

# Técnicas de valoración del estado nutricional

Dr. M. Casanova Román

Servicio de Pediatría. Hospital del SAS de La Línea. La Línea, Cádiz

## INTRODUCCIÓN

La valoración del estado nutricional tiene un gran interés en su aplicación a individuos y en el estudio de grandes masas de población. En pediatría su importancia radica en que con el crecimiento se producen variaciones no sólo del peso y la talla sino también de la composición corporal. La cuantificación de los componentes corporales es fundamental para el estudio de la obesidad y otros trastornos nutricionales.

La investigación de la composición corporal se centra en tres áreas interconectadas: el estudio de sus componentes y sus interrelaciones; el desarrollo y evaluación de métodos para su medición; y el estudio de los factores que la influyen<sup>1</sup>.

El cuerpo humano tiene mas de 30 componentes, llamados a veces compartimentos, que se distribuyen en cinco niveles de organización: atómico, molecular, celular, tisular y corporal total. La suma de

todos los componentes a cada nivel corporal equivale al peso corporal total (figura 1)<sup>2,4</sup>. La comprensión de las bases teóricas y empíricas de estos niveles, y sus interrelaciones entre componentes en distintos niveles, son fundamentales para aplicar los diferentes métodos de estudio.

## MODELOS DE COMPOSICIÓN CORPORAL

### Atómico

El cuerpo humano está formado principalmente por 11 elementos que son responsables de más del 99% de su peso total<sup>1</sup>. Estos elementos son la base para la reconstrucción a nivel molecular. El conocimiento de la existencia de proporciones estables en los triglicéridos entre el carbono (76,7%), hidrógeno (12,0%) y oxígeno (11,3%) nos sirve para deducir la masa corporal libre de carbono y el desarrollo de

ATÓMICO	MOLECULAR	CELULAR	TEJIDOS-SISTEMAS	CUERPO TOTAL		
N, Ca, P, K, Na, Cl	Lípidos	Masa celular	Adipocitos	Tejido adiposo	H O M B R E	
H	FFM		Agua	Células		Músculo esquelético
C		Líquido extracelular				Órganos y residuos
O		Proteínas		Sólidos extracelulares		Esqueleto
		Glucógeno				
	Mineral					

Figura 1. Modelos de estudio de la composición corporal. FFM: Masa magra

métodos para deducir los triglicéridos corporales totales o "grasa" desde el carbono corporal total y otros elementos<sup>5,6</sup>.

### Molecular

Los 11 elementos principales y los elementos traza adicionales que se encuentran en escasa cantidad se combinan para formar compuestos químicos que se agrupan en las categorías que definen el nivel molecular<sup>1</sup>. Los principales componentes de este nivel son el agua, los lípidos, proteínas, minerales y carbohidratos. Estos componentes se agrupan en componentes mayores como la masa magra (que incluye agua, proteínas, minerales) y otros compuestos no grasos que están presentes en cantidades más pequeñas<sup>1,3</sup>.

### Celular

Los tres componentes principales son la masa celular, líquido extracelular y sólidos extracelulares. En los adipocitos se almacenan los triglicéridos, los triglicéridos almacenados se excluyen de la estimación de la "masa celular corporal", término que se refiere a la porción protoplásmica activa de las células. Por ello, este nivel se considera compuesto por grasa, masa celular corporal, líquido extracelular y sólidos extracelulares. Tanto la masa celular corporal como la masa magra, a nivel molecular, se utilizan con frecuencia en estudios de investigación como medida de la masa tisular metabólicamente activa<sup>1,3,7,8</sup>.

### Tejidos-sistemas

Sus principales componentes son el tejido adiposo, el músculo esquelético, el hueso y los órganos (por ej., hígado, riñones, corazón, etc.). El tejido adiposo incluye a los adipocitos con fibras de colágeno, fibroblastos, capilares y líquido extracelular. Existen cuatro tipos de tejido adiposo: subcutáneo, visceral, intersticial, y medular óseo. Al igual que en otros niveles, los componentes se agrupan en compartimentos metabólicamente activos como "masa corporal libre de tejido adiposo"<sup>1,9</sup>.

### Cuerpo total

El nivel corporal total incluye características del cuerpo como la masa y densidad corporales, talla, resistencias, perímetros, pliegues cutáneos. Gran parte de los trabajos de campo se realizan a este nivel de estudio. Medidas como los pliegues se utilizan con ecuaciones de predicción para estimar componentes (por ej., grasa y músculo esquelético) en los otros cuatro niveles de estudio<sup>1</sup>.

La importancia de conocer estos modelos radica en que los métodos de medición se basan en ellos y se hallan influenciados por las suposiciones que cada uno de dichos modelos asume.

## MÉTODOS DE ESTUDIO DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL

Existen diferentes métodos para valorar la composición corporal, aunque ninguno de ellos es perfecto, por lo que es necesario conocer sus limitaciones<sup>10</sup>. En la tabla I se presentan las principales características de los diferentes métodos.

### 1. Métodos usados en investigación

#### 1.1. Análisis de activación neutrónica

Entre las técnicas no antropométricas, la más precisa es el análisis de activación neutrónica (AAN), considerada como "patrón oro", pero tiene la mayor complejidad técnica y coste.

El oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno explican más del 95% del peso corporal y siete elementos más (sodio, potasio, fósforo, cloro, calcio, magnesio y azufre) comprenden más del 99,5% del peso corporal. Algunos elementos mantienen una relación estable con otros o con compuestos químicos (por ej., C/triglicéridos = 0,77), por ello la estimación de los elementos *in vivo* permite la evaluación de otros componentes (por ej., proteínas y triglicéridos)<sup>1,3,9,11-13</sup>.

Los sistemas de activación neutrónica corporal total diseñados para estudios *in vivo* liberan un haz moderado de neutrones rápidos al sujeto. La captura de estos neutrones por los átomos de los elementos diana corporales crean isótopos inestables como el <sup>49</sup>Ca y <sup>15</sup>N, que retornan a su condición estable por la emisión de uno o más rayos gamma de energía característica. La radiación del sujeto se determina con un contador del radioespectro de las emisiones, y los datos se obtienen desde el sujeto ubicado cuidadosamente con respecto a una serie de receptores en una capa altamente blindada. Se aplica un análisis espectrográfico gamma estándar, el nivel de energía identifica el elemento y el nivel de actividad, su abundancia<sup>3,9,12</sup>. Por tanto, es una técnica analítica que se basa en reacciones nucleares más que en reacciones químicas. Las variables esenciales incluyen la densidad de flujo neutrónico, abundancia de isótopos, el corte transversal del elemento diana, la vida media de los isótopos producidos y la emisión de energía de la actividad inducida.

Sus desventajas son su elevado coste, el requerir personal especializado para su mantenimiento y

**Tabla I Comparación de las técnicas de estudio de la composición corporal**

Técnica	Precisión	Coste	Duración (min)	Dificultad	Peligro
AAN	Muy alta	Muy alto	30	Muy alta	Irradiación
RMN	Alta?	Muy alto	30-60	Muy alta	No
Densitometría	Muy alta	Alto	20	Alta	No
DEXA	Alta	Alto	20	Alta	Irradiación
TOBEC	Alta	Muy alto	10	Baja	No
Antropometría	Baja	Bajo	5	Baja	No
NIR	Baja	Bajo	5	Baja	No
BIA	Alta	Bajo	5	Baja	No

AAN: Análisis de activación neutrónica. RMN: Resonancia nuclear magnética; DEXA: Densitometría de rayos X con doble nivel de energía. TOBEC: Conductancia eléctrica corporal total. NIR: Infrarrojo próximo. BIA: Análisis de la impedancia bioeléctrica.

mediciones, así como el uso de radiaciones ionizantes. Por ello, estos equipos son escasos y solo están disponibles en laboratorios de investigación<sup>1,3,9</sup>.

### 1.2. RMN y TAC

La RMN y la TAC proporcionan la oportunidad de evaluar el nivel de componentes tejidos-sistemas *in vivo*. Con ambas técnicas, usando imágenes de alta resolución, se pueden reconstruir los volúmenes tisulares, incluyendo el tejido adiposo (visceral, subcutáneo y total), músculo esquelético, cerebro, órganos, piel y hueso, entre otros. La masa del órgano o tejido se calcula como volumen del órgano / tejido por la densidad asumida<sup>3</sup>.

La RMN usa un *software* especial para distinguir músculo esquelético y tejido adiposo, siendo su principal utilidad la distinción del tejido adiposo visceral y subcutáneo<sup>14,15</sup>.

Sus desventajas son el elevado tiempo de examen, el elevado costo y los escasos estudios de validación realizados. En una valoración realizada con tres cadáveres se encontró una diferencia del 6% en la estimación de la grasa adiposa visceral por RMN y por disección<sup>16</sup>.

La TAC ha demostrado una mejor precisión en la determinación del tejido adiposo visceral que la RMN<sup>16,17</sup>. Desafortunadamente, utiliza radiaciones ionizantes por lo que existe una tendencia, en los últimos años, a favor del uso de la RMN como método de elección cuando está disponible. De cualquier modo, ambos métodos son costosos y en el momento actual se limitan al ámbito de la investigación<sup>3,9</sup>.

### 1.3. Densitometría

La valoración de la composición corporal humana midiendo la densidad corporal total es un método común usado en personas sanas que se ha convertido en un "estandar oro". Asume que el cuerpo se compone de 2 compartimentos distintos (graso y no grasoso) y que es posible determinar cada uno de éstos desde la medición de la densidad corporal total.

En este método se asume que la composición química del tejido magro es relativamente constante; así, su densidad difiere sustancialmente de la del tejido graso (1,100 vs 0,900 g/cm<sup>3</sup>). Además, se supone un nivel constante de hidratación y una proporción fija del contenido mineral con el músculo en el componente magro.

#### 1.3.1. Hidrodensitometría

La técnica más usada para medir la densidad corporal total es la determinación del volumen corporal de acuerdo con el principio de Arquímedes, que establece que el volumen de un objeto sumergido en agua es igual al volumen de agua desplazado por él. Si medimos la masa en aire y en agua, la diferencia, corregida para la densidad del agua correspondiente a la temperatura en el momento de la pesada bajo ésta, es el volumen corporal aparente. Con esta técnica hay que determinar el volumen pulmonar durante la inmersión (volumen residual pulmonar), que tiene una contribución considerable (1-2 l) a la estimación del volumen corporal total. Un segundo volumen, el gas gastrointestinal, es considerablemente menor en magnitud (~100 ml) y nunca se ha

medido, y como su variabilidad entre individuos puede ser grande (50-300 ml), puede comprometer la precisión del método densitométrico.

La metodología consiste en pesar al individuo primero en el aire y después sumergido en un tanque de agua. Se le instruye para que expulse todo el aire de los pulmones antes de llevar a cabo el pesaje en inmersión. Este sistema usa manómetros de tensión montados bajo el agua en el suelo de un tanque de acero inoxidable, y sobre éstos se ubica una superficie sobre la que se arrodilla el sujeto, o bien una silla<sup>18</sup>. El uso de estos manómetros proporciona una medida rápida y sin artefactos de la masa en el agua. Además, se usa un sistema de válvula neumática para facilitar la determinación del volumen residual pulmonar con métodos de circuito cerrado por dilución de nitrógeno o helio simultáneamente con la pesada bajo agua. Otros autores lo determinan antes o después de la inmersión.

Sus ventajas incluyen la rapidez y reproducibilidad de las determinaciones; sin embargo, no puede decirse que sea un método de empleo habitual para uso en la clínica diaria o si han de explorarse un gran número de personas.

Este método no se usa en niños pequeños, al ser difícil su inmersión y no colaborar expulsando al máximo el aire pulmonar, ni en enfermos hospitalizados, ancianos, personas extremadamente delgadas, mujeres embarazadas o edematosas<sup>9</sup>. En niños mayores tiene algunas limitaciones ya que la densidad del compartimento magro varía con la edad, lo que invalida uno de los supuestos prácticos del método<sup>19</sup>.

La precisión de las medidas de composición corporal con este sistema es de 0,0015-0,0020 g/cc, o menor del 1% de la grasa corporal<sup>20</sup>. Así, el error absoluto (por ej., kg de grasa) depende de la cantidad que pesa el sujeto.

### 1.3.2. Pletismografía de desplazamiento de aire

Estos estudios se iniciaron en Alemania a comienzos del siglo XX; se basan en la determinación de los cambios de presión que tienen lugar en un sistema de 2 cámaras que están conectadas y que mantienen entre sí presiones conocidas e iguales tras la introducción del individuo en una de ellas. Su fundamento es la ley de Boyle; al inyectar en dicha cámara, de volumen conocido, una cantidad de aire, produce un aumento de presión que es proporcional al volumen ocupado por el paciente. Conocido su volumen, se puede calcular su densidad<sup>21</sup>.

Las dificultades del método residen en los cambios de las presiones debido a las modificaciones en

**Tabla II Métodos de dilución para el estudio del agua corporal**

Agua corporal total	Deuterio, Antipirina, <sup>18</sup> O, Tritio
Agua extracelular Sacarosa,	Tiocianato, Tiosulfato, <sup>22</sup> Na, <sup>24</sup> Na, Bromuro
Volumen plasmático	T-1824 (Azul Evans), <sup>131</sup> I, <sup>125</sup> I

la temperatura y humedad de las cámaras, así como en los movimientos respiratorios o de otro tipo que realiza el sujeto. Los instrumentos actuales han sido diseñados para su uso en adultos, por lo que la precisión de esta técnica no ha sido evaluada plenamente en niños<sup>9</sup>.

### 1.4. Métodos de dilución

La mayoría de los métodos que cuantifican el agua corporal y su distribución se basan en el principio de Fick, por el que el volumen de la distribución de una sustancia se obtiene dividiendo la cantidad de dicha sustancia presente en el organismo por su concentración en plasma. Según este principio se necesita la inyección o ingestión de sustancias químicas o isótopos así como la toma de muestras en sangre o en otros líquidos corporales, como la orina, la saliva o, en el caso de algunos isótopos estables, la recogida del aliento exhalado.

El procedimiento típico incluye la ingestión o inyección intravenosa de una cantidad especificada del trazador, un período de equilibrio y un período de recogida de la muestra. El cálculo del volumen del agua corporal total (TBW) se basa en la relación simplificada:  $C_1V_1=C_2V_2$ , donde  $C_1V_1$  es la cantidad administrada del trazador,  $C_2$  es la concentración final de éste en el fluido biológico, y  $V_2$  es el volumen del TBW. Es importante resaltar que hay que hacer una corrección para la pérdida urinaria del trazador.

Son técnicas para uso en investigación que requieren el uso de contaje de radiaciones beta, cromatografía de gases, espectrometría de masas, cromatografía líquida de alta presión o absorción de infrarrojos, según el tipo de trazador<sup>39</sup>. En la tabla II se muestran algunos de los trazadores empleados.

### 1.5. Absorciometría de rayos X con doble energía (DEXA)

El DEXA se desarrolló para medir contenido mineral óseo, pero puede medir masa grasa y representa un avance en la evaluación de la composición corporal.

Esta técnica usa dos haces de rayos X de diferentes energías (usualmente 40 y 80 keV)<sup>22</sup>. En uno de los métodos, el haz se produce constantemente y se separa en diferentes energías mediante el uso de filtros de borde k. Entre los instrumentos que emplean esta técnica están el Lunar DPX y el Norland XR-26. El segundo método, utilizado en el Hologic QDR-1000, alterna muy rápidamente el voltaje del generador de rayos X, típicamente entre 70 y 140 keV en este modelo, de forma que los haces de alta y baja energía se producen casi simultáneamente<sup>23</sup>.

Los rayos X, cuando pasan a través del cuerpo, se atenúan en diferente grado dependiendo de la cantidad y naturaleza del tejido. Por consiguiente, valora la cantidad de masa grasa y magra, y el contenido mineral óseo<sup>24,25</sup>. Además, con este sistema pueden realizarse análisis segmentarios de la composición corporal.

La dosis de radiación (menor de 1 mrem) es lo suficientemente pequeña como para que sea éticamente aceptable para su uso en niños<sup>26</sup>. Pese a su costo, es una técnica que se usa a cualquier edad, no se ve afectada por la ingesta de líquidos ni alimentos y, aunque son necesarios más estudios de validación para determinar las modificaciones por el estado de hidratación, es una técnica candidata a convertirse en patrón oro para la valoración de la grasa corporal.

En algunos centros de investigación se están evaluando técnicas de absorciometría de rayos X con triple energía, que serían una extensión del DEXA, que lograrían estimar, además del hueso y el tejido graso, el agua corporal y la masa proteica<sup>27,28</sup>.

### 1.6. Conductancia eléctrica corporal total (TOBEC)

Este método se basa en las diferencias en la conductividad eléctrica y en las propiedades dieléctricas de las masas grasa y no grasa del organismo (existe un mayor número de iones en el tejido no graso). Al introducir el cuerpo en un campo eléctrico se produce una pérdida de energía que es proporcional a la conductividad de los componentes de aquél y a su longitud<sup>29</sup>.

El aparato es una gran bobina solenoide, uniforme, por la que circula una corriente oscilante de 5 MHz durante unos segundos y el sujeto a explorar se coloca en una camilla, en posición de supino, en el interior de dicha bobina. El campo electromagnético creado induce en el individuo una corriente, cuya magnitud depende de la conductividad de éste, que produce a su vez un campo magnético secundario que es el que se mide<sup>30</sup>.

Esta técnica se ha utilizado para monitorizar cambios en el TBW, ya que no es sensible para ver cambios de líquidos o electrolitos entre los compartimentos intracelular y extracelular<sup>9</sup>. Se sugiere que utilizando TOBEC de multifrecuencia con análisis de Fourier se puede medir cada compartimento hídrico<sup>31</sup>, aunque no se han publicado más estudios al respecto.

El TOBEC es una técnica rápida, segura, fácil de realizar, apropiada para medir a un gran número de niños y con una buena reproductibilidad, precisión y exactitud<sup>32,33</sup>. Sin embargo, tiene un coste alto y es difícil de mover, por lo que no se puede usar en estudios de campo.

## 2. Métodos de estudio de campo

### 2.1. Antropometría

La antropometría, por su bondad y bajo costo, ha sido la técnica más utilizada hasta ahora en estudios clínicos y epidemiológicos<sup>34</sup>. La medida de los perímetros y los pliegues cutáneos se han utilizado ampliamente en la valoración del *status* nutricional, e incorporado a ecuaciones de predicción para la estimación de compartimentos. Sin embargo, el método antropométrico posee varios inconvenientes como son el no distinguir alteraciones de la composición corporal para determinados nutrientes, no detectar con exactitud las alteraciones ocurridas en cortos períodos de tiempo, y su menor precisión en obesos. Por ello, parece que servirían más para ver alineamiento que cifras absolutas en el momento del examen.

Otros parámetros, como el índice de masa corporal (BMI), generan una gran controversia. Se supone que el BMI representa adiposidad con independencia de raza, sexo y edad, suposiciones que no han demostrado ser ciertas<sup>35-38</sup>. Además no distinguen la grasa del músculo, por ello los niños muy musculosos pueden tener un alto BMI y ser clasificados como con sobrepeso, y los que tienen un alto porcentaje de grasa corporal o baja masa muscular pueden tener un BMI normal.

### 2.2. Infrarrojo próximo (NIR)

El NIR se basa en los principios de la absorción y reflexión de la luz mediante la espectroscopia de infrarrojos. Cuando la radiación electromagnética golpea un material, la energía se refleja, absorbe, o transmite dependiendo de las propiedades de absorción y dispersión de la muestra. La energía transmitida dentro de la muestra se dispersa y refleja hacia afuera conteniendo información sobre la composi-

**Tabla III Precisión de varios modelos de infrarrojo próximo**

Modelo	Precisión (%)
Futrex 5000	3,1-4,2
Futrex 5000A	6,3%
Futrex 1000	4,8-6,3
Suma de los 3 modelos	2,4-3,6

ción química de ésta. En humanos se usa un espectrofotómetro computarizado con un procesador único, rápido, monocromático y una sonda de fibra óptica. El aparato funciona en el modo de transmitancia y en las exploraciones se usa un rango medio de longitudes de onda de 700-1.100 nm. La sonda de fibra óptica emite radiación electromagnética desde el procesador monocromático a un sitio seleccionado del cuerpo, recoge la energía interactiva, que es la combinación de la energía reflejada y dispersada, y la conduce al detector (método de reflexión)<sup>39</sup>. La señal penetra en el tejido subyacente a una profundidad de 1 cm y la composición se valora solamente en el lugar examinado. La medición se realiza colocando el transductor de luz 2 veces sobre un punto específico del músculo bíceps<sup>39-41</sup>. La precisión de los aparatos más empleados se muestra en la tabla III.

Es posible que la radiación infrarroja proporcionada por la máquina sólo penetre hasta una distancia muy corta desde la superficie; por encima de cierto grosor de tejido adiposo habría un cambio relativamente pequeño en las lecturas de las densidades ópticas, independientemente de la masa o composición del tejido subyacente (por ej., músculo). Además, el método asume que la composición del tejido irradiado a nivel local está fuertemente relacionado con el de todo el cuerpo, que puede no ser el caso en ciertas circunstancias<sup>40</sup>.

Las ecuaciones usadas para calcular el porcentaje de grasa corporal dependen no sólo de las lecturas de densidad óptica, sino también del sexo, peso, talla y la evaluación subjetiva de la actividad física<sup>40</sup>. Estas últimas variables son por sí solas importantes predictores de la composición corporal, y la mejora resultante de la inclusión de las lecturas de densidad óptica puede ser relativamente pequeña.

Por estas razones, en un estudio reciente se encontró una correlación relativamente baja entre la estimación del porcentaje de masa grasa medida mediante Futrex 5000 y DEXA ( $r = 0,88$ ,  $p < 0,001$  y

un SEE = 5,20)<sup>42</sup>, por lo que existen dudas sobre la utilidad y precisión de este método.

Otro problema es que cuando se mide a lactantes pequeños, neonatos o pretérminos el diámetro de su brazo es inferior al de la lanza emisora-receptora del NIR (incluso en el modelo pediátrico Futrex 5000A). Al rebasar el brazo emitiría infrarrojo por los márgenes del mismo con lo que la lectura del receptor sería incorrecta (inferior a la real) y el proceso de cálculo posterior estaría alterado<sup>39</sup>.

Sus desventajas son que existen dudas sobre su relación costo/beneficio; que existen escasas ecuaciones de predicción específicas para edad y sexo, y la edad de uso; la mayoría de los equipos son para adultos o niños mayores de 5 años.

Recientemente se ha desarrollado un modelo para uso en adultos que usa 6 longitudes de onda (Futrex-6100/XL) en vez de dos, cuya precisión no se conoce.

### 2.3. Análisis de la impedancia bioeléctrica (BIA)

El BIA es un método para el estudio de la composición corporal que se basa en la naturaleza de la conducción de la corriente eléctrica a través de tejidos biológicos. Es rápido, portátil, no invasivo, barato y con poca dificultad técnica<sup>43-45</sup>.

Este método mide la impedancia u oposición al flujo de una corriente eléctrica a través de los líquidos corporales contenidos fundamentalmente en los tejidos magro y graso. La impedancia es baja en el tejido magro, donde se encuentran principalmente los líquidos intracelulares y los electrólitos, y alta en el tejido graso, por lo que es proporcional al TBW. La impedancia de un tejido biológico comprende 2 componentes, la resistencia (R) y la reactancia (Xc)<sup>43-49</sup>.

El principio en el que se basa el BIA es que la impedancia de un conductor geométrico isotrópico se relaciona con su longitud, configuración (r), área de sección y frecuencia de señal aplicada  $Z=r L/A$ .

Los términos impedancia eléctrica y resistencia se usan indistintamente en la literatura, ya que el valor de la reactancia es muy bajo en el ser humano, por ello la ecuación a veces la encontramos como  $V=r L^2/R$ .

Si r es constante vemos que  $L^2/R$  es directamente proporcional al volumen del compartimento magro, y por tanto una medida de él, y como éste se compone mayoritariamente de agua concluimos con que habría una fuerte correlación entre  $L^2/R$  y TBW<sup>44,45,49-51</sup>.

R es la oposición pura al paso de una corriente alterna y es función del área de sección, configuración, longitud del conductor y frecuencia de la

corriente<sup>52</sup>. Xc es la oposición al paso de una corriente eléctrica causada por la capacitancia producida por las interfases entre tejidos y membranas celulares.

Desde el estudio de Hoffer et al<sup>53</sup> todos los investigadores han utilizado, esencialmente, un sistema tetrapolar en el lado derecho del cuerpo porque éste minimiza la resistencia de contacto y la interacción electrodo-piel<sup>10,54</sup>. Se sitúan dos electrodos distales, que introducen la corriente, o señal, en la superficie dorsal de manos y pies, proximal a las articulaciones metacarpofalángicas y metatarsofalángicas. Dos electrodos sensores se aplican en la prominencia pisiforme de la muñeca y entre el maléolo medial y el lateral del tobillo (posición standard). La posición de los electrodos y, sobre todo, la del sensor, es uno de los factores más críticos en las medidas BIA<sup>55-60</sup>. Existen más de 30 fabricantes de analizadores BIA en todo el mundo, sin embargo el más utilizado es el RJL BIA-101 (RJL Systems, Detroit, MI) que usa una corriente alterna constante de 800  $\mu$ A a una frecuencia fija de 50 kHz. Existen también analizadores de multifrecuencia que poseen algunas ventajas.

El procedimiento general incluye el realizar las medidas unas dos horas después de comer y 30 minutos después de orinar. El sujeto está vestido, sin zapatos ni calcetines, en decúbito supino sobre una cama, con los pies en separación de 45° y los brazos de 30° respecto al tronco. Se limpia el lugar de colocación de los electrodos en la piel con alcohol con una torunda de algodón. Se pueden usar distintos tipos de electrodos y se aconseja repetir las medidas tres veces y obtener la media<sup>10,44</sup>. El incumplimiento de las condiciones expuestas en la tabla IV pueden ocasionar errores en la medición. Obtenidas las medidas, para calcular el agua corporal total (TBW), se emplean una serie de ecuaciones de predicción que se han obtenido frente a otras técnicas "patrón oro"<sup>61</sup>. Dichas ecuaciones siguen los siguientes esquemas generales:

$$TBW = a HT^2/R + c$$

$$TBW = a HT^2/R + b Wt + c$$

HT: talla; Wt: peso; a,b,c = constantes

Otras ecuaciones incluyen, además, sexo, edad, pliegues u otros parámetros, pero en general mejoran muy poco su exactitud a costa de una mayor complicación. En resumen, se usan para convertir las medidas eléctricas en una estimación del TBW o del porcentaje de masa grasa.

El índice de impedancia (talla en cm al cuadrado dividida entre R en Ohmios), que tiene relación con

**Tabla IV Condiciones de medida para la técnica de impedancia bioeléctrica tetrapolar**

Posición de supino sobre superficie no conductora  
Miembros en abducción de 45°  
Limpieza de la piel con alcohol  
Colocación exacta de los electrodos en los lugares anatómicos  
Temperatura de la habitación normal  
Ayuno de al menos 2 horas  
Sin ejercicio vigoroso previo, ingerir alcohol o estar deshidratado (al menos durante 12 horas)

Modificado de Kushner et al<sup>44</sup>

el volumen total del conductor, y por tanto es una estimación del TBW.

Los métodos para estudios de campo tienen que ser precisos, económicos, rápidos e inoocuos. De éstos se aprecia que el BIA es el más preciso, lo que explica su incorporación en importantes estudios epidemiológicos como el NHANES III, el estudio Framingham y el estudio de salud cardiovascular, lo que supone una clara apuesta por ésta técnica.

Las bondades que esta técnica posee las hemos podido comprobar en estudios en escolares<sup>62</sup> y en neonatología. Es interesante resaltar que en este campo son escasos los artículos publicados. En un estudio realizado con 38 recién nacidos de menos de 2.500 gramos, 24 adecuados a la edad gestacional (AEG) y 14 pequeños para la edad gestacional (PEG), en los que no existían diferencias mediante ANOVA en los parámetros antropométricos, se hallaron diferencias significativas en los parámetros bioeléctricos y en la edad gestacional, demostrando, por tanto, que existían diferencias en cuanto a su composición corporal y que éstas podían ser detectadas por BIA<sup>63</sup>.

Posteriormente, mediante análisis lineal discriminante se comprobó cómo la inclusión de parámetros bioeléctricos podía actuar como un potente clasificador. Por ejemplo, con las variables edad gestacional e índice de impedancia (que es una estimación del TBW) se ubican al 100% de los individuos clasificados como AEG en dicho grupo y al 92,86% de los PEG como tales<sup>64</sup>. Por tanto, existía la posibilidad de realizar clasificaciones de los recién nacidos basadas en su composición corporal.

Se realizó un intento más refinado de clasificar a los recién nacidos desarrollando redes neuronales artificiales, que son clasificadores inteligentes. Se uti-

lizaron redes del tipo multicapa perceptron. En una de ellas se utiliza el índice de impedancia, el perímetro abdominal y una predicción de TBW por medio de una ecuación predictiva. La red tiene tres neuronas ocultas y una de salida; utilizando 150.000 iteraciones para entrenarla, se logró un porcentaje de clasificaciones correctas del 91%<sup>65</sup>. Por tanto, una red neuronal entrenada predice con exactitud que niños son AEG y PEG y, en el futuro, puede ser una herramienta valiosa para el estudio de la composición corporal y para estratificar las modalidades de tratamiento de los niños con retraso de crecimiento intrauterino, que están en riesgo de presentar desórdenes metabólicos.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Wang ZM, Pierson RN, Heymsfield SB. The five models: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr* 1992; 56: 19-28.
2. Wang ZM, Heshka S, Pierson RN, Heymsfield SB. Systematic organization of body composition methodology: overview with emphasis on component-based methods. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 457-465.
3. Pietrobelli A, Wang ZM, Heymsfield SB. Techniques used in measuring human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1998; 1: 439-448.
4. Heymsfield SB, Matthews D. Body composition: Research and clinical advances-1993 A.S.P.E.N. Research workshop. *JPEN* 1994; 18: 91-103.
5. Wang ZM, Deurenberg P, Wang W, Pierson RN, Heymsfield SB. Fraction of carbon-free body mass as oxygen: a constant body composition ratio in men. *J Nutr* 1998; 128: 1008-1010.
6. Kehayias JJ, Heymsfield SB, LoMonte AF, Wang J, Pierson RN. In vivo determination of body fat by measuring total body carbon. *Am J Clin Nutr* 1991; 53: 1339-1344.
7. Wang Z, Deurenberg P, Wang W, Pietrobelli A, Baumgartner RN, Heymsfield SB. Hydration of fat-free body mass: review and critique of a classic body-composition constant. *Am J Clin Nutr* 1999; 69: 833-841.
8. Wang Z, Deurenberg P, Heymsfield SB. Cellular-level body composition model. A new approach to studying fat-free mass hydration. *Ann N Y Acad Sci* 2000; 904: 306-311.
9. Ellis KJ. Human body composition: In vivo methods. *Physiol Rev* 2000; 80: 649-680.
10. Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr* 1987; 46: 537-556.
11. Heymsfield SB, Wang ZM, Baumgartner RN, Ross R. Human body composition: advances in models and methods. *Annu Rev Nutr* 1997; 17: 527-558.
12. Kehayias JJ, Valtueña S. Neutron activation analysis determination of body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 1999; 2: 453-463.
13. Wang ZM, Pi-Sunyer FX, Kotler DP, Wielopolski L, Withers RT, Pierson RN, Heymsfield SB. Multicomponent methods: evaluation of new and traditional soft tissue mineral models by in vivo neutron activation analysis. *Am J Clin Nutr* 2002; 76: 968-974.
14. Bonora ER, Micciolo AA, Ghiatas JL, Lancaster A, Alyassin M, Muggeo M, DeFronzo RA. Is it possible to derive a reliable estimate of human visceral and subcutaneous abdominal adipose tissue from simple anthropometric measurements? *Metabolism* 1995; 44: 1617-1625.
15. Ross RJ, Rissanen H, Pedwell J, Clifford, Shragge P. Influence of diet and exercise on skeletal muscle and visceral adipose tissue in men. *J Appl Physiol* 1996; 81: 2445-2455.
16. Despres JP, Ross R, Lemieux S. Imaging techniques applied to the measurement of human body composition. En: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG (eds.). Human body composition. Champaign, IL: Human kinetics; 1996. p. 149-166.
17. Seidell JC, Bakker CJ, Van der Kooy K. Imaging techniques for measuring adipose-tissue distribution-a comparison between computed tomography and 1.5-T magnetic resonance. *Am J Clin Nutr* 1990; 51: 953-957.
18. Guo S, Roche AF, Chumlea WMC, Miles DS, Pohlman RL. Body composition predictions from bioelectric impedance. *Hum Biol* 1987; 59: 221-233.
19. Sarria Chueca A, Ruiz Lázaro PJ. Nuevos métodos en la valoración del estado nutricional del niño. *Act Nutr* 1993; (13): 27-32.
20. Méndez J, Lukaski HC. Variability of body density in ambulatory subjects measured at different days. *Am J Clin Nutr* 1981; 34: 78-81.
21. Garrow JS, Stally S, Diethelm R, Pittet PH, Hesp R, Halliday D. A new method for measuring the body density of obese adults. *Br J Nutr* 1979; 42: 173-183.
22. Davies PSW. Body composition assessment. *Arch Dis Child* 1993; 69: 337-338.
23. Bishop NJ. Valoración absorciométrica de la acreción mineral ósea en la infancia. *Act Nutr* 1995; (20): 29-34.
24. Venkataraman PS, Ahluwalia BW. Total bone mineral content and body composition by X-ray densitometry in newborns. *Pediatrics* 1992; 90: 767-770.
25. Chan GM. Performance of dual-energy X-ray absorptiometry in evaluating bone, lean bone mass and fat in Pediatric subjects. *J Bone Min Res* 1992; 7: 369-374.



26. Salle BL, Glorieux FH. Assessment of bone mineral content in infants: the new age. *Acta Paediatr* 1993; 82: 708-710.
27. Michael GJ, Henderson CJ. Monte Carlo modeling of an extended DXA technique. *Physics Med Biol* 1998; 43: 2583-2596.
28. Swanpalmer J, Kullenberg R, Hansson T. The feasibility of triple-energy absorptiometry for the determination of bone mineral, Ca and P in vivo. *Physiol Measurement* 1998; 19: 1-15.
29. Fiorotto ML, Cochran WJ, Funk RC, Sheng HP, Klish WJ. Total body electrical conductivity measurements: effects of body composition and geometry. *Am J Physiol* 1987; 252: R794-R800.
30. Harrison GGA, Van Itallie TB. Estimation of body composition: a new approach based on electromagnetic principles. *Am J Clin Nutr* 1982; 35: 1176-1179.
31. Van Loan M, Mayclin P. A new TOBEC instrument and procedure for the assessment of body composition: use of Fourier coefficients to predict lean body mass and total body water. *Am J Clin Nutr* 1987; 45: 131-137.
32. Fiorotto ML, De Bruin NC, Brans YW, Degenhart HJ, Visser HK. Total body electrical conductivity measurements: an evaluation of current instrumentation for infants. *Pediatr Res* 1995; 37: 94-100.
33. De Bruin NC, Van Velthoven CAM, Stijnen T, Juttman RE, Degenhart HJ, Visser HKA. Body fat and fat-free mass in infants: new and classic anthropometric indexes and prediction equations compared with total-body electrical conductivity. *Am J Clin Nutr* 1995; 61: 1195-1205.
34. Casanova Román M, Paul Torres S, Rico de Cos S, Gomar Morillo JL, Casanova Bellido M. Análisis de los métodos antropométricos de estudio de la composición corporal. *Arch Pediatr* 1999; 50: 98-103.
35. Gallagher D, Visser M, Sepúlveda D, Pierson RN, Harris T, Heymsfield SB. How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex and ethnic groups? *Am J Epidemiol* 1996; 143: 228-239.
36. Daniels SR, Khouiry PR, Morrison JA. The utility of body mass index as a measure of body fatness in children and adolescents: differences by race and gender. *Pediatrics* 1997; 99: 804-807.
37. Prentice AM, Jebb SA. Beyond body mass index. *Obes Rev* 2001; 2: 141-147.
38. Ellis KJ, Abrams SA, Wong WW. Monitoring childhood obesity: assessment of the weight/height index. *Am J Epidemiol* 1999; 150: 939-946.
39. Nadal JM, De la Torre G, García-Marcos L, Espín M. Infrarrojo próximo: ¿Una nueva ayuda en la valoración del estado nutricional? *Act Nutr* 1995; (20): 35-41.
40. Elia M, Parkinson SA, Díaz E. Evaluation of near infrared interactance as a method for predicting body composition. *Eur J Clin Nutr* 1990; 44: 113-121.
41. Brodie DA, Eston RG. Body fat estimations by electrical impedance and infrared interactance. *Int J Sports Med* 1992; 13: 319-325.
42. Rubiano F, Núñez C, Heymsfield SB. A comparison of body composition techniques. *Ann N Y Acad Sci* 2000; 904: 335-338.
43. Chumlea WC, Guo SS. Bioelectrical impedance and body composition: Present status and future directions. *Nutr Rev* 1994; 52: 123-131.
44. Kushner RF. Bioelectrical impedance analysis: A review of principles and applications. *J Am Coll Nutr* 1992; 11: 199-209.
45. Lukaski HC. Applications of bioelectrical impedance analysis: a critical review. *Basic Life Sci* 1990; 55: 365-374.
46. Nyboer J. Electrical impedance plethysmography. Springfield, IL: Charles C Thomas, 1959.
47. Thomasset A. Propriétés bio-électriques des tissus. Mesures de l'impédance en clinique. Signification des courbes obtenues. *Lyon Med* 1962; 207: 107-118.
48. Thomasset MA. Propriétés bio-électriques des tissus. Appréciation par la mesure de l'impédance de la teneur ionique extra-cellulaire et de la teneur ionique intracellulaire en clinique. *Lyon Med* 1996; 208: 1325-1350.
49. Casanova Román M, Paul Torres S, Casanova Bellido M. Bases físicas del análisis de la impedancia bioeléctrica. *Vox Paediatr* 1999; 7: 139-143.
50. Lukaski HC, Johnson PE, Bolonchuk WW, Lykken GI. Assessment of fat-free mass using bioelectrical impedance measurements of the human body. *Am J Clin Nutr* 1985; 41: 810-817.
51. Kushner RF, Schoeller DA. Estimation of total body water by bioelectrical impedance analysis. *Am J Clin Nutr* 1986; 44: 417-424.
52. Mayfield SR, Uauy R, Waidelich D. Body composition of low-birth-weight infants determined by using bioelectrical resistance and reactance. *Am J Clin Nutr* 1991; 54: 296-303.
53. Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC. Correlation of whole-body impedance with total body water volume. *J Appl Physiol* 1969; 27: 531-534.
54. Hoffer EC, Meador CK, Simpson DC. A relationship between whole body impedance and total body water volume. *Ann NY Acad Sci* 1970; 110: 452-461.
55. Chumlea WC, Baumgartner RN, Roche AF. Specific resistivity used to estimate fat-free mass from segmental body measures of bioelectric impedance. *Am J Clin Nutr* 1988; 48: 7-15.
56. Barillas-Mury C, Vettorazzi C, Molina S, Pineda O. Experience with bioelectrical impedance analysis in young children: sources of variability. En: Ellis KJ, Yasamura S, Morgan WD (eds.). In vivo body composition studies. London: The Institute of Physical Sciences in Medicine; 1987. p. 87-90.

57. Fjeld CR, Freundt-Thurne J, Schoeller DA. Total body water measured by  $^{18}\text{O}$  dilution and bioelectrical impedance in well and malnourished children. *Pediatr Res* 1990; 27: 98-102.
58. Gartner A, Maire B, Delpeuch F, Sarda P, Dupuy RP, Rieu D. Importance of electrode position in bioelectrical impedance analysis [letter]. *Am J Clin Nutr* 1992; 56: 1067-1068.
59. Gartner A, Maire B, Delpeuch F, Sarda P, Dupuy RP, Rieu D. The use of bioelectrical impedance analysis in newborns. The need for standardization. *Basic Life Sci* 1993; 60: 165-168.
60. Sidhu JS, Triggs EJ, Charles BG, Tudehope DI. Electrode placement in neonatal bioelectrical impedance analysis. *Med Biol Eng Comput* 1994; 32: 456-459.
61. Segal KR, Van Loan M, Fitzgerald PI, Hodgdon JA, Van Itallie TB. Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: four-site cross-validation study. *Am J Clin Nutr* 1988; 47: 7-14.
62. Casanova Román M, Rodríguez Ruiz IM, Rico de Cos S, Casanova Bellido M. Análisis de la composición corporal por parámetros antropométricos y bioeléctricos. En preparación.
63. Casanova Román M, Jiménez-Jiménez A, Paul Torres S, Rodríguez Ruiz IM, Mariño Gil A, Casanova Bellido M. Composición corporal del recién nacido de bajo peso. Análisis de las diferencias según la edad gestacional. *Vox Paediatr* 1999; 7: 23-28.
64. Casanova-Román M, Jiménez A, Ríos J, De Tapia JM, Rico S, Casanova-Bellido M. Classification of newborns using bioelectrical impedance analysis: Validation of methodology by linear discriminant analysis. En: Cabero L, Carrera JM (eds.). *Perinatology 2001*. Bolonia: Monduzzi Editore; 2001. p. 617-621.
65. Casanova-Román M, Jiménez A, De Tapia JM, Rico S, Casanova-Bellido M. Artificial neural network for predicting retarded intrauterine growth in newborns by means of bioelectrical parameters. *J Matern Fetal Med* 2002; 11 (Suppl 1): 175.