

GASTO ENERGÉTICO EN REPOSO Y COMPOSICIÓN CORPORAL EN ADULTOS

Energy expenditure in repose related to body composition in adults

Melier Vargas Z¹, Lilia Lancheros P²,
María del Pilar Barrera P³.

1. Profesora Asociada, Departamento de Nutrición Humana. Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos.
2. Profesora Asociada, Departamento de Nutrición Humana. Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Especialista en Nutrición Clínica. Especialista en Ciencia y Tecnología de alimentos.
3. Profesora Asociada, Departamento de Nutrición Humana. Facultad de Medicina, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. MSc en Nutrición Clínica, MSc en Administración Educativa.

Correspondencia: mevargasz@unal.edu.co

Resumen

El requerimiento de energía de una persona está relacionado con su gasto energético (GE) y se define como la energía que consume un organismo, está representado por la tasa metabólica basal (TMB), la actividad física (AF) y la termogénesis inducida por la dieta (TID). La TMB es la mínima cantidad de energía que un organismo requiere para estar vivo y representa del 60-70% del total del gasto energético (TGE), en la mayoría de los adultos sedentarios. La AF representa entre el 25-75% del TGE y la TID representa cerca del 10% del TGE. Debido a su simplicidad, bajo costo y alta precisión el método comúnmente usado en el estudio de la composición corporal es la antropometría.

Palabras clave: metabolismo energético, composición corporal, calorimetría indirecta, impedancia eléctrica.

Vargas M, Lancheros L, Barrera MP. Gasto energético en reposo y composición corporal en adultos. *Rev Fac Med.* 2011; 59 (Supl 1):S43-58.

Summary

People's energy requirements are related to their energy expenditure (EE); this is defined as being the energy which an organism consumes. It is represented by the basal metabolic rate (BMR), physical activity (PA) and diet-induced thermogenesis (DIT). The BMR is the minimum amount of energy which an organism requires to stay alive and represents 60%-70% of total energy expenditure (TEE) in most sedentary adults. The PA represents 25%-75% of TEE whilst DIT represents around 10% of TEE. Anthropometry is the method most frequently used in studying body composition due to its simplicity, low cost and great precision.

Key words: energy metabolism, body composition, calorimetry, indirect, electric impedance.

Vargas M, Lancheros L, Barrera MP. Energy expenditure in repose related to body composition adults. *Rev Fac Med.* 2011; 59 (Supl 1):S43-58.

Introducción

El gasto energético (GE) representa la energía que el organismo consume; está constituido por la suma de: la tasa metabólica basal, la termogénesis endógena (TE) y la actividad física (AF). Habitualmente, el gasto energético en reposo (GER) se determina por medio de ecuaciones predictivas, pero la evidencia señala que la medición del consumo de oxígeno, es el método de mayor precisión (1).

Otro determinante del GER, es la composición corporal, especialmente la masa libre de grasa (MLG); existen diferentes métodos para determinarla, entre ellos la densitometría, la absorciometría de doble energía radiológica –DEXA–, la tomografía, la medición del agua corporal total (ACT), la antropometría y la impedancia bioeléctrica (BIA). El uso de éste último se ha extendido pues no es invasivo, de rápida aplicación, bajo costo, alta precisión y seguridad. En la práctica, el método más usado para determinar la composición corporal, por su facilidad de aplicación y bajo costo, es la antropometría, el cual ha sido ampliamente validado con otros de mayor precisión como los isotópicos y los densitométricos (2).

Esta revisión tiene por objeto presentar el estado del arte relacionado con el gasto energético y la composición corporal, aspectos importantes en la determinación del requerimiento energético en los adultos.

Gasto energético

El gasto energético total (GET), comprende el gasto energético basal (GEB), también denominado tasa metabólica basal (TMB), la AF y la TE. La Organización Mundial de la Salud (OMS), define el GET como “el nivel de energía necesario para mantener el equilibrio entre el consu-

mo y el gasto energético, cuando el individuo presenta peso, composición corporal y actividad física compatibles con un buen estado de salud, debiéndose hacer ajustes para individuos con diferentes estados fisiológicos como crecimiento, gestación, lactancia y envejecimiento” (3).

La TMB representa la integración de la actividad mínima de todos los tejidos del cuerpo en condiciones de equilibrio, se expresa como producción de calor o consumo de oxígeno por unidad de tamaño corporal. Mitchell, la definió como la “tasa mínima de gasto energético compatible con la vida”. Constituye del 60 al 70% del GE diario en la mayoría de los adultos sedentarios, en tanto, en los individuos físicamente muy activos es de aproximadamente el 50%; varía dependiendo de la composición corporal, especialmente de la masa corporal magra (1,4).

Margus-Levy en 1899 introdujo el término metabolismo basal y estableció que su medición debería efectuarse en las siguientes condiciones: sujeto totalmente descansado antes y durante las mediciones, acostado, en estado de vigilia, en ayuno de 10-12 horas, en condiciones controladas de temperatura (22-26 C°), en ausencia de infección y libre de estrés emocional (5,6).

El metabolismo basal expresado como TMB, es diferente a la tasa metabólica en reposo (TMR) o al GER; este último se obtiene cuando la determinación se hace en reposo y en las condiciones descritas para la TMB pero no en ayuno, incluyendo por tanto la energía utilizada para el aprovechamiento biológico de los alimentos. Estas mediciones, difieren en menos del 10% y ambos términos se tienden a utilizar indistintamente, en la actualidad se utiliza más la denominación de GER (7).

La medición del GEB despertó el interés de los investigadores en los primeros años del siglo 20;

Tabla 1. Criterios para la medición del GER en adultos

CRITERIO	ADULTOS SANOS
Ayuno	Mínimo de 4 a 5 horas después de una comida liviana, en quienes no es apropiado un ayuno prolongado
Ingestión de alcohol	Abstención mínima de 2 horas
Uso de nicotina	Abstención mínima de 2 horas
Ingestión de cafeína	Abstención mínima de 4 horas
Período de reposo	10-20 minutos antes de la prueba
Restricción de actividad física	Abstención de ejercicio aeróbico moderado o de ejercicio anaeróbico mínimo 2 horas antes de la prueba y de 14 horas, en personas que practiquen ejercicio vigoroso de resistencia
Condiciones ambientales	Temperatura entre 20 a 25°C, condiciones confortables
Dispositivos para la recolección de los gases	Adherencia rigurosa para prevenir escapes
Estado de equilibrio (Steady-state) condiciones e intervalos	Descartar los 5 minutos iniciales; luego alcanzar un periodo de 5 minutos con $\leq 10\%$ CV para la producción de oxígeno (VO_2) y de dióxido de carbono (VCO_2)
Número mediciones /24 horas	Lo ideal es alcanzar el estado de equilibrio en una medición, si no es posible, 2 o 3 mediciones no consecutivas mejoran la precisión
Variación en la repetición mediciones	3-5% en las realizadas dentro de las primeras 24 horas y alrededor del 10% después de semanas o meses
Cociente respiratorio (QR)	QR < 0.7 o > 1.0 sugiere incumplimiento del protocolo o imprecisión en la medición de gases

CV: coeficiente de variación. **Fuente (9):** Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L. Best Practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *Am J Diet Assoc.* 2006;106:881-903.

los estudios iniciales se orientaron al diagnóstico del hipo y del hipertiroidismo. Posteriormente, alrededor de la segunda década del siglo 20, Bedale utilizó la medición del GEB para estimar requerimientos energéticos en niños y niñas entre 7 y 18 años; este trabajo fue considerado importante y su método fue retomado en 1985, por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), la Organización Mundial de la Salud (WHO) y la Organización de Naciones Unidas (UNU) (5).

Existen varias características fisiológicas que hacen que el GER varíe de unas personas a otras, las principales son el tamaño, la composición corporal, la edad, el sexo y la producción de hormonas (8). El GER puede ser estimado o medido; la medición es más precisa que la

estimación, siempre y cuando se controlen los factores que pueden introducir modificaciones, como son la energía inducida por la alimentación, el consumo de alcohol, el uso de nicotina, la AF, la temperatura ambiental, la posición del individuo durante la prueba y el tiempo de medición. Las recomendaciones establecidas por la Asociación Americana de Dietistas (9) para mejorar la precisión de esta medición aparecen en la tabla 1.

El costo energético por AF varía entre el 25 y el 75% del GET. El periodo de la vida de mayor disminución de la AF es entre la adolescencia y el adulto joven. Durante esta etapa, la actividad total (min/semana) y el tiempo de actividad recreativa habitual (MET/semana) disminuye marcadamente en hombres (31%) y en mujeres

(83%). Los estudios de AF y de GET durante este periodo reflejan cambios marcados en los hábitos de vida, sociodemográficos y biológicos, factores que pueden estar asociados con un incremento del riesgo de obesidad y de comorbilidades (10).

El GE por actividad física es muy variable entre individuos y puede cambiar día a día. En personas sedentarias, cerca de dos terceras partes del GET se emplean en el metabolismo basal, mientras que sólo una tercera parte se gasta en AF. En individuos muy activos, el GET puede elevarse hasta el doble de la TMB; el gasto puede ser aún mayor en algunos atletas y en quienes realizan trabajos pesados. El nivel de actividad física (PAL) se describe como la proporción entre el GET y la TMB y se usa para determinar la cantidad e intensidad de la AF habitual de un individuo (11).

La FAO-WHO-UNU (2001) consideran dos tipos de AF: las actividades obligatorias relacionadas con el trabajo, el estudio y la atención del hogar y las actividades discrecionales referidas a la actividad física regular, la recreación y la interacción social, consideradas importantes porque mantienen la salud, proporcionan bienestar y mejoran la calidad de vida.

La TE se refiere al aumento del GE producido después del consumo de alimentos, y corresponde a la energía necesaria para la digestión, absorción, transporte, metabolismo y almacenamiento de los macronutrientes. La intensidad y la duración de la TE están determinadas por la cantidad y composición de los alimentos consumidos. El incremento en el GE varía de 5-10% para carbohidratos, 0-5% para grasas, y de 20-30% para proteínas. El consumo de una dieta mixta produce un incremento en el GE equivalente al 10% de la energía contenida en los alimentos (11).

Los dos componentes de la TE son la termogénesis obligatoria y la facultativa. La primera es modulada por factores como la actividad del sistema nervioso simpático y la tolerancia a la glucosa; representa las dos terceras partes del efecto térmico de los alimentos. El componente facultativo corresponde a la tercera parte de la TE y está relacionado con las fases cefálicas y posprandial de la alimentación; su actividad es mayor en algunos tejidos como el músculo esquelético debido a la activación del sistema nervioso simpático y de los receptores β -adrenérgicos, los cuales estimulan el metabolismo celular (12,13).

Calorimetría

Los componentes del GE, es decir el metabolismo basal y el gasto que requiere cualquier AF, se pueden determinar por calorimetría, la cual puede ser directa o indirecta (7). Además de la calorimetría, existen otros métodos para determinar el GEB y el requerimiento de energía: las ecuaciones predictivas, la impedancia bioeléctrica y el agua doblemente marcada (1). Los siguientes son los métodos más utilizados:

Calorimetría directa. El GET puede determinarse por la medición de la cantidad de calor producida por el organismo. Este procedimiento se realiza en cámaras herméticas con paredes aislantes, en donde se confina al sujeto y se registra el calor almacenado y el perdido por radiación, convección y evaporación; se precisa un mínimo de seis horas para estabilizar el sistema; el método más conocido es la cámara de Atwater, en la cual el calor producido es absorbido por el agua que pasa a través de ésta y cuantificado mediante termosensores o termómetros que registran la temperatura a la entrada y a la salida en un tiempo determinado. Como se puede deducir, es un método complejo y difícil de realizar en la práctica, por tanto su uso ha

sido de carácter investigativo o para valorar métodos indirectos (7).

Calorimetría indirecta. La calorimetría indirecta (CI) es un método no invasivo que permite estimar la producción de energía equivalente a la TMB (14) y la tasa de oxidación de los sustratos energéticos. La denominación de indirecta señala que el gasto metabólico se determina por medio de los equivalentes calóricos del oxígeno (O_2) consumido y del dióxido de carbono (CO_2) producido, cuyas cantidades difieren según el sustrato energético que esté siendo utilizado. La producción de energía corresponde a la conversión de la energía química contenida en los nutrientes en energía química almacenada como ATP y, en la energía disipada como calor, durante el proceso de oxidación. Si se admite que todo el O_2 consumido se utiliza para oxidar los sustratos energéticos (proteínas, carbohidratos y lípidos) y, que todo el CO_2 producido se elimina por la respiración, es posible calcular la energía total producida por los nutrientes (1).

La CI se basa en el principio del intercambio de gases; la respiración en un calorímetro produce depleción de O_2 y acumulación de CO_2 en la cámara de aire. La cantidad de O_2 consumido y de CO_2 producido se determina multiplicando la frecuencia de ventilación, típicamente de 1 L/seg, por el cambio en la concentración del gas. El GE se calcula usando el consumo de O_2 , la producción de CO_2 y la producción de nitrógeno urinario con la ecuación de Weir. Esta relación también provee información acerca del sustrato nutricional utilizado para la energía metabólica (15).

El cociente respiratorio es un componente importante en la determinación de la CI y se define como la relación que existe entre la producción de CO_2 y el consumo de O_2 ; tiene un valor de 1,0 para la oxidación de carbohidratos, de 0.81 para la proteína y de 0.71 para la grasa (16).

Los métodos usados son los de circuito abierto y cerrado. En este último método, el CO_2 producido es absorbido dentro del sistema, se adiciona O_2 para mantener constante el volumen del gas. Benedict en 1918 elaboró un método con este principio y posteriormente Krogh y Roth desarrollaron un instrumento que medía el consumo de O_2 a partir de la reducción del volumen del gas por medio de un espirómetro. En 1920 se fabricó el espirómetro portátil de Benedict y Roth. La calorimetría con circuito abierto se ha realizado con diferentes métodos, entre ellos la bolsa de Douglas, Oxilog, capota ventilada, calorímetro de canopy y de cuerpo entero. Existen pocos estudios que comparan calorimetría con circuito abierto y cerrado, sin embargo, se menciona que el circuito cerrado sobreestima el GEB (5).

Entre 1950 y 1960, se efectuaron diversos experimentos para la medición del GET utilizando el respirómetro de Max Planck, el cual se empleó para medir el GE en diferentes actividades, que junto con el dato adicional del tiempo empleado para cada actividad, permitía determinar el GET para 24 horas, método conocido como factorial (17).

Ecuaciones predictivas. La determinación de la necesidad de energía es un componente básico en la planeación de la alimentación debido a que el balance entre consumo y GE tiene implicaciones importantes para la salud. En la práctica, es común utilizar ecuaciones de referencia para estimar el GEB y aplicar el método factorial para determinar el requerimiento energético diario.

Las ecuaciones predictivas (EP) usualmente han sido desarrolladas con personas sanas y están basadas en análisis de regresión que incluye peso, altura, sexo y edad como variables independientes y en la medición del GER por CI como variable dependiente; por ejemplo, la ecuación

ción de la FAO/WHO/UNU 1985 tiene en cuenta el sexo, los grupos de edad y el peso. Otros autores tienen en cuenta el índice de masa corporal (IMC) (18). Las principales EP que se han elaborado para la estimación de la TMB son:

Ecuación de Harris y Benedict. La publicación original data de 1919, los estudios realizados por estos autores se basaron en mediciones de GMB de 136 hombres y 103 mujeres en el Laboratorio de Nutrición de Carnegie en Boston; se usaron métodos estadísticos rigurosos que dieron como resultado las siguientes ecuaciones (19):

Hombres $GMB = 66.4730 + 13.7516 \times P + 5.0033 \times T - 6.7759 \times E$

Mujeres $GMB = 665.0955 + 9.5634 \times P + 1.8496 \times T - 4.6756 \times E$

P = peso en Kg, **T** = talla en cm, **E** = edad en años

En varios estudios, esta ecuación demostró ser la más cercana a la medición de CI, cuando se comparó con otras ecuaciones como las de Mifflin–St Jeor, (MJ), Owen (OW), World Health Organization (WHO/FAO/UNU) and Lührmann (LM) (20,21).

Ecuación de Quenouille. Quenouille y cols en 1951 fueron los primeros en elaborar un estudio con base en determinaciones de la TMB; los datos de Quenouille incluyeron personas que habitaban en el trópico y se orientaron a examinar el papel de la etnicidad y del clima sobre la TMB, sin embargo, la ecuación no ha sido muy utilizada⁵. Estos datos fueron incluidos posteriormente en las bases de información de Shofield y Oxford.

$TMB \text{ (Kcal/día)} = 2.975 \times T + 8.90 \times P + 11.7 \times SC + 3.0 \text{ h} - 4.0 \text{ t} + 293.8$

T = altura en centímetros, **P** = peso en kilogramos, **SC** = superficie corporal de DuBois, **h** = Humedad y **t** = temperatura

Ecuaciones de Shofield (FAO/WHO/UNU)1985. El Comité de Expertos de la FAO/WHO/UNU en 1985, desarrolló una serie de EP para estimar el requerimiento energético con base en algunas premisas: el requerimiento energético se debe fundamentar en la medición del GE y no en la ingesta; el organismo tiene la capacidad para adaptarse a ingestas bajas y, el requerimiento se refiere a grupos y no a individuos. Este Comité adoptó el método factorial y propuso la aplicación de múltiplos de la TMB; en las ecuaciones consideraron edad, sexo y peso corporal.

Se utilizaron como base principalmente los datos de los estudios de Shofield, sin embargo, estos presentaban limitaciones tales como: pocos datos sobre lactantes, adolescentes y adultos mayores; carencia de datos de personas provenientes de países en desarrollo; poca variabilidad étnica y geográfica (se incluyó un número desproporcionado de italianos, 47%) y baja inclusión de individuos de regiones tropicales (22).

Los niveles de AF y los factores que se consideraron para calcular el GET fueron (23):

Género	Actividad leve	Actividad moderada	Actividad pesada
Hombre	1.55	1.76	2.10
Mujer	1.56	1.64	1.82

Ecuaciones de Oxford. Entre 1980 y 2000, un grupo de expertos seleccionó estudios de medición del GE que incluyeron los siguientes aspectos: edad, peso y género; descripción de las condiciones experimentales y del equipo usado para la medición del GMB; mediciones en sujetos sanos, en estado postabsortivo y sin AF previa y, descripción de la etnia y de la localización geográfica. De la base de datos se excluyeron a todos los sujetos italianos de los estudios de Shofield y se incluyeron datos de habitantes de los trópicos. A partir de estas variables se generó una base de datos denominada de Oxford, la

Tabla 2. Ecuaciones de Oxford para estimar Tasa Metabólica Basal (TMB) según edad y con inclusión de variables de peso y talla

Género	Edad / años	TMB (Kcal/día)
Hombres	10-18	$15.6 \times P + 266 \times T + 299$
	18-30	$14.4 \times P + 313 \times T + 113$
	30-60	$11.4 \times P + 541 \times T - 137$
	> 60	$11.4 \times P + 541 \times T - 256$
Mujeres	10-18	$9.40 \times P + 249 \times T + 462$
	18-30	$10.4 \times P + 615 \times T - 282$
	30-60	$8.18 \times P + 502 \times T - 11.6$
	> 60	$8.52 \times P + 421 \times T + 10.7$

Tabla 3. Comparación entre las ecuaciones de Oxford y las de la FAO/WHO/UNU 1985 para estimación de TMB

Género	Edad / años	OxfordTMB (Kcal /día)	FAO/WHO/UNU 1985TMB (Kcal/día)
Hombres	10-18	$18.4 \times P + 581$	$17.686 \times P + 658.2$
	18-30	$16.0 \times P + 545$	$15.057 \times P + 692.2$
	30-60	$14.2 \times P + 593$	$11.472 \times P + 873.1$
	> 60	$13.5 \times P + 514$	$11.711 \times P + 587.7$
Mujeres	10-18	$11.1 \times P + 761$	$13.384 \times P + 692.6$
	18-30	$13.1 \times P + 558$	$14.818 \times P + 486.6$
	30-60	$9.74 \times P + 694$	$8.126 \times P + 845.6$
	> 60	$10.1 \times P + 569$	$9.082 \times P + 658.5$

P: peso en Kg. **Fuente (5):** Henry CJK. Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations Public Health Nutrition 2005; 8(7A): 1133-1152.

cual tomó en cuenta 10552 valores de TMB. Con las ecuaciones desarrolladas (Tabla 2) los valores de la TMB, en mayores de 18 años fueron más bajos que los obtenidos con las ecuaciones de la FAO/WHO/UNU de 1985 (5). La comparación entre las ecuaciones de Oxford teniendo en cuenta el peso corporal y las de la FAO/WHO/UNU 1985 para estimación de TMB se muestra en la tabla 3.

Ecuaciones de FAO/WHO/UNU (2001). Se desarrollaron a partir de la base de datos de Shofield utilizada en la estimación de la TMB (1985); se consideraron tres niveles de AF y se optó por rangos para cada categoría; además, se adoptó el término de estilo de vida más que el de ocupación laboral para definir el nivel de AF (24):

Sedentario o estilo de vida con actividad leve:
1.40-1.69

Activo o estilo de vida moderadamente activo:
1.70-1.79

Vigoroso o estilo de vida vigorosamente activo:
2.0-2.4

Históricamente, los nutricionistas dietistas han utilizado las EP para estimar el GER, pero los estudios de validación han encontrado que estas ecuaciones pueden sobrestimar o subestimar el requerimiento energético; en algunos, el error reportado es del 20% y en otros, la imprecisión es del orden de 200 Kcal, que aunque leve, es importante, ya que puede promover la ganancia de peso en adultos (25).

La ecuación de Harris y Benedict es la más antigua y la más utilizada; los estudios sugieren que esta ecuación sobrestima la TMB entre el 10 y el 15%, especialmente en personas de bajo peso; la de la FAO/WHO/UNU, validada por Muller (2004) también sobrestima el GER en algunas comunidades (26).

Esteves de Oliveira y cols compararon diferentes EP (Instituto de Medicina de Estados Unidos-GER-, Fleish, FAO/WHO/UNU 1985 y FAO/WHO/UNU 2001) en adultos brasileños y encontraron una sobrestimación de las ecuaciones de la FAO/WHO/UNU de 1985 y de 2001 con respecto a la de Fleish y la EER; además, estas EP mostraron un GEB significativamente menor en ambos sexos con respecto a la CI; también encontraron que las medianas de GEB obtenidas por BIA y por CI fueron significativamente menores en mujeres ($p < 0.05$) (1).

La ecuación de Schofield y la de la FAO/WHO/UNU no tienen en cuenta la talla porque consideran que no contribuye a la estimación del GER en individuos sanos (menos del 0.1% del valor del GER preestablecido), están basadas únicamente en el peso. Sin embargo, el Instituto de Medicina de los Estados Unidos afirma que la inclusión de esta variable puede reducir levemente el error de predicción (18). Debido a que la comparación de las ecuaciones arroja valores diferentes sobre el GE, para su aplicación se sugiere considerar la población de la cual fue derivada y las variables incluidas (18).

Actualmente, se considera que el clima es una variable condicionante, porque puede influir en la TMB; las personas que viven en clima cálido tienden a tener una TMB más baja que quienes viven en clima frío, aún después de ajustar por tamaño y composición corporal; por lo tanto, es posible que el cambio climático y las migracio-

nes a otras zonas geográficas afecten, al menos parcialmente, la TMB (27).

Algunos estudios reportan que las ecuaciones de referencia FAO/WHO/UNU, aplicadas en diferentes condiciones de temperatura tienden a sobrestimar la TMB en poblaciones tropicales (3-13%) y a subestimarla en poblaciones que viven cerca a los polos o en zonas de gran altitud (2-10%). Sin embargo, otros autores atribuyen estas variaciones a factores como la subnutrición y la composición de la dieta; así, las dietas altas en carbohidratos, podrían explicar los valores más bajos de TMB en algunas poblaciones tropicales y las dietas altas en proteína, las cifras mayores de TMB en las poblaciones circumpolares, cuando éstas se comparan con las de los europeos y norteamericanos (27).

Tasa metabólica basal por impedancia bioeléctrica (BIA)

Es un método que estima los compartimientos corporales, incluida la cantidad de líquido en los espacios intra y extracelulares. Esta técnica se basa en la resistencia al paso de la corriente alterna. El tejido magro es altamente conductor debido a la gran cantidad de agua y electrolitos que contiene, por tanto ofrece baja resistencia; por el contrario la grasa, la piel y el hueso son medios de baja conductividad y por ende de alta resistencia. En la actualidad se dispone de básculas que tienen incorporadas en su software las ecuaciones para determinar la TMB (1,2).

Agua doblemente marcada

Este método fue creado por Nathan Lifson en 1950; se basa en la administración de isótopos marcados (deuterio y O^{18}), el deuterio es eliminado en forma de agua y el O^{18} se elimina en

forma de agua y de CO₂; bajo condiciones de equilibrio, la diferencia entre las dos tasas de eliminación es una medida de la producción del CO₂ y a partir de este valor se estima el GE usando ecuaciones para CI; no se requiere recolectar el CO₂ espirado, sólo efectuar su medición por medio del isótopo estable en orina. Este método se ha convertido en referencia para determinar el GE en individuos sanos y enfermos y es una herramienta importante para estudiar la etiología de la obesidad y para validar los métodos de estimación de la ingesta dietética (28).

Composición corporal

La composición de un organismo refleja la acumulación neta de nutrientes y de otros sustratos adquiridos del medio ambiente y retenidos por el cuerpo. Los componentes que van desde elementos hasta tejidos y órganos son las estructuras que conforman la masa y la función de todos los seres vivos.

El estudio de la composición corporal está organizado en tres áreas relacionadas; la primera, incluye los modelos de composición corporal, sus definiciones y asociaciones; la segunda, comprende los métodos *in vivo* e *in vitro* para medir la composición corporal y la tercera, la variación de la composición corporal y los cambios relacionados con las condiciones fisiológicas y patológicas. El modelo central del estudio de la composición corporal es el de los cinco niveles, en el cual la masa corporal se considera la suma de todos los componentes en cada uno de los niveles: atómico, molecular, celular, tejidos-órganos y corporal total(29,30).

Modelos de composición corporal

Desde 1992, la composición corporal se ha estudiado a través de diversos métodos, modelos

y técnicas. Los modelos se clasifican de acuerdo con los componentes que se requiera evaluar y tienen en cuenta cinco niveles independientes (31,32).

Nivel atómico. La masa corporal incluye once elementos principales, más del 96% corresponde a cuatro elementos: oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno. Otros elementos son: calcio, potasio, fósforo, azufre, sodio, cloro y magnesio (29).

Nivel molecular. Incluye seis componentes principales: agua, lípidos, proteínas, carbohidratos, minerales óseos y minerales de tejidos blandos. Se pueden crear diferentes modelos que van desde dos hasta seis componentes; el de dos componentes incluye la masa grasa (MG) y la MLG y es uno de los más aplicados en la investigación de la composición corporal; el de tres componentes divide la MLG en masa magra y masa ósea (33).

Nivel celular. Incluye tres componentes: los sólidos extracelulares, el líquido extracelular y las células, este último puede dividirse en dos componentes, grasa y masa celular corporal, la cual determina el metabolismo activo (29).

Nivel tejidos-órganos. Consta de componentes importantes que incluyen tejido adiposo, músculo esquelético, vísceras y hueso; algunos componentes son órganos sólidos únicos como cerebro, corazón, hígado y bazo; otros, como el tejido adiposo y el músculo esquelético están distribuidos en todo el cuerpo (33).

Nivel corporal total. Puede dividirse en regiones como extremidades, tronco y cabeza. Las dos primeras, se estudian usualmente por medio de medidas antropométricas como circunferencias, pliegues cutáneos y longitudes y no como componentes separados (29).

Factores condicionantes de la composición corporal

Cuando se realiza el estudio de la composición corporal es importante tener en cuenta que existen una serie de factores que la condicionan y que finalmente definen sus características. Entre estos factores se consideran los siguientes:

Factores genéticos. La evidencia acumulada en años recientes sugiere que la grasa corporal total y su distribución topográfica, la densidad de la masa ósea y la MLG están afectadas significativamente por la herencia (34).

Sin embargo, no se deben descartar los factores ambientales, especialmente el estilo de vida y los hábitos alimentarios, ya que la diferencia en la distribución de la grasa corporal se puede explicar por la interacción entre estos factores (35,36).

Edad. Al considerar los cambios por edad, éstos pueden dividirse en tres fases: crecimiento y desarrollo, madurez y senectud. Desde el nacimiento, la acumulación de grasa progresa rápidamente hasta alcanzar, a los seis meses, un pico de aproximadamente 25%, después del cual, la proporción de tejido adiposo empieza a disminuir llegando a cantidades mínimas hacia los siete años de edad; luego se presenta el rebote de adiposidad, como preparación para los cambios de la adolescencia y con el avance en la edad, la grasa corporal aumenta especialmente en la región abdominal.

El músculo esquelético representa del 22 al 25% de la masa corporal total de un neonato y entre el 30 y el 45% del peso de los adultos. El proceso de crecimiento de la masa muscular no es uniforme y se desarrolla lentamente durante la niñez, alcanza su pico máximo en la adolescencia y disminuye en la edad avanzada (37).

Actividad física. Favorece a largo plazo el desarrollo muscular durante el crecimiento, contribuye al incremento de la densidad mineral ósea y del diámetro de los huesos porque ayuda a mejorar la mineralización y a disminuir la resorción ósea; además, es un factor importante para prevenir la acumulación anormal de tejido graso. Los efectos de la AF sobre la composición corporal dependen de la cantidad de energía gastada y de la frecuencia, la intensidad y la duración del ejercicio (38).

Alimentación, estado nutricional y de salud. Para que exista un buen desarrollo de los componentes del peso corporal, es necesario que el organismo esté en buenas condiciones de nutrición y salud. El desequilibrio entre el consumo de alimentos y los requerimientos, bien sea por déficit o por exceso, tiene consecuencias en el desarrollo de los componentes corporales. Diversos estudios reportan diferencias en composición corporal, relacionadas con el tipo de alimentación; el sobrepeso y la obesidad se caracterizan por un acumulo excesivo de grasa corporal, como consecuencia de un ingreso calórico superior al GE. Por el contrario, en estados de desnutrición las reservas tanto de masa corporal magra como de MG están disminuidas(37,39).

Factores hormonales. Las hormonas ejercen los mayores efectos determinantes en la composición corporal, bien sea en forma aislada o por combinación entre ellas o con otros factores condicionantes. Las de mayor influencia son los esteroides sexuales femeninos y la testosterona. Los primeros contribuyen al mayor desarrollo graso durante la adolescencia. Aunque no está claro si estos efectos son directos o mediados por la ingesta y el GE, existe evidencia de que los esteroides femeninos ejercen acción importante sobre la distribución de la grasa corporal.

La testosterona, acelera el crecimiento lineal, el aumento de la masa muscular y la densidad de la masa ósea; en la adolescencia ocasiona el incremento del tejido magro, en mayor proporción en el hombre que en la mujer (35).

Estatura. Es un factor que condiciona directamente la cantidad de MLG, debido a que se relaciona con la cantidad de masa muscular y de masa ósea (35).

Grupo étnico. Aunque existe controversia respecto a la variabilidad de la composición corporal entre grupos étnicos, algunos estudios demuestran diferencias en la acumulación de grasa subcutánea y en la distribución de grasa corporal y de tejido muscular, entre blancos y negros (36,40).

Métodos para medir la composición corporal

Existen diversos métodos, técnicas y grados de complejidad, que permiten determinar la composición corporal de los diferentes compartimentos (grasa, músculo, hueso y el residual).

Métodos directos. Comprenden la disección, el pesaje, la medición y el análisis químico de los cadáveres de humanos; por su naturaleza son los menos empleados.

Métodos indirectos. Entre estos se destacan:

Impedancia bioeléctrica (Bioelectrical impedance analysis, BIA). Es uno de los métodos utilizados para determinar la composición corporal, se basa en la naturaleza de la conducción de la corriente eléctrica a través de tejidos biológicos. Es seguro, de fácil aplicación, rápido, no invasivo, de bajo costo y de buena precisión (29,41,42).

Desde hace algunos años, los científicos han estudiado los fenómenos eléctricos de los siste-

mas biológicos (43). Las mediciones de BIA incluyen el estudio de los cambios de impedancia asociados con el sistema circulatorio y la determinación de las características de los líquidos y tejidos corporales como nivel de hidratación, edema, volumen intracelular y extracelular y, porcentaje de grasa, entre otros. La BIA se basa en el principio de la valoración del contenido del ACT (29,44); se asume que ésta es constante en el cuerpo humano y representa el 72,2 % de la MLG (43). Una vez determinada la MLG, se puede obtener la MG por diferencia con el peso corporal.

La impedancia es la resistencia al flujo de una corriente alterna (41,45); es baja en el tejido magro donde se encuentran principalmente los líquidos intracelulares y los electrolitos y alta, en los tejidos graso y óseo. Dado que la corriente eléctrica sigue el camino de mínima resistencia, el agua extracelular y el músculo influyen en la determinación de la impedancia corporal total (43,45-47).

La estimación de la composición corporal mediante el uso de la BIA requiere una ecuación de regresión validada contra un criterio metodológico de referencia de la composición corporal como la densitometría, la DEXA o el agua doblemente marcada (47,48). Existen diferentes técnicas y modelos analizadores de BIA: bipolares, tetrapolares y recientemente el octopolar (46,48). Algunos estudios que comparan la técnica tetrapolar con la bipolar señalan que ambos analizadores pueden ser una alternativa para estimar la grasa corporal en la edad adulta (49).

Densitometría. Se basa en el principio de que el tejido no graso es más denso que el adiposo. Se toma el peso con la persona sumergida completamente en el agua y sólo con el aire residual en los pulmones después de una espiración com-

pleta. A partir del principio de Arquímedes (el volumen del objeto sumergido es igual al volumen del agua desplazada por dicho objeto) se puede estimar el volumen corporal aparente determinando la diferencia entre los pesos fuera y dentro del agua. Se tienen en cuenta el volumen residual pulmonar y el del gas gastrointestinal; la diferencia entre las dos medidas proporciona un valor del tejido adiposo o del porcentaje de grasa corporal (50,51). Este método es considerado como el de mayor validez para estimar el porcentaje de grasa corporal; sin embargo, aunque usualmente se ha aceptado como un estándar de referencia, su uso es limitado por el costo del equipo y la complejidad de la medición (32).

Medición del agua corporal total. Dado que la mayor cantidad de agua se encuentra en la MLG y que su concentración en ésta es constante, la medida del agua permite calcular la porción magra y, por diferencia con el peso corporal, la grasa total del individuo. Se asume que la cantidad de agua en la MLG es del 73,2%. Para medir el ACT, se administra al individuo agua marcada con hidrógeno isotópico, luego de tres horas, se mide la concentración del isótopo en sangre, orina o en ambos. Una vez conocida el ACT, la MLG se obtiene dividiendo el agua entre 0.73. La cantidad de grasa total se obtiene por diferencia entre el peso corporal y la MLG (51).

Medición del potasio corporal total. El potasio es un catión esencial intracelular que no está presente en el tejido graso. El organismo emite radiación gamma en forma de potasio 40 (K40), este ion está en el organismo en una cantidad conocida (0.012%). Teniendo en cuenta que el K40 representa proporcionalmente el contenido total de potasio del cuerpo y que la masa magra tiene un contenido de potasio constante, la medida de K40 es de importancia en el conocimiento de la composición corporal. La determina-

ción se realiza mediante conteo radiactivo con un contador de centelleo líquido (52).

Ultrasonido. Método en el que la energía eléctrica se convierte en energía ultrasónica de alta frecuencia, la cual varía dependiendo de las propiedades de los tejidos corporales; las ondas de alta frecuencia penetran la superficie de la piel, pasan el panículo adiposo, llegan al músculo y se reflejan en una pantalla para ser leídas y cuantificadas (53).

Tomografía axial computarizada. Este método radiológico permite la obtención de imágenes de un segmento o del cuerpo en su totalidad. Consiste en hacer pasar un haz de rayos X por la región corporal objeto de estudio. El coeficiente de atenuación (cociente entre la energía absorbida y la energía incidente), varía dependiendo de la densidad de los tejidos que atraviesa; se determina por medio de un cuantificador de emisiones y posteriormente se convierte en imágenes (52).

Resonancia magnética nuclear. Se basa en el hecho de que ciertos núcleos atómicos pueden comportarse como imanes alineándose en la dirección de un campo magnético externo. Al pasar una onda de radio a través del cuerpo, los núcleos estimulados absorben parte de la energía de la onda cambiando su orientación en el campo magnético. A partir de la intensidad y frecuencia de la señal de radio liberada por los núcleos activados se construyen imágenes de los tejidos estudiados (32,52).

Análisis de activación de neutrones. La técnica consiste en aplicar al individuo un haz de neutrones acelerados que son captados por los átomos del organismo a estudiar, generando isótopos inestables. Al volver a la situación de estabilidad inicial, estos isótopos liberan la energía captada previamente, emitiendo rayos gamma de una energía

característica para cada elemento. En el espectro de emisión, el nivel de energía identificará el elemento y el nivel de actividad (42).

Absorciometría de rayos X de dos energías (DEXA).

Consiste en medir la atenuación diferencial de haces de rayos X de dos energías discretas diferentes cuando atraviesan el organismo. La DEXA permite distinguir entre la masa ósea, la MLG no ósea y la MG, con una mejor imagen y menor tiempo de exposición comparada con otros métodos (42,53).

Antropometría. Es un método ampliamente utilizado en la evaluación nutricional como un indicador de la composición corporal. La medición de diferentes parámetros antropométricos y sus indicadores, permite conocer el estado de las reservas proteicas y calóricas, además de orientar sobre las consecuencias de los desequilibrios de las reservas corporales y el impacto de la enfermedad en el estado nutricional.

Los parámetros antropométricos más utilizados son: peso, talla, pliegues cutáneos, circunferencias o perímetros y diámetros óseos. Por medio de estas mediciones y con la aplicación de ecuaciones, es posible obtener diferentes indicadores de la composición corporal y del estado nutricional del individuo: índice de masa corporal, porcentaje de grasa, porcentaje de MLG, peso óseo y peso muscular, entre otros (54).

La MG se estima a partir de la sumatoria de los pliegues cutáneos y la MLG por diferencia con el peso corporal total. El porcentaje de grasa corporal se determina utilizando ecuaciones propuestas por diversos autores, entre las cuales se mencionan:

Ecuación de Durnin-Womersley- Siri

$$\% \text{ grasa} = (4,95/D) - 4,5) \times 100 \text{ (Siri 1961)}$$

Donde: **D** = Densidad

En adultos, la densidad se determina por medio de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Hombres } D = 1.160 - (0.0632 \times \text{Log } \Sigma \text{ Pliegues cutáneos})$$

$$\text{Mujeres } D = 1.1581 - (0.0720 \times \text{Log } \Sigma \text{ Pliegues cutáneos})$$

Los pliegues cutáneos utilizados en esta ecuación son: tríceps, subescapular, bíceps e ileocrestal (55).

Ecuación de Yuhasz

$$\% \text{ grasa en hombres} = (\Sigma \text{ pliegues cutáneos}) \times 0,097 + 3,64$$

$$\% \text{ grasa en mujeres} = (\Sigma \text{ pliegues cutáneos}) \times 0,1429 + 4,56$$

Los pliegues cutáneos utilizados en esta ecuación son: tríceps, subescapular, supraespinal, abdominal, muslo y pierna (56).

Además de determinar el porcentaje de grasa corporal, es importante evaluar la obesidad abdominal, la cual se relaciona con la obesidad visceral, por esta razón, se debe medir el perímetro de la cintura. Existen diversos sitios corporales para medirlo: inmediatamente debajo de la costilla inferior, en la parte más angosta del abdomen, en el borde superior de la cresta ilíaca (Instituto Nacional de Salud de los Estados Unidos- NIH) y en el punto medio entre el borde inferior de la última costilla y el borde superior de la cresta ilíaca (OMS) (57).

El Adult Panel Treatment -ATP III, definió la obesidad central cuando el valor del perímetro es superior a 102 cm en hombres y a 88 cm en mujeres (58). La Federación Internacional de Diabetes-IDF propuso valores para definir la obesidad central en diferentes grupos étnicos y recomendó que para Latinoamérica se aplicaran los puntos de corte establecidos para surasiáticos (hombres, mayor o igual a 90 cm y mujeres, mayor o igual a 80 cm) (59). El Consenso Colombiano de Síndrome Metabólico acogió estos valores (60).

Ross *et al*, efectuaron una revisión sistemática y concluyeron que existen diferencias mínimas cuando se aplican los protocolos propuestos por la OMS y el NIH, enfatizan que el del NIH es más sencillo (61). Aunque algunos autores han utilizado el punto medio para la medición de la cintura (62-64), otros plantean que las consecuencias de la obesidad visceral no se modifican dependiendo del sitio de la medición (65).

Recomendaciones

Los estudios que han validado las ecuaciones predictivas para la determinación del gasto energético identifican limitaciones para aplicarlas a diferentes grupos poblacionales, por lo cual, dadas las condiciones geográficas de altitud, clima y variabilidad étnica en Colombia, es necesario validar su precisión para la determinación de los requerimientos energéticos en adultos.

Esta revisión del estado del arte identifica la necesidad de desarrollar proyectos de investigación orientados a efectuar la medición de la composición corporal y del gasto energético por calorimetría indirecta en diferentes grupos poblacionales, que sirvan de referencia para Latinoamérica.

Dedicatoria

A nuestra compañera y amiga Mercedes Mora Plazas por sus aportes académicos, los cuales han enriquecido nuestro trabajo en el tema tratado.

Referencias

1. **Esteves de Oliveira FC, de Mello Cruz AC, Gonçalves Oliveira C, Rodrigues Ferreira Cruz AC, Mayumi Nakajima V, Bressan J.** Gasto energético de adultos brasileños saludables: una comparación de métodos. *Nutr Hosp.* 2008; 23:554-61.
2. **Angel LA, Barrera Ma del P.** Evaluación nutricional de adulto hospitalizado. En: Murgueitio R y col. Editores. Asociación Colombiana de Medicina Interna. Métodos diagnósticos en medicina clínica- Enfoque práctico. Bogotá. Celsus. 2007:163-72.
3. World Health Organization (WHO). Obesity: preventing and managing the global epidemic. Geneva: World Health Organization. 1998.
4. **Levine JA.** Measurement of energy expenditure. *Public Health Nutr.* 2005; 8:1123-32.
5. **Henry CJK.** Basal metabolic rate studies in humans: measurement and development of new equations *Public Health Nutr.* 2005; 8:1133-52.
6. **Aleman-Mateo H, Salazar G, Hernández-Triana M, Valencia ME.** Total energy expenditure, resting metabolic rate and physical activity level in free-living rural elderly men and women from Cuba, Chile and Mexico. *Eur J Clin Nutr.* 2006; 60:1258-65.
7. **Mataix J, Martínez JA.** Balance de energía corporal. En: *Nutrición y alimentación humana.* Mataix J Ed. Oceano/Ergon. Barcelona. 2006:703-22.
8. **Mahan LK, Escott-Stump S.** Dietoterapia de Krause. Edit. Elsevier Masson. 12^a. ed. Barcelona 2009: 22-37.
9. **Compher C, Frankenfield D, Keim N, Roth-Yousey L.** Best Practice methods to apply to measurement of resting metabolic rate in adults: a systematic review. *Am J Diet Assoc.* 2006; 106:881-903.
10. **Wickel EE, Eisenmann JC.** Within- and between-individual variability in estimated energy expenditure and habitual physical activity among young adults. *Eur J of Clin Nutr.* 2006; 60:538-44.
11. Food and Nutrition Board. Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids (Macronutrients). Washington: National Academy Press; 2005. (Reporte en Internet) (Consultado en Octubre 2010). Disponible en: <http://www.nap.edu/catalog/10490.html>.
12. (Stob NR, Bell C, Baak MA, Seal DR. Thermic effect of food and -adrenergic thermogenic responsiveness in habitually exercising and sedentary healthy adult humans. *J Appl physiol.* 2007;103:616-22.
13. **Watanabe T, Nomura M, Nakayasu K, Kawano T, Ito S, Nakaya Y.** Relations between thermic effect of food, insulin resistance and autonomic nervous activity. *J Med Invest.* 2006;53:153-58.
14. **Lawrence C, Ugrasbul F.** Prediction of daily energy expenditure during a feeding trial using measurements of resting energy expenditure, fat-free mass, or Harris-Benedict equations. *Am J Clin Nutr.* 2004; 80: 876-80.

15. **Seale JL.** Energy expenditure measurements in relation to energy requirements. *Am J Clin Nutr.* 1995; 62 (suppl):1042S-6S.
16. **Patiño JF.** Determinación del gasto energético en el paciente quirúrgico. En: *Metabolismo Nutrición y Schock.* Ed Panamericana. Bogotá. 2006:181-93.
17. **Durnin JVGA, Borckway JM.** Determination of the total daily energy expenditure in man by indirect calorimetry: assessment of the accuracy of a modern technique. *Nutr.* 1959; 13:41-53.
18. **Weijs PJM, Kruizenga HM, Dijk AE, Meij BS, Langius JAE, Knol DL, Strack RJM et al.** Validation of predictive equations for resting energy expenditure in adult outpatients and inpatients. *Clin Nutr.* 2008; 27:150-57.
19. **Harris JA, Benedict FG.** A Biometric Study of the Basal Metabolism in Man. Washington, DC: Carnegie Institution of Washington; 1919. Publication No. 279.
20. **Melzer K, Karsegard VL, Genton L, Kossovsky MP, Kayser B, Pichard C.** Comparison of equations for estimating resting metabolic rate in healthy subjects over 70 years of age. *Clin Nutr.* 2007; 26:498-505.
21. **Lorenzo DA, Tagliabue A, Andreoli A, Testolin G, Comelli M, Deurenberg P.** Measured and predicted resting metabolic rate in Italian males and females, aged 18 ± 59 y. *European Journal of Clinical Nutrition.* 2001; 55: 208-214.
22. **Ferro-Luzzi A.** The conceptual framework for estimating food energy Requirement Public Health Nutrition. 2005; 8:940-52.
23. **FAO/WHO/UNU.** Energy and protein requirements. 1985. 220 p.
24. **FAO/WHO/UNU.** Human energy requirements. 2005. 96 p.
25. **Spears KE, Kim H, Behall KM, Conway JM.** Hand-Held indirect calorimeter offers advantages compared with prediction equations, in a group of overweight women, to determine resting energy expenditures and estimated total energy expenditures during research screening. *J am Diet Assoc.* 2009;109:836-45.
26. **Müller MJ, Bosy-Westpha Al, Klau S, Kreyman G, Lührmann PM, Neuhaüser-Berthold M, et al.** World Health Organization equations have shortcomings for predicting resting energy expenditure in persons from a modern, affluent population: generation of a new reference standard from a retrospective analysis of a German database of resting energy expenditure. *Am J Clin Nutr.* 2004; 80:1379-90.
27. **Froehle AW.** Climate Variables as Predictors of Basal Metabolic Rate: New Equations. *Am J of Human Biology.* 2008; 20:510-29.
28. **Schoeller DA.** Recent Advances from Application of Doubly Labeled Water to measurement of Human Energy Expenditure. *J. Nutr.* 1999; 129:1765-68.
29. **Heysfield S, Lohman T, Wang Z, Going S.** Composición Corporal. Edit. Mc Graw Hill. 2ª. Ed. México, 2005. 523 p.
30. **Kyle U, Piccoli A, Pichard C.** Body composition measurements: interpretation finally made easy for clinical use. *Clinical Nutrition and Metabolic Care.* 2003; 6:387-93.
31. **Heysfield SB, Wang ZM, Baumgartner RN, Ross R.** Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr.* 1997; 17:527-58.
32. **Velázquez M, Pietrobelli A.** Aspectos históricos y métodos actuales en el estudio de la composición corporal. *Nutrición Clínica.* 2006; 9:40-8.
33. **Pietrobelli A, Heysfield SB, Wang ZM, Gallagher D.** Multi-component body composition models: recent advances and future directions. *Eur J Clin Nutr.* 2001; 55: 69-75.
34. **Druet C, Ong KK.** Early childhood predictors of adult body composition. *Best Practice and Research: Clin Endocrinol and Metab.* 2008; 22:489-502.
35. **Restrepo MT.** Estado nutricional y crecimiento físico. Edit. Universidad de Antioquia. 1ª. Ed. Medellín. 2000.571 p.
36. **Deng HW, Lai DB, Conway T, Li J, Xu FH, Davies KM, Recker RR.** Characterization of Genetic and Lifestyle Factors for Determining Variation in Body Mass Index, Fat Mass, Percentage of Fat Mass, and Lean Mass. *J Clin Densitom.* 2001; 4:353-61
37. **Correa I, Benjumea MV.** Cómo evaluar el estado nutricional el estrés metabólico? En: *Cómo evaluar el estado nutricional.* Edit. Universidad de Caldas. 1ª ed. 2005. p 25-181.
38. **Kyle UG, Genton L, Gremion G, Slosman DO, Pichard C.** Aging, physical activity and height-normalized body composition parameters. *Clin Nutr.* 2004; 23:79-88.
39. **Aslam M, Eckhauser AW, Dorminy CA, Dossett CM, Choi, Buchowski MS.** Assessing body fat changes during moderate weight loss with anthropometry and bioelectrical impedance. *Obes Res Clin Pract.* 2009; 3:209-10.
40. **Deurenberg P, Deurenberg-Yap M.** Validity of body composition methods across ethnic population groups. *Acta Diabetol.* 2003; 40:S246-S249.
41. **Casanova Román M, Paul Torres S, Casanova Bellido M.** Bases físicas del análisis de la impedancia bioeléctrica. *Vox Paediatr.* 1999; 7:139-43.

42. **Valliant MW, Tidwell DK.** Validation of bioelectrical impedance against dual-energy X-ray absorptiometry in adult, african american females. *J of Am Diet Ass.* 2007; 107: (Suppl. 1):A 29.
43. Pace N, Rathbun EN (1945) Studies on body composition III. The body water and chemically combined nitrogen content in relation to fat content. *J Biol Chem.* 158: 685-91.
44. **Erceg D, Dieli-Conwright Ch, Rosuello A, Jensky N, Sun S, Schroeder ET.** The stayhelthy bioelectrical impedance analyzer predicts body fat in children and adults. *Nutr Res.* 2010; 30:297-304.
45. **Bosy-Westphal A, Danielzik S, Dörhöfer RP, Piccoli A, Muller MJ.** Patterns of bioelectrical impedance vector distribution by body mass index and age: implications for body-composition analysis. *Am J Clin Nutr.* 2005; 82:60.
46. **Shafer KJ, Siders WA, Johnson LK, Lukaski HC.** Validity of segmental multiple-frequency bioelectrical impedance analysis to estimate body composition of adults across a range of body mass indexes. *Nutrition.* 2009; 25: 25-32.
47. **Ward LC, Dyer JM, Byrne NM, Sharpe KK, Hills AP.** Validation of a three-frequency bioimpedance spectroscopic method for body composition analysis. *Nutrition.* 2007; 23:657-64.
48. **Gibson AL, Holmes JC, Desautels RL, Edmunds LB, Nuudi L.** Ability of new octapolar bioimpedance spectroscopy analyzers to predict four-components-model percentage body fat in Hispanic, black, and white adults. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008; 87:332-8.
49. **Santos MG, Marrodán MD, Mesa MS, Cabañas MD, González M.** Análisis de la composición corporal mediante bia tetrapolar y bipolar en población juvenil española. *Genes ambiente y enfermedades en poblaciones humanas.* 2008; 639-48.
50. **Daniel JA, Sizer PS, Latman NS.** Evaluation of body composition methods for accuracy. *Biomed Instrum Technol.* 2005; 39:397-405.
51. **Westerterp KR.** Basic concepts in nutrition: Body composition and its measurement. *e-SPEN, the European e-Journal of Clinical Nutrition and Metabolism.* 2008; 3: e126-e129.
52. **Mataix J, López M.** Valoración del estado nutricional. En: *Nutrición y alimentación humana.* Mataix J Ed. Oceano/Ergon. Barcelona. 2006:752-69.
53. **Lukaski HC.** Evaluation of body composition: why and how? *Mediterr J Nutr Metab.* 2009; 2:1-10.
54. **Kyle U, Schutz Y, Dupertuis Y, Pichard C.** Body Composition Interpretation: Contributions of the Fat-Free Mass Index and the Body Fat Mass Index. *Nutrition.* 2003; 19:597-604.
55. **Durnin J, Womersley J.** Body fat assessment from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* 1974; 32:77-97.
56. **Yuhasz NS.** *Physical Fitness Manual.* University of Western Ontario, Canada. 1974.
57. National Institutes of Health-NIH. The practical guide identification, evaluation, and treatment of overweight and obesity in adults. Publication N° 00-4084 october 2000.
58. Executive Summary of the Third Report of the National Cholesterol Education Program. Expert Panel on Detection, Evaluation and Treatment of High Blood Cholesterol in Adults (Adult Treatment Panel III) *JAMA.* 2001; 285:2486-97.
59. **Zimmet P, Alberti KG, Serrano M.** Una nueva definición mundial del síndrome metabólico propuesta por la Federación Internacional de Diabetes: fundamento y resultados. *Rev Esp Cardiol.* 2005; 58:1371-6.
60. **Barrera MP, Pinilla AE, Cortes E, Mora G, Rodríguez María N.** Síndrome metabólico: una mirada interdisciplinaria. *Revista Colombiana de Cardiología.* 2008;15:111-126.
61. **Ross R, Berentzen T, Bradshaw AJ, Janssen I, Kahn HS, Katzmarzyk PT et al.** Does the relationship between waist circumference, morbidity and mortality depend on measurement protocol for waist circumference?. *Obesity Reviews.* 2008; 9:312-25.
62. **Hauner H, Bramlage P, Löscher, Heribert S H, Wasem J.** Overweight, Obesity and High Waist circumference. Regional Differences in Prevalence in Primary Medical Care. *Dtsch Arztebl Int.* 2008; 105:827-33.
63. **Bouguerra R, Alberti H, Smida H, Salem LB, Rayana CB, El Atti J et al.** Waist circumference cut-off points for identification of abdominal obesity among the tunisian adult population. *Diabetes, Obesity and Metabolism.* 2007;9: 859-68.
64. **González-Chávez A, Simental L, Elizondo-Argueta, S, Sánchez J, Gutiérrez Salgado J, Guerrero-Romero F.** Prevalencia del síndrome metabólico entre adultos mexicanos no diabéticos, usando las definiciones de la OMS, NCEP-ATPIIIa e IDF. *Rev Med Hosp Gen Mex.* 2008; 71:11-19.
65. **Mason C, Katzmarzyk PT.** Effect of the Site of Measurement of Waist Circumference on the Prevalence of the Metabolic Syndrome. *Am J Cardiol.* 2009;103:1716 -20.