños, mujeres embarazadas, ancianos, personas obesas o sumamente musculosas, y pacientes desnutridos (6, 24-26).

Por su reproducibilidad y precisión, la densitometría generalmente se considera como el método de referencia para otros métodos indirectos de medir la composición corporal. Sus principales inconvenientes son que requiere de equipo e instalaciones especiales, y de buena cooperación por parte de las personas a quienes se mide el volumen corporal. Esto último limita las mediciones densitométricas por peso sumergido en niños menores de siete años, ancianos, personas enfermas, debilitadas o muy aprensivas.

Hidrometría y dilución de marcadores

Cuando a una persona se le administra una cantidad conocida de una sustancia o marcador, y ésta se diluye en un compartimiento corporal de volumen desconocido, ese volumen se puede calcular a partir de la concentración final del marcador (C_f) cuando la dilución ya se ha estabilizado. Esto sigue el principio físico de:

$$C_i \times V_i = C_f \times V_f \text{ ó } V_f = (C_i \times V_i) / C_f$$

donde, C = concentración; V = volumen; i = inicial; f = final. V_f es el volumen del compartimiento corporal; $(C_i \times V_i)$ es la cantidad administrada del marcador; C_f es la concentración del marcador al estabilizarse en el compartimiento corporal.

Cuando se administra una pequeña dosis de una sustancia que, como el dióxido de deuterio o agua pesada, se diluye en todos los fluidos intra y extracelulares, después de un período de estabilización se puede calcular el

volumen de agua corporal total mediante la determinación de la concentración de deuterio en plasma, orina o saliva (28). Otros marcadores que se han usado para medir el agua corporal total incluyen agua marcada con ^{18}O , agua tritiada, antipirina, urea y etanol. Dependiendo del marcador usado se debe hacer correcciones cuando el marcador se diluye en otras sustancias corporales o cierta cantidad se metaboliza o se excreta entre el momento de su administración y el momento de estabilización.

A partir de la estimación de agua corporal total se puede calcular el peso del cuerpo libre de grasa, si se asume que éste contiene 73,2% de agua (15). Por diferencia se calcula la grasa corporal, con una precisión de alrededor de 3% del peso corporal (17). Al igual que la densitometría, se debe aplicar un factor diferente para calcular el CLG de personas con distinta hidratación corporal, como recién nacidos, niños menores de dos años y mujeres embarazadas. Los resultados son difíciles de interpretar en personas deshidratadas o con edema.

Cuando se usa un marcador que no pasa a través de las membranas celulares, como bromuro, tiosulfato o manitol, se puede calcular el volumen del agua extracelular. Por diferencia con el agua corporal total se puede estimar el agua intracelular. Si se acepta que la mayoría de células, incluyendo la masa citoplásmica de los adipocitos, contienen entre 68 y 75% de agua, con un promedio cercano a 73%, se puede estimar el peso de la masa o residuo celular (3,16).

La grasa corporal también se puede calcular por métodos de dilución, usando gases que se difunden en la grasa, como kriptón, xenón o ciclopropano (29,30). De manera similar se puede estimar el volumen de eritrocitos, usando hierro radiactivo como marcador, y el del plasma usando azul de Evans o ^{131}I .

Las desventajas de estos métodos dependen de la sustancia usada como marcador, e incluyen la exposición a radiación (tritio), necesidad de obtener muestras de sangre (antipirina bromuro) y alto costo (^{18}O).

Medición de potasio corporal

El contenido de potasio en los distintos tejidos es muy variable. Generalmente se acepta que, en promedio, el hombre adulto tiene 63,4 mmol (2,48 g) de potasio/kg de cuerpo libre de grasa, y la mujer 58,8 mmol (2,30 g)/kg CLG (17). Basado en esto, la cuantificación del contenido total de potasio corporal permite calcular el CLG y la grasa corporal. Esto se hacía por un método de dilución con ^{42}K como marcador, pero la administración de este radioisótopo a humanos ha caído en desuso.

El método actualmente usado se basa en la emisión natural de rayos gamma provenientes del ^{40}K que se encuentra en el cuerpo humano, en una proporción

de 0,0119% del potasio total. Esto se mide en un contador de radiactividad de cuerpo total (31), y de la estimación de ^{40}K se calcula el potasio corporal total.

La medición del potasio corporal total también permite estimar la cantidad de masa celular y de líquido intracelular, en vista de que casi todo el potasio corporal se encuentra en el interior de las células. Para esas estimaciones se asume que los adultos normales tienen 150 mmol (5,9 g) de K/litro de agua intracelular y 120 mmol (4,7 g) de K/kg de masa celular (3,16).

Aunque la exactitud y precisión en la estimación de la masa libre de grasa son muy buenas, este método se usa sólo en los pocos laboratorios que tienen un contador de cuerpo total. Tiene una aplicación importante para validar otros métodos.

Visualización de órganos y tejidos

La tomografía computarizada (TC) y las imágenes por resonancia magnética nuclear (RMN) permiten visualizar los tejidos en cortes seccionales del cuerpo. La información recibida por los fotoreceptores permite crear imágenes, y usando atenuadores se puede calcular las cantidades de tejido adiposo y no adiposo.

La validez de estos métodos fue establecida haciendo imágenes de todo el cuerpo de cerdos, cuyos cadáveres después fueron disecados y analizados químicamente (32,33). Sin embargo, estos métodos se han usado en humanos, principalmente para analizar la cantidad de grasa en segmentos del cuerpo. Debido a su alto costo y al tiempo requerido para ello, se han hecho pocos estudios de todo el cuerpo por TC y, hasta el año 1992, sólo uno por RMN (34,35). El uso de TC también está limitado por la radiación a que son expuestos los sujetos.

Absorciometría de energía

Estos métodos usualmente se usan para calcular la cantidad de ciertos elementos o sustancias en algunos segmentos corporales, pero también son aplicables a todo el cuerpo.

Inicialmente se usó fuentes de radiación monoenergética para estudiar huesos, basados en la suposición de que el contenido de minerales óseos es directamente proporcional a la energía de fotones absorbida por el hueso (36). Actualmente se usa la absorciometría dual de fotones (DPA, por su acrónimo en inglés), que usa gadolinio-153 como fuente de radiación, y con ciertas ventajas adicionales la absorciometría dual de energía de rayos X (DEXA, por su acrónimo en inglés).

Con estos instrumentos y su análisis computarizado se puede calcular la cantidad de mineral óseo, la densidad del hueso, el tejido magro y el tejido adiposo de distintas partes del cuerpo o del cuerpo total (37,38). La precisión del método

es muy alta para densidad ósea (alrededor de 0,5%), pero no para el tejido adiposo en algunos segmentos del cuerpo (alrededor de 10% en el abdomen).

Los instrumentos son caros, lo cual limita su uso. Se ha sugerido usar DEXA para validar otros métodos y generar fórmulas de predicción (39,40).

Métodos doblemente indirectos

Estos métodos miden ciertas características físicas, metabólicas o morfológicas que se han relacionado estadísticamente con otros métodos indirectos para estimar la composición corporal.

Mediciones antropométricas

Las mediciones antropométricas permiten hacer estimaciones de composición corporal fuera del laboratorio. También permiten calcular el espesor de la grasa subcutánea en algunas partes del cuerpo y los cambios en la musculatura de las extremidades.

Su aplicación para estimar la composición corporal total es doblemente indirecta, ya que se basa en la relación estadística que se puede establecer entre diversas mediciones antropométricas y la estimación de composición corporal por un método indirecto, generalmente densitometría. Tal relación usualmente se establece mediante ecuaciones de regresión múltiple. Esas ecuaciones predicen la densidad corporal (o el agua corporal total o el potasio corporal) para calcular la cantidad de grasa corporal y del cuerpo libre de grasa.

Las medidas antropométricas más usadas en las ecuaciones para estimar composición corporal incluyen el peso, el espesor de pliegues cutáneos, en uno o más sitios, y la circunferencia de las extremidades o el tronco. Se debe notar que estas ecuaciones varían cuando se obtienen en personas con distintos somatotipos. Esto ha producido resultados insatisfactorios cuando las ecuaciones derivadas de un grupo de población se aplican a otro, y han obligado a generar ecuaciones específicas para algunos grupos. Así mismo, las ecuaciones derivadas de adultos no son aplicables a niños, ni las de éstos a adolescentes.

Las estimaciones de composición corporal a partir de antropometría tienen baja precisión y exactitud. Esto se debe a la combinación de los errores inherentes a las asociaciones estadísticas, la variabilidad entre individuos en la distribución de la grasa corporal y variación de la relación entre la grasa subcutánea regional y la grasa visceral o de otras regiones del cuerpo, y la habilidad y experiencia del examinador. El error en la estimación es mayor cuando incluye la medición de pliegues cutáneos en personas obesas o con tejido subcutáneo muy firme.

No obstante estas limitaciones, las mediciones antropométricas son usadas a menudo para estimar la composición corporal de individuos y grupos de población, porque se pueden aplicar en el campo, son fáciles de obtener y tienen

un bajo costo. En estos casos se debe considerar el error potencial del método al analizar los resultados.

Impedancia bioeléctrica

Una corriente eléctrica alterna puede pasar a lo largo del cuerpo humano, ya que los líquidos y electrolitos intra y extracelulares actúan como condensadores. Si se mide la corriente en el sitio de entrada y en un sitio de salida se puede determinar una caída de voltaje proporcional a la resistencia u oposición al flujo de la corriente. En el caso de la corriente alterna, esa oposición se llama impedancia; cuando se mide a través del cuerpo humano es llamada impedancia bioeléctrica.

La impedancia es inversamente proporcional al volumen de agua corporal. Como el agua forma parte del cuerpo libre de grasa y no se encuentra en la grasa, la impedancia bioeléctrica es menor en individuos magros que en obesos. De la medición simultánea de la impedancia bioeléctrica y el agua corporal total se han derivado fórmulas que permiten predecir el volumen de esta última y, de ella, el peso del cuerpo libre de grasa.

Existen instrumentos portátiles y de bajo costo que permiten medir la impedancia bioeléctrica con una corriente alterna imperceptible de 800 ó 500 μ A administrada con una frecuencia baja y constante de 50 kHz. La aplicación de la corriente y la medición de la caída del voltaje se hacen en pocos segundos, a través de electrodos que se colocan en la mano/muñeca y en el pie/tobillo. Los sitios de colocación de los electrodos, posición del sujeto, preparación de la piel, temperatura de medición y otras condiciones deben ser estandarizadas rigurosamente para evitar errores de medición (41).

El método ha sido validado en niños y adultos por varios investigadores, quienes han derivado ecuaciones para calcular el agua corporal total, la masa libre de grasa y la grasa total. Esas ecuaciones son específicas para distintos grupos de población, de modo que los cálculos hechos en un mismo individuo pueden dar resultados muy diferentes cuando se usan distintas ecuaciones (por ejemplo, estimaciones de grasa corporal que varían entre 12 y 20% del peso corporal) (9,41). Otro problema es que este método no es válido para calcular la composición corporal de personas con edema, deshidratadas u otras alteraciones en la proporción de sus líquidos intra y extracelulares (9,42). Todo esto ha dado origen a críticas fuertes de este método (43).

Si no es factible validar las ecuaciones del método en la población donde se aplicará, el análisis de impedancia bioeléctrica se debe restringir a la evaluación de cambios en la composición corporal de personas que mantienen una hidratación normal, y a la comparación de individuos con características somáticas similares.

Conductividad eléctrica total del cuerpo

Este método, también llamado TOBEC por su acrónimo en inglés, se basa en el principio de que el cuerpo humano, por su contenido de agua y electrolitos, es un conductor que dará origen a una corriente inductiva cuando se le coloca en un campo electromagnético, y que esa corriente es proporcional a la cantidad de la materia conductora (44,45). La medición se hace colocando a la persona en el interior de un solenoide, a través del cual se pasa una corriente de alta frecuencia (2.5 a 5 MHz) que genera un campo magnético. El cuerpo produce un cambio en la impedancia de la corriente eléctrica, proporcional al agua y electrolitos corporales. El procedimiento es inocuo y dura pocos segundos.

Se han derivado ecuaciones para estimar el agua corporal total y la masa libre de grasa en niños y adultos. Debido al alto costo del instrumento, el uso de TOBEC se ha limitado a un número pequeño de laboratorios y no hay suficiente información para establecer cuán específicas son las ecuaciones para distintas poblaciones. En contraste con el análisis de impedancia bioeléctrica, los resultados del TOBEC no parecen ser afectados por la relación entre el agua intra y extracelular (46). Aun así, su exactitud para estimar la composición corporal depende de la validez de las ecuaciones de predicción.

Su principal aplicación podría estar en la validación de otros métodos, particularmente para uso en recién nacidos y niños pequeños (47).

Medición con ultrasonido

El espesor del tejido adiposo subcutáneo se puede determinar con medio de ultrasonido (48). Se han derivado ecuaciones de regresión para estimar la composición corporal, en forma similar a lo que se ha hecho con las mediciones antropométricas de pliegues cutáneos.

Las limitaciones descritas para las mediciones antropométricas son aplicables a los métodos de ultrasonido, aunque estos últimos permiten una medición más precisa de la grasa subcutánea.

Interactancia infrarroja

La estimación de la composición corporal por interactancia infrarroja se basa en la absorción y reflejo de la luz por parte de los tejidos, usando espectroscopía infrarroja. Esto permite estimar el grosor del tejido adiposo subcutáneo en regiones específicas del cuerpo (49).

Al igual que con los métodos de ultrasonido la grasa corporal total se calcula a partir de estas estimaciones, mediante ecuaciones de regresión, que también incluyen la edad, sexo, peso y talla de la persona. A las limitaciones y desventajas de la estimación de composición corporal por antropometría se debe agregar el costo del instrumento.

Excreción urinaria de creatinina

El hígado y riñones sintetizan creatina, 98% de la cual se almacena en el músculo esquelético, principalmente como fosfato de creatina. Una parte de ésta es metabolizada a un ritmo constante, para liberar la energía que el músculo requiere, convirtiéndose en creatinina. La creatinina no es metabolizada y se excreta por el riñón (50,51). Por lo tanto, se ha considerado que la excreción urinaria de creatinina refleja la cantidad de masa muscular en el cuerpo.

Aunque se ha propuesto que diariamente se degrada 2% del fosfato de creatina (52), diversos investigadores han usado equivalentes musculares de creatinina, que oscilan entre 17 y 22 kg de masa muscular por gramo de creatinina urinaria excretada en 24 horas (53). Por otra parte, la variación intraindividual de un día a otro en personas que viven libremente, sin restricciones dietéticas, es muy alta, habiendo informes que la describen entre 11 y 20% (17). Esa variabilidad se debe a numerosos factores, que incluyen la ingestión de alimentos de origen animal que contienen creatinina, la cual es excretada junto con la creatinina endógena; el patrón de actividad física, ya que el ejercicio fuerte aumenta la producción de creatinina; cambios en el metabolismo de la creatina-creatinina durante el ciclo menstrual de la mujer; y variaciones funcionales del riñón, que no sólo filtra sino también secreta creatinina.

Aun bajo condiciones estrictas de dieta sin creatinina exógena y con actividad física constante, la variabilidad de un día a otro oscila entre 4 y 11% (17,53). Por ello, cuando se usa la excreción urinaria de creatinina como indicador de masa muscular, se debe recolectar orina durante 72 horas. En todo caso, la incertidumbre sobre la verdadera equivalencia muscular de la creatinina urinaria hace que ésta sea considerada solamente como un método para estimaciones aproximadas de la masa muscular.

Excreción urinaria de 3-metilhistidina

La 3-metilhistidina es un aminoácido que se forma en el músculo esquelético por metilación de la histidina que se encuentra en la actina y miosina (54). Este aminoácido no es reciclado en la síntesis de proteínas y se elimina por la orina, por lo que la excreción urinaria de 3-metilhistidina en 24 horas ha sido propuesta como un indicador del recambio y la cantidad de masa muscular (55). Esto ha sido cuestionado por algunos investigadores en consideraciones teóricas relacionadas con el contenido de actina en las células de la piel y la mucosa intestinal (56).

Sin embargo, se ha descrito una buena correlación entre la excreción urinaria de 3-metilhistidina y la masa libre de grasa estimada por densitometría (57). Esto se ha hecho bajo condiciones estandarizadas que incluyen la ingestión de una dieta sin productos cárnicos por varios días, y la ausencia de infecciones.

Al igual que la creatinina, las desventajas del uso de la excreción urinaria de 3-metilhistidina para evaluar la composición corporal incluyen la variabilidad intraindividual de un día a otro, la necesidad de ingerir una dieta sin productos cárnicos antes y durante la recolección de orina, y el grado de colaboración requerido para obtener orina durante 24 o, de preferencia, 72 horas.

Comparación de métodos para estimar la composición corporal

No existe un método perfecto para medir la composición corporal de seres vivientes. Todos los métodos tienen limitaciones en términos de su interpretación, exactitud, precisión, complejidad técnica o costo. En el Cuadro 3 se hace un

CUADRO 3
ANÁLISIS COMPARATIVO DE MÉTODOS PARA EVALUAR LA
COMPOSICIÓN CORPORAL IN VIVO*

Método	Exactitud	Precisión	Costo	Facilidad técnica	Tiempo y molestias
¹ Activación de neutrones	+++	+++	-	±	++
² Densitometría	+++/-	+++	±/-	±	±
³ Absorción de energía (DEXA, DPA)	+++/-	+++	-	±	++
⁴ Potasio corporal (⁴⁰ K)	+++/-	++	-	±	±
⁵ Hidrometría por dilución	++	++	+/-	+/-	+/-
⁶ Dilución de gases en grasa	++	++	-	±	±
⁷ Visualización de tejidos (TC, RMN)	++/?	?	-	+/-	±/-
⁸ Conductividad bioeléctrica	+/-	+++/-	-	+++	+++
⁹ Impedancia bioeléctrica	+/-	+++/-	+	+++	+++
¹⁰ 3-metilhistidina urinaria	+/-	+	+	±	-
¹¹ Interactancia infrarroja	±/-	+	-	+	+
¹² Ultrasonido	±/-	+	±	+	++
¹³ Antropometría	±/-	±/-	+++/-	++	+++/-
¹⁴ Creatinina urinaria	±/-	±/-	++	+	-

Comentarios

- 1** Contenido corporal de Ca, P, Na, Cl, N, Cd, C. Equipo difícil de calibrar. Exposición a radiación.
- 2** Método de referencia para validar otros métodos. Exactitud depende de la técnica usada, especialmente para medir volumen pulmonar residual y de ecuaciones específicas para niños, embarazadas, etc. Requiere muy buena colaboración de los sujetos.
- 3** Excelente para densidad ósea. Mejor para segmentos o regiones que para todo el cuerpo. Exposición a radiación.
- 4** Exactitud depende de la calibración y de los coeficientes K/CLG, K/AIC, K/MC.
- 5** Costo, facilidad técnica, molestias a sujetos (por ej., extracción de sangre) y tiempo de estabilización varían con el marcador y técnica usados. Evitar uso de ^3H debido a radiación.
- 6** Técnicas requieren gases no siempre disponibles (Xe, ^{85}Kr). Tiempo de estabilización puede ser largo.
- 7** Pocos estudios en cuerpo total; exactitud y precisión no bien determinados. TC expone a radiación.
- 8** Exactitud depende de las ecuaciones que se usen.
- 9** Exactitud depende de las ecuaciones que se usen, las cuales varían de una población a otra. La colocación de electrodos y otros aspectos técnicos afectan la exactitud y precisión. Errores cuando hay alteraciones en el agua corporal.
- 10** Requiere dieta sin productos cárnicos y muy buena colaboración de sujetos para coleccionar orina durante 1-3 días.
- 11** Mide grasa subcutánea regional. Exactitud depende de las ecuaciones de predicción.
- 12** Ver Interactancia Infrarroja.
- 13** Exactitud depende de las ecuaciones de predicción, que varían con edad, sexo y grupo poblacionales. La habilidad y experiencia del investigador afectan la exactitud y precisión. La medición de pliegues cutáneos tiene baja precisión en obesos.
- 14** Ver 3-metilhistidina. Variabilidad intraindividuo es alta.-Equivalencia muscular de creatinina urinaria no está bien establecida.

* Derivado de las revisiones de Deurenberg (9), Lukaski (17), Forbes (58) y Roubenoff y Kehayias (59) y de la experiencia del autor.

análisis comparativo de los métodos descritos en este documento, basado en las opiniones de varios expertos que han revisado el tema en años recientes (9,17,58,59), y en nuestra experiencia personal con densitometría, hidrometría usando diversos marcadores, medición de ^{40}K corporal, mediciones antropométricas, impedancia bioeléctrica y excreción urinaria de creatinina. Los métodos están listados en el Cuadro 3 en orden decreciente de exactitud y precisión.

Para decidir cuál método es el más conveniente de usar, se debe considerar los objetivos que se persiguen y el uso que se dará a los datos de composición corporal, la magnitud del error que es aceptable, la edad, condiciones físicas y grado de colaboración de las personas a ser medidas, la veracidad e inviolabilidad de las suposiciones exigidas por cada método, y la disponibilidad y costo del equipo, materiales y análisis.

Por ejemplo, si el propósito de un estudio longitudinal es describir tendencias de cambio con el tiempo, el uso de métodos de baja exactitud, como la antropometría, podría ser aceptable en encuestas de grupos grandes de población, donde el tamaño de la muestra haría impráctico el uso de otros métodos y la magnitud del error inherente al método usado es tolerable.

Una situación en que se podría usar métodos que fueron validados en una población distinta a la que será estudiada, es cuando se quiere comparar los cambios producidos por dos tratamientos o intervenciones. En este caso lo que interesa es la comparación de los cambios relativos que se produzcan, tales como la magnitud del aumento o reducción en el porcentaje de grasa corporal. Entonces se podría usar un método que usa ecuaciones validadas en otros países (por ejemplo, impedancia bioeléctrica), ya que no es indispensable conocer las cantidades exactas de los componentes corporales para decidir cuál de los dos tratamientos es mejor.

Finalmente, se debe tener en cuenta que algunas medidas sencillas pueden ser suficientes para alcanzar ciertos objetivos, sin tener que hacer especulaciones, ni aplicar suposiciones y ecuaciones de validez dudosa para estimar la composición corporal. Por ejemplo, para describir la prevalencia de obesidad en una población, el uso del peso-para-talla en niños y del índice de masa corporal en adolescentes y adultos, puede ser tan bueno como la información derivada de mediciones más laboriosas de pliegues cutáneos o la obtenida con métodos más costosos.

Bibliografia

1. Behnke AR, Feen BG, Welham WC. *The specific gravity of healthy men: body weight/volume as an index of obesity.* J Am Med Assoc 1942; 118:495-498.
2. Behnke AR. *The relation of lean body weight to metabolism and some consequent systematizations.* Ann N Y Acad Sci 1953; 56:1095-1142.
3. Moore FD, Olessen KH, McMurrey JD, Parker HV, Ball MR, Boyden CM. *The body cell mass and its supporting environments.* Philadelphia, PA: Saunders, 1963: 535 p.
4. Brozek J, Grande F, Anderson T, Keys A. *Desintometric Analysis of body composition; revisions of some quantitative assumptions.* Ann N Y Acad Sci 1963; 110:113-140.
5. Passmore R, Robson JS (eds). *A companion to medical studies.* Vol 1. Philadelphia, PA: F.A. Davis, 1968; Ch 1: 1.1-1.6.
6. Grande F, Keys A. *Body weight, body composition and caloric status.* En: Goodhurt RS, Shils ME (eds). *Modern Nutrition in health and disease.* 6th ed. Philadelphia, PA: Lea and Febiger, 1980: 3-34.
7. Moore FC. *Energy and the maintenance of the body cell mass.* J Parent Ent Nutr. 1980; 4:228-260.
8. Heymsfield SB, Waki M. *Body composition in humans: advances in the development of multicompartiment chemical models.* Nutr Rev 1991; 49:97-108.
9. Deurenberg P. *The assessment of body composition: uses and misuses.* Lausanne: Nestlé Foundation 1992 Annual Report, 1993;35-72.
10. Mitchell HH, Hamilton TS, Streggerda FR, Bean HW. *The chemical composition of the adult human body and its bearing on the biochemistry of growth.* J. Biol Chem 1945; 158:625-637.
11. Widdowson EM, McCance RA, Spray CM. *The chemical composition of the human body.* Clin Sci 1951;10:113-125.
12. Forbes RM, Cooper AR, Mitchell HH. *The composition of the adult human body as determined by chemical analysis.* J Biol chem 1953; 203:359-366.
13. Forbes RM, Mitchell HH, Cooper AR. *Further studies on the gross composition and mineral elements of the human body.* J Biol Chem 1956; 233:969-975.
14. Pace N, Rathbun EN. *Studies of body composition: water and chemically combined nitrogen conten in relation to fat content.* J Biol Chem 1945; 158:685-691.
15. Sheng HF, Huggins RA. *A review of body composition studies with emphasis on total body water and fat.* Am J Clin Ntr 1979; 32:630-647.
16. Forbes GB. *Human body composition.* New York: Springer, 1987.
17. Lukaski HC. *Methods for the assessment of body composition: tradiotional and new.* Am J Clin Nutr 1987; 46:437-456.

18. Chertle RD, Fremlin JH. *Techniques of in vivo neutron activation analysis*. *Phy Med Biol* 1984; 29:1011-1043.
19. Cohn SH, Drombrowski CS. *Measurements of total body calcium, sodium, chlorine, nitrogen and phosphorus in man by in vivo neutron activation analysis*. *J Nucl Med* 1971; 12:499-505.
20. Cohn SH, Parr RM (eds). *Nuclear based techniques for the in vivo study of human body composition*. *Clin phys Physiol Meas* 1985; 6:275-301.
21. Kehayias JJ, Heymsfield SB, Lomonte AF, Wand J, Pierson RN. *In vivo determination of body fat by measuring total body carbon*. *Am J Clin Nutr* 1991; 53:1339-1344.
22. Fidanza F, Keys A, Anderson JT. *Density of body fat in man and other mammals*. *J Appl Physiol* 1953; 6:252-256.
23. Siri WE. *Body Composition from fluid spaces and density: analysis of methods*. En: Brozek J, Henschel (eds). *Techniques for measuring body composition*. Washington, DC: National Academy of Sciences. 1961:223-244.
24. Lohman TG, Boileau RA, Seanghter MH. *Body composition in children and youth*. En: Boileau RA (ed) *advances in pediatric sports science Vol. 1* Champaign, IL: Human Kinetics, 1984:29-57.
25. Lohman TG. *Applicability of body composition techniques and constants for children and youths*. *Exerc Sport Sci Rev* 1986; 14:325-357.
26. Razij JMA, Peck MEM, Vermaat-Miedema SH, Schonk CM, Hautvast JGAJ. *New equations for estimating body fat mass in pregnancy from body density of total body water*. *Am J Clin Nutr* 1988; 48:24-29.
27. Brozek J, Henschel A (eds). *Techniques for measuring body composition*. Washington, DC: National Academy of Science, 1961.
28. Publicino E, Coward WA, Stubbs RJ, Elia M. *Bedside and field methods for assessing body composition: comparison with the deuterium dilution technique*. *Eur J Clin Nutr* 1990; 44:753-762.
29. Lesser GT, Deutash S, Markofsky J. *Use of independent measurement of body fat to evaluate overweight and underweight*. *Metabolism* 1971; 20:792-804.
30. Garrow JG. *Indices of adiposity*. *Nutr Abstr Rev* 1983; 53:697-708.
31. Cohn SH, Palmer HE. *Recent Advances in whole body counting: a review*. *J Nucl Med* 1974; 1:155-165.
32. Rössner S, Bo WJ, Hiltbrandt E, Hinson W, Karstaedt N, Santiago P, Sobol WT, Crouse JR. *Adipose tissue determination in cadavers—a comparison between cross-sectional planimetry and computed tomography*. *Int J Obes* 1980; 14:893-902.
33. Fowler PA, Fuller MF, Glasbey CA, Cameron GG, Foster MA. *Validation of in vivo measurements of adipose tissue by magnetic resonance imaging using lean and obese pigs*. *Am J Clin Nutr* 1992; 56:7-13.

34. **Sohlstrom A, Wahlund LO, Forsum E. *Total body assessment and its distribution during human reproduction as assessed by magnetic resonance imaging. Symposium on in vivo body composition measurements.* Houston, TX. November 1992.**
35. **Vander Kooy, K Seidell JC. *Techniques for the measurement of visceral fat: a practical guide.* Int J Obes 1993; 17:187-196.**
36. **Cameron JR, Sorenson J. *Measurement of bone mineral in vivo.* Science 1963; 42:230-232.**
37. **Mazess RB, Peppler WW, Gibson M. *Total body composition by dual photon (153 Gd) absorptiometry.* Am J Clin Nutr 1984; 40:834-839.**
38. **Mazess RB, Barden HS, Bisek JP, Hansen J. *Dual Energy X Ray absorptiometry for total body and regional bone mineral and soft tissue components.* Am J Clin Nutr 1990;51:1106-1112.**
39. **Fuller NJ, Jebb A, Laskey MA, Coward WA, Elia M. *Four Compartment model for the assessment of body composition in humans: comparison with alternative methods, and evaluation of the density of fat free mass.* Clin Sci 1992; 82:687-693.**
40. **Svendson OL, Haarbo J, Heitman BL, Gotfredsen A, Christiansen C. *Measurement of body fat in elderly subjects by dual energy X-ray absorptiometry, bioelectrical impedance and anthropometry.* Am J Clin Nutr 1991; 53:117-1123.**
41. **Kushner RF. *Bioelectrical impedance analysis: a review of principles and applications.* J. Am Coll Nutr 1992; 11:199:209.**
42. **Deurenberg P, Van der Koog K, Leenen R, Schouten FJM. *Body impedance in largely dependent on the intra and extra cellular water distribution.* Eur J Clin 1989;43:845-853.**
43. **Forbes GB, Simons W, Amatruda JM. *Is bioimpedance a good predictor of body composition change?* Am J Clin Nutr 1992; 56:4-6.**
44. **Harrison GG, Van Itallie TB. *Estimation of body composition: a new approach based on electromagnetic principles.* Am J Clin Nutr 1982; 35:1176-1179.**
45. **Presta E, Wang J, Harrison GG, Björntorp P, Hanker WH, Van Itallie TB. *Measurement of total body electrical conductivity: a new method for estimation of body composition.* Am J Clin Nutr 1983;37:735-739.**
46. **Funk R. *Estimation of the volume of extracellular and intracellular water.* En: Kral JG, Van Itallie TB (eds). *Recent developments in body composition analysis.* London: Smith-Gordon, an Impression.**
47. **Fiorillo ML, Klish WJ. *Total body electrical conductivity measurements in the neonate.* Clin Perinatol 1991; 18:611-627.**
48. **Hayes EM, Lundegren HM, Loomis JL, Buskirk ER. *Validity of the ultrasound technique as a method of measuring subcutaneous adipose tissue.* Ann Hum Biol 1976; 3:245-251.**

49. Conway JM, Norris KH, Bodwell CE. *A new approach for the estimation of body composition: infrared interactance*. Am J Clin Nutr 1984; 40:1123-1130.
50. Rose WC. *The metabolism of creatine and creatinine*. Ann Rev Biochem 1933; 2:187-207.
51. Borsook H, Dubnoff JW. *The hydrolysis of phospho-creatine and the origin of urinary creatinine*. J Biol Chem 1947; 163:493-510.
52. Walker JB. *Creatine: biosynthesis, regulation and functions*. Adv Enzymol 1979; 50:117-242.
53. Heymsfield SB, Arteaga C, McManus C, Smith J, Moffit S. *Measurement of muscle mass in humans: validity of the 24 hour creatinine method*. Am J Clin Nutr 1983; 37:478-494.
54. Long CL, Haverberg LN, Young VR, Kinney JM, Munro HN, Geiger JW. *Metabolism of 3-methyl-histidine in man*. Metabolism 1975; 24:929-935.
55. Young VR, Munro HN. *N-methyl histidine (3-methyl histidine) and muscle protein turnover*. An overview Fed Proc 1976; 37:2291-2300.
56. Rennie MJ, Millward DJ. *3-Methylhistidine excretion and the 3-methylhistidine/creatinine ratio are poor indicators of muscle protein breakdown*. Clin Sci 1983; 65:217-225.
57. Mendez J, Lukaski HC, Buskirk ER. *Fat-free mass as a function of maximal oxygen consumption and 24 hour creatinine and 3-methylhistidine excretion*. Am J Clin Nutr 1984; 39:710-715.
58. Forbes GB. *Body composition: Influence of nutrition, disease, growth and aging*. Ed: Shile ME, Young VR (eds) Modern nutrition in health and disease. 7th ed. Philadelphia, PA: Lea and Febiger. 1988;533-556.
59. Roubenoff R, Kehayias JJ. *The meaning and measurement of lean body mass*. Nutr Rev 1991; 49:163-175.