

Métodos de evaluación de la composición corporal: una revisión actualizada de descripción, aplicación, ventajas y desventajas

Oswaldo Costa Moreira^{1,2}, Diego A. Alonso-Aubin¹, Cláudia E. Patrocínio de Oliveira^{1,3}, Ramón Candia-Luján⁴, José A. de Paz⁴

¹Instituto de Biomedicina (IBIOMED). Universidad de León. España. ²Instituto de Ciências Biológicas e da Saúde. Universidade Federal de Viçosa. Campus Florestal. Minas Gerais. Brasil. ³Departamento de Educação Física. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. Minas Gerais. Brasil. ⁴Facultad de Ciencias de la Cultura Física. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua. México.

Recibido: 30.03.2015
Aceptado: 29.06.2015

Resumen

El estudio de la composición corporal es un tema de interés creciente que puede ser utilizado tanto para la investigación como para fines clínicos. Para los profesionales de las ciencias de la salud es importante conocer las características de los diferentes métodos de evaluación y análisis de la composición corporal, ya que cambios en ésta guardan relación directa con la salud y el riesgo de enfermedades. Actualmente, los métodos de análisis de la composición corporal son divididos en tres grupos, donde están el directo, los indirectos y los doblemente indirectos. El método directo es la disección de cadáveres. Entre los indirectos encontramos la tomografía axial computarizada, la resonancia magnética nuclear (RMN), la absorciometría dual de rayos X y la plestimografía; y en lo referente a los métodos doblemente indirectos destacan la antropometría y la impedancia bioeléctrica. Así, este trabajo tiene como objetivo revisar los métodos más utilizados para el análisis de la composición corporal, describiéndoles, analizando sus aplicaciones, ventajas y desventajas. Se llevó a cabo una búsqueda de artículos en las bases de datos PubMed, Web of Science, Scopus, SportDiscus y Google Académico. Las palabras usadas fueron, *body composition*, *body mass*, *body fat*, *muscle mass*, *fat mass*, *measurement*, *assessment* y *evaluation*, aisladas o combinadas, y sus respectivos sinónimos en castellano y portugués. Fueron encontrados 221 artículos, de los cuales fueron seleccionados 59 para esta revisión. Se concluye que los diferentes métodos para evaluar la composición corporal presentan ventajas y desventajas, que deben ser analizados cuando se elige el método a ser empleado, para intentar minimizar sus desventajas y potencializar sus ventajas.

Key words:

Composición corporal.
Antropometría. DXA.
Grasa corporal. Masa corporal.

Methods of assessment of body composition: an updated review of description, application, advantages and disadvantages

Summary

The study of body composition is a topic of growing interest that can be used both for research and for clinical purposes. For professionals of health sciences is important to know the characteristics of the different methods of evaluation and analysis of body composition because, it changes are directly related to health and disease risk. Currently, methods of analysis of body composition are divided into three groups, which are direct, indirect and double indirect. The direct method is the dissection of cadavers. Indirect find computed tomography, magnetic resonance imaging, dual X-ray absorptiometry and plethysmography and in terms of the doubly indirect methods include anthropometry and bioelectrical impedance. Thus, this paper is aimed to review the most used for analysis of body composition by describing, analyzing their applications, advantages and disadvantages methods. Was conducted a search of article in databases PubMed, Web of Science, Scopus, SportDiscus and Google Scholar. The words used were, *body composition*, *body mass*, *body fat*, *muscle mass*, *fat mass*, *measurement*, *assessment* and *evaluation*, isolated or combined and their alternatives in Castilian and Portuguese. Were selected articles that were in English, Castilian and Portuguese. They were found 221 articles, of which 59 were selected for this review. It is concluded that the different methods for assessing body composition have advantages and disadvantages, which should be analyzed when choosing the method to be used to try to minimize the disadvantages and empower its advantages.

Palabras clave:

Body composition.
Anthropometry. DXA. Body fat.
Body mass.

Apoyos recibidos: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, por la beca de doctorado fornecida para Oswaldo Costa Moreira y a el Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por la beca de doctorado fornecida para Claudia Eliza Patrocínio de Oliveira. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG por la ayuda con los costes de publicación del presente trabajo de investigación.

Correspondencia: Oswaldo Costa Moreira
E-mail: osvaldo.moreira@ufv.br

Introducción

El rápido cambio en el campo de las ciencias de la salud, hace que la formación inicial de los profesionales que están involucrados en este área se vuelva rápidamente obsoleta. Nuevos equipos y tecnologías, así como procedimientos y nuevas prácticas son temas que requieren constante actualización de conocimientos en las ciencias de la salud¹.

El estudio de la composición corporal es un tema de interés creciente y que puede ser llevado a cabo tanto para fines de investigación (sirviendo como modelo para futuras aplicaciones prácticas), como para fines clínicos, para hacer un análisis de las condiciones clínicas de determinado sujeto o grupo de sujetos. En las dos vertientes, los profesionales del área de las ciencias de la salud deben tener conocimiento de los métodos, de sus técnicas, sus ventajas y desventajas para que pueda elegir cuál de las diferentes opciones es la más adecuada para sus necesidades.

Además, para los profesionales de las ciencias de la salud es importante conocer las características de los diferentes métodos de evaluación y análisis de la composición corporal, toda vez que cambios en ésta tienen relación directa con el estado de salud del sujeto y con el incremento o la disminución del riesgo de desarrollo de enfermedades crónicas degenerativas^{2,3}.

Así, el objetivo de este trabajo fue revisar los métodos más utilizados para la evaluación de la composición corporal, describiéndolos, analizando sus aplicaciones, ventajas y desventajas.

Estrategia de búsqueda de los artículos

La búsqueda de artículos se llevó a cabo, en el mes de enero del 2015, en las bases de datos PubMed, Web of Science, Scopus, SportDiscus y Google Academico. Las palabras usadas fueron, *body composition*, *body mass*, *body fat*, *muscle mass*, *fat mass*, *measurement*, *assessment* y *evaluation*, aisladas o combinadas y sus respectivos sinónimos en castellano y portugués. Los criterios de inclusión de los artículos fueron los siguientes: que los estudios estuviesen en inglés, castellano o portugués, realizado en humanos, que fueron publicados en revistas periódicas indexadas en una de las bases, que los términos de búsqueda estuviesen en el título o resumen del artículo, sin restricción en la fecha de publicación y que fuera posible el acceso al artículo completo.

Después de descartar los artículos repetidos, fueron obtenidos 221 artículos que cumplieren los criterios establecidos de búsqueda. Fueron analizados por su resumen y en el caso de contener alguna información relevante o no clara, el estudio era seleccionado y capturado como texto completo para lectura. Artículos referenciados en los trabajos leídos, cuando fue necesario, también se consultaron en su versión original. En total, fueron seleccionados 59 artículos de acuerdo con los objetivos de este estudio. Aunque no se estableció la fecha, como criterio de inclusión de los estudios, se intentó buscar estudios más recientes (últimos 5 años) que aportasen informaciones más actualizadas sobre los métodos de evaluación de la composición corporal.

Organización de la composición corporal

Los principales componentes del organismo humano están organizados en cinco niveles, jerarquizados según su connotación biológica, siendo estos el nivel atómico, el molecular, el celular, el tisular y el global^{4,5}. En el nivel atómico, la masa corporal está compuesta básicamente por once elementos químicos, así la composición corporal podría dividirse en oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, azufre, sodio, cloruro y magnesio. Ya a nivel molecular, la composición corporal puede ser dividida en seis componentes: los lípidos, las proteínas, los carbohidratos, los minerales óseos, los minerales no óseos y el agua^{4,5}.

La composición corporal en el nivel celular tiene tres compartimentos: las células, los líquidos extracelulares y los sólidos extracelulares. Por otro lado, el nivel tisular de la composición corporal está formado por cinco componentes: el tejido adiposo, tejido muscular esquelético, tejido óseo, órganos y vísceras y tejido residual. Por último, en el nivel global la composición corporal no es resultado del fraccionamiento del cuerpo, pero sí de las propiedades de éste como talla, índice masa corporal, superficie corporal y densidad corporal^{6,7}.

Este interés en medir la composición corporal tuvo su inicio en el siglo XIX. Hasta el inicio del siglo XX, el análisis de la composición corporal era llevado a cabo a través de la disección de cadáveres, que actualmente es considerada el único método directo de evaluación de la composición corporal. Después, a mediados del siglo XX surgieron los métodos indirectos que establecen los principios utilizados hasta el día de hoy, el pesaje hidrostático (estándar para todos los otros métodos indirectos) y el modelo de dos componentes (masa grasa y masa libre de grasas) como base para los estudios de la composición corporal⁸.

Actualmente, los métodos de análisis de la composición corporal son divididos en tres grupos: el directo, los indirectos y los doblemente indirectos. El método directo tiene que ver con la disección de cadáveres y por más que cuente con una excelente fiabilidad, su aplicación y utilidad es muy limitada.

Métodos indirectos de análisis de la composición corporal

Los métodos indirectos de evaluación de la composición corporal, no realizan la manipulación de los tejidos que son analizados, por lo que se realiza un análisis de la composición corporal *in vivo*. Estos métodos son validados a partir del método directo o de la densitometría y posibilitan medir/estimar los tejidos corporales. A pesar de tener alta fiabilidad, los métodos indirectos son poco accesibles, limitados y con alto coste financiero⁸.

En esta revisión, serán abordados los métodos de la tomografía axial computarizada (TAC), resonancia magnética nuclear (RMN), absorciometría dual de rayos X (DXA) y la plestimografía, debido a que son utilizadas en la investigación y en los medios clínicos.

Tomografía axial computarizada

La TAC se basa en el uso de un escáner de emisión de rayos-X que traspasan al sujeto. Esta técnica fue la primera que se utilizó para determinar el área muscular de sección transversal (AST) y la grasa abdominal en 1979 y 1982 respectivamente. La intensidad de salida del rayo-X es monitorizada por una serie de detectores que codifican la señal para producir una imagen visual de 10 mm de grosor aproximadamente. Así pues, la transmisión de salida se utiliza para calcular el coeficiente de atenuación media a lo largo de la longitud del haz de rayos-X. Estos coeficientes se miden en unidades Hounsfield (UH)⁹.

Junto con la RMN, la TAC es considerada el método más preciso para medir la cantidad y distribución del músculo y del tejido adiposo en el cuerpo¹⁰. Así este método fue utilizado en estudios de Rantalainen *et al.*¹¹, en niños y adultos jóvenes para medir los efectos de la actividad física, el sexo y la madurez en la sección transversal y distribución de material óseo del hueso de la tibia; de Friedenreich *et al.*¹², en mujeres menopáusicas practicantes de ejercicio físico regular, para evaluar el tejido graso; y de Mueller *et al.*¹³, en un hombre muy mayor (más de 90 años de edad), corredor de maratón, para evaluar el tejido muscular y graso de sus piernas.

Una de las mayores ventajas de esta técnica es que permite medir la grasa infiltrada en el músculo esquelético. Además, tiene gran precisión ($r^2=0,99$) y repetitividad (coeficiente de variación entre 1,2% y 4,3%)¹⁴, proporciona mayor información sobre los músculos, tejido adiposo y órganos que otros métodos como DXA o impedancia bioeléctrica¹⁴. Las desventajas de este método tienen que ver con la exposición del paciente a una elevada dosis de radiación y el coste de este instrumento¹⁴.

Resonancia Magnética Nuclear

La RMN es una técnica que puede proporcionar imágenes de los componentes corporales y la composición química de los tejidos. Así mismo, puede utilizarse para conocer la composición corporal total o de un área concreta.

Esta técnica se basa en la interacción entre los núcleos atómicos del hidrógeno y los campos magnéticos generados y controlados por el dispositivo. Cuando un sujeto se coloca en el interior del imán de un aparato de RMN, los momentos magnéticos de los fotones tienden a alinearse con el campo del imán. Cuando un campo de radiofrecuencia pulsada se aplica a los tejidos del cuerpo, los protones del hidrógeno absorben la energía. Cuando la radiofrecuencia pulsada se apaga, los protones vuelven gradualmente a su estado anterior y liberan la energía absorbida en forma de otra señal de radio frecuencia pulsada que se utiliza para el desarrollo de las imágenes de resonancia magnética. Para incrementar el contraste entre el tejido adiposo y el músculo esquelético, los sistemas de captación de datos de las resonancias magnéticas están programados para conocer la densidad de los protones específicos y los tiempos de relajación de los diferentes tejidos. La técnica de adquisición de datos spin-echo utiliza los tiempos de relajación T1 de tejido adiposo y músculo esquelético para proporcionar imágenes de alta calidad. De manera específica, el tiempo de relajación T1 para el tejido adiposo es mucho más rápido que para el músculo esquelético¹⁵.

Algunos ejemplos de estudios que utilizaron la RMN para evaluar la composición corporal son de Honda *et al.*¹⁶, en mujeres atletas de élite, en que los autores evaluaron el efecto del tipo de ejercicio (alto o bajo impacto) en la geometría de la tibia; de Osawa *et al.*¹⁷, en hombres saludables, en que fue evaluado el efecto del entrenamiento interválico de alta intensidad en el AST de los músculos del tronco y muslo, bien como en la masa libre de grasa sin hueso; y de Souza-Teixeira *et al.*¹⁸, en personas con esclerosis múltiple, para evaluar el efecto del entrenamiento de fuerza en la AST del cuádriceps.

Las ventajas de este método son la validez para medir la grasa visceral y la capacidad de establecer inferencias sin someter al sujeto a las radiaciones de la TAC¹⁹; su precisión es muy elevada, con un $r^2=0,99$ y un coeficiente de variación entre 2,1 y 6,5%²⁰; la consideración de este método como *gold standard* a la hora de medir la masa muscular o AST²¹ y a la hora de medir la cantidad y el volumen de tejido adiposo abdominal²⁰. Además, este método no emite radiación ionizante²¹.

Por otro lado, las posibles desventajas de este método son el elevado coste y la baja accesibilidad a esta técnica²⁰; la realización manual de las mediciones y la necesidad de mucho material clínico¹⁹; y la definición de diferentes depósitos de tejido adiposo, que depende de la configuración del escáner de RMN²⁰.

Absorciometría dual de rayos X

La DXA es un instrumento utilizado para medir diferentes parámetros de la composición corporal como la masa muscular, la masa grasa y la densidad mineral ósea (DMO), pudiéndose detectar posibles enfermedades. En un principio la DXA fue concebida para medir la DMO, con las mejoras tecnológicas fue ampliando sus posibilidades de medición, siendo considerada, actualmente, como el método de referencia en el estudio de la composición corporal en investigaciones clínicas¹⁴.

El procedimiento por el cual la DXA estima la composición corporal se establece a través de la atenuación de fotones. Cuando los fotones atraviesan los tejidos de los sujetos son absorbidos o diseminados por el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton. El efecto Compton consiste en el aumento de la longitud de onda de un fotón de rayos X cuando choca con un electrón libre y pierde parte de su energía. La frecuencia o la longitud de onda de la radiación dispersada dependen de la dirección de la dispersión. En general el efecto de atenuación de fotones desciende al aumentar la energía del fotón²².

El estudio de la composición corporal con DXA asume que existen tres tipos de componentes en el cuerpo con base en las propiedades de atenuación de los rayos X: masa grasa, masa muscular y la masa mineral esquelética. Los tejidos blandos por su alto contenido en agua y compuesto orgánico reducen de menor manera el flujo de fotones en comparación con el mineral del hueso y por ello, los píxeles que contienen hueso son mucho más fáciles de distinguir^{9,23}.

Así la DXA permite separar primeramente al cuerpo en dos componentes principales: el tejido óseo y el tejido blando, pudiendo separarse el tejido blando en masa grasa y masa magra²⁴, siendo un instrumento interesante para aquellas personas que tienen un mayor factor de riesgo de pérdida de masa muscular debido a enfermedades como la osteoporosis, cáncer o esclerosis múltiple.

Este método fue utilizado por Beraldo *et al.*²⁵, en pacientes con HIV, para validar ecuaciones de predicción de la composición corporal; por Kim *et al.*²⁶, en adultos coreanos (mayores de 18 años), para probar la relación entre medidas antropométricas e índices de grasa corporal; por Lima *et al.*²⁷, en mujeres obesas que utilizan *Bypass* gástrico, para evaluar el efecto de la pérdida de peso en la DMO y comparar los resultados medidos por ultrasonido con los medidos por la DXA; por de Knecht *et al.*²⁸, en recién nacidos, para evaluar la precisión de las medidas de la composición corporal; y por Rodrigues de Faria *et al.*²⁹, en adolescentes con edad entre 10 y 19 años, para evaluar la masa grasa de los mismos y comparar las medidas de la DXA y la impedancia bioeléctrica.

Como cualquier instrumento de medición, la DXA tiene asociadas ventajas y desventajas. Las posibles ventajas de este método tienen que ver con ser una técnica no invasiva, fácilmente aplicable y con una radiación muy pequeña (<0,1 µGy), equiparable a la que se recibe durante un vuelo transoceánico o a un 10% de la sufrida en una radiografía de tórax²³, así como con un tiempo de aplicación muy reducido⁹ y que mide diferentes regiones corporales, como masa grasa, masa muscular y DMO, por separado^{22,23}; presenta menor coste con respecto a los métodos considerados *gold standard* como son la RMN y la TAC³⁰; está considerada como el nuevo *gold standard* para la medición de la composición corporal, ya que permite realizar mediciones de segmentos corporales en serie, posee una elevada precisión y fiabilidad ($r^2=0,996$) y baja variabilidad de medida (coeficiente de variación menor que 4%) en relación a otros métodos de referencia^{9,31}; además, permite el diagnóstico y el seguimiento de la osteoporosis¹⁴; estima la grasa abdominal^{19,31}; es capaz de cuantificar la masa grasa con un coeficiente de variación del 2%²⁰; y para la masa muscular de las extremidades inferiores tiene buenas correlaciones RMN y TAC³¹.

Las desventajas de este método tienen que ver con el tamaño de la zona de exploración, ya que en un principio se desarrolló para determinados grupos de edad (mujeres ancianas) y para focalizar la determinación en algunas áreas corporales, así como la dificultad de medición en personas con una altura mayor de 190 cm y una anchura, incluyendo sus brazos, de más de 58 cm³²; presenta posibles diferencias entre aparatos de diferentes fabricantes cuando se evalúa una muestra²³; aún no proporciona una buena fiabilidad para ser considerada *gold standard* en personas con un peso inferior a 40 kg³³; aún no presenta una precisión muy grande para medir pequeños cambios de masa muscular, tras un periodo de entrenamiento³⁴; es un aparato caro³⁵; sus medidas de masa grasa pueden sufrir variabilidad por el estado de hidratación de una persona²², aunque existan otros autores que niegan esta influencia del estado de hidratación¹; debe ser utilizada con cuidado para medir la masa grasa en niños³⁶; y las actualizaciones de los *software* utilizados por los aparatos suelen incluir nuevos algoritmos para calcular la composición corporal lo que puede afectar a los cálculos de las mediciones en los individuos²³.

Pletismografía

En la pletismografía por desplazamiento de aire se estima la composición corporal indirectamente a través del volumen de aire que desplaza dentro de una cámara cerrada³⁷. En este método, es utilizada

la relación inversa entre presión y volumen, basada en la ley de Boyle para determinar el volumen corporal. Una vez que este volumen es determinado, es posible establecer la composición corporal por medio de los principios de la densitometría⁸.

Algunos trabajos de investigación utilizaron este método, como el estudio realizado por Harrod *et al.*³⁸, en mujeres embarazadas y sus niños recién nacidos, para determinar la asociación entre el tabaquismo durante el embarazo y las alteraciones en la masa grasa, masa muscular y antropometría en los primeros cinco meses de vida; por Gianni *et al.*³⁹, en niños en edad escolar, para determinar la influencia del nacimiento prematuro sobre la composición corporal de estos niños; por Bailey *et al.*⁴⁰, en mujeres universitarias de 18 a 25 años, para evaluar la relación entre el número de pasos diarios sobre la adiposidad; por ten Haaf y Weijjs⁴¹, en atletas adultos, para validar las ecuaciones de predicción de gasto energético en reposo existentes y desarrollar una nueva ecuación específica para atletas recreativos; y por Aguirre *et al.*⁴², en niños chilenos en edad prepuberal, para evaluar la validez de las estimaciones de la grasa corporal basada en mediciones de los pliegues cutáneos y análisis de impedancia bioeléctrica en comparación con un modelo de tres componentes, teniendo en cuenta las posibles diferencias por sexo y estado nutricional.

Las ventajas de este método son que posee una elevada precisión y fiabilidad de medida cuando es comparado con otros métodos, como por ejemplo el pesaje hidrostático ($r^2=0,84-0,90$)⁴³; es un método rápido (duración de la evaluación entre 3 y 5 minutos) y fácil de aplicar⁸. Las desventajas tienen que ver con el mantenimiento de una temperatura constante para que la ley de Boyle pueda aplicarse y la presuposición de que la persona dentro del aparato respira normal durante las mediciones del volumen corporal³⁷; en niños este método presenta una tendencia a sobreestimar la masa grasa en sujetos con mayor proporción de grasa corporal y subestimar en aquellos con menor proporción de grasa⁸.

Métodos doblemente indirectos de análisis de la composición corporal

Los métodos doblemente indirectos de análisis de la composición corporal también son técnicas para medir la composición corporal *in vivo* y en general, fueron validados a partir de los métodos indirectos y por eso, presentan un margen de error muy grande, cuando son comparados con los métodos indirectos. Entretanto, en razón de los altos costes de los métodos indirectos y de la sofisticación metodológica, los métodos doblemente indirectos como la antropometría y la impedancia bioeléctrica ganan importancia debido a su sencillez, seguridad, facilidad de interpretación y bajas restricciones culturales⁸. Además, estos métodos presentan mejor aplicación práctica y menor coste financiero, lo que permite su empleo en investigaciones y estudios epidemiológicos. A continuación serán abordados los métodos de la antropometría y de la impedancia bioeléctrica.

Impedancia bioeléctrica

La impedancia bioeléctrica se utiliza para el cálculo del agua total del cuerpo, masa grasa y masa libre de grasa. Este método se basa en el prin-

cipio de que la conductividad del agua del cuerpo varía en los diferentes compartimentos, así este método mide la impedancia a una pequeña corriente eléctrica aplicada a medida que pasa a través del cuerpo⁴⁴.

La impedancia varía de acuerdo con el tejido que se está evaluando, siendo que la masa libre de grasa presenta una buena conductibilidad eléctrica por poseer elevada concentración de agua y electrólitos, mientras la masa grasa no es un buen conductor eléctrico, lo que permite decir que la impedancia es directamente proporcional a la cantidad de grasa corporal⁸.

Los valores de impedancia bioeléctrica se convierten en valores que reflejan el agua corporal total o líquido extracelular para posteriormente, a través de ecuaciones, conocer la masa muscular^{9,14}.

La fiabilidad y precisión de este método puede sufrir influencia de varios factores como el tipo de instrumento, puntos de colocación de los electrodos, nivel de hidratación, alimentación, ciclo menstrual, temperatura del ambiente y la ecuación de predicción utilizada y en general es cercana a $r^2=0,84$ en comparación con la DXA^{44,45}.

De esta manera, algunos cuidados deben ser observados antes de la realización de la impedancia bioeléctrica, para evitar la producción de errores, como no comer o beber cuatro horas antes de la prueba, no hacer ejercicios 12 horas antes, orinar 30 minutos antes, no ingerir alcohol 24 horas antes y no haber usado de diuréticos en los últimos siete días⁸.

Ejemplos de investigaciones que utilizaron este método de evaluación de la composición corporal son los estudios realizados por Madsen *et al.*⁴⁶, en hombres jóvenes saludables de la India, para verificar los efectos de un programa de ciclismo sobre la composición corporal de estos sujetos; por Saladino⁴⁷, en pacientes con disturbios alimentarios, para evaluar los cambios en la composición corporal de estos durante el tratamiento; por Camina-Martín *et al.*⁴⁸, en hombres mayores con y sin demencia, para comparar la antropometría y la impedancia bioeléctrica y para verificar la relación entre la demencia y la composición corporal; y por Esco *et al.*⁴⁹, en atletas universitarias del sexo femenino, para evaluar la fiabilidad de este método para medir la composición corporal en los distintos segmentos corporales.

Las principales ventajas de este método son su carácter no invasivo, que el aparato es relativamente barato, la evaluación presenta un bajo coste, es de fácil aplicación y es un método muy rápido¹⁰. Entretanto, presenta desventajas como limitaciones de aplicación en pacientes que presentan retención de líquidos, edemas periféricos, problemas hidrostáticos o que haga uso de medicación diurética y en deportistas no es un método adecuado ya que tiene un error del 3% lo cual es demasiado grande como para dar las instrucciones adecuadas del deportista de su estado de salud. Además de esto, un ligero cambio en el lugar de los electrodos puede producir una variabilidad de un 2% de los resultados en diferentes días¹⁰.

Antropometría

La antropometría consiste en la evaluación de las diferentes dimensiones corporales y en la composición global del cuerpo, siendo utilizada para diagnosticar el estado nutricional de poblaciones y la presencia o ausencia de factores de riesgo cardiovascular, como la obesidad o la cantidad de grasa abdominal^{8,50}.

De las innumerables técnicas utilizadas en la antropometría, el índice de masa corporal (IMC) es el más empleado y aporta informaciones acerca del estado nutricional del sujeto¹⁰. La relación entre circunferencia de la cintura y de la cadera también es otra técnica antropométrica muy empleada y recomendada por la Organización Mundial de la Salud como un buen predictor de la obesidad central en estudios poblacionales⁵¹. Estas dos técnicas antropométricas tienen especial importancia pues valores elevados en el IMC o de la razón cintura-cadera están asociados con una mayor incidencia de mortalidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares⁵².

Estas técnicas fueron utilizadas en estudios de Costa-Moreira *et al.*⁵⁰ en profesores universitarios de Brasil, para evaluar la prevalencia de los factores de riesgo cardiovascular; por Sales y Moreira⁵³, en niños entre 11 y 14 años de edad, para evaluar la influencia de la participación en clases de educación física sobre la capacidad cardiorrespiratoria y la composición corporal; por Maia-Ribeiro⁵⁴, en personas mayores de la ciudad de Maués/AM, para evaluar la asociación de factores relacionados con la aptitud funcional y el riesgo de caída; y por Oliveira *et al.*⁵⁵, en mujeres sedentarias, para evaluar el efecto de ocho semanas de práctica de gimnasia localizada sobre la composición corporal de las mismas.

Otra técnica antropométrica ampliamente empleada es la medición de diferentes pliegues cutáneos. Esta técnica se basa en el hecho de que la mayoría de la grasa corporal está en el tejido subcutáneo. Aunque, como la distribución de grasa subcutánea no es uniforme, es decir, hay regiones con más y otras con menos cantidad de grasa en diferentes partes del cuerpo, las medidas de pliegues cutáneos deben ser realizadas en diferentes partes del cuerpo⁸.

A partir de la medida de los pliegues cutáneos es posible estimar la densidad corporal utilizando algunas ecuaciones matemáticas, desarrolladas para diferentes grupos poblacionales con características diversas. Con los valores calculados de la densidad corporal, es posible estimar el la masa grasa y la masa magra corporal^{1,4,10}.

El nivel de precisión de la medida de la composición corporal por el método de los pliegues cutáneos depende del tipo y calibración del compás utilizado, del nivel de entrenamiento, precisión y técnica del evaluador y de la precisión en la identificación de los puntos anatómicos que deben ser medidos⁸. No obstante, este método asume algunos principios que pueden llevar a un error, como considerar que la compresión ejercida por el instrumento o evaluador sobre el pliegue es siempre la misma; inferir la cantidad de MG visceral a partir de la subcutánea; o considerar que el patrón de MG es constante a lo largo de los tejidos¹⁴.

Así, considerando estos factores y teniendo en cuenta que cada ecuación utilizada para la estimación de la densidad corporal, masa grasa o masa magra contiene un error, en relación a su *gold standard* de comparación, que puede sumarse a errores como la falta de precisión del evaluador o del compás, es posible que este método presente baja fiabilidad y elevada variación^{1,10}.

En este sentido, este método es más recomendable para estudios poblacionales, donde los errores, que pudieran cometerse, son diluidos en un número mayor de personas. Cuando es utilizado en muestras más reducidas, es más aconsejable la utilización del sumatorio de pliegues, sin el uso de ninguna ecuación predictiva, para intentar evitar errores e incrementar la precisión y la consistencia de las medidas obtenidas por este método^{8,14}.

Es uno de los métodos más empleados en investigaciones de campo, como por ejemplo el deporte^{56,57}, siempre y cuando no es posible tener un aparato más sofisticado de evaluación de la composición corporal en el ambiente donde van a realizarse las pruebas o el desplazamiento del grupo de evaluados hasta un laboratorio sea algo difícil^{10,14}.

Algunos estudios que utilizaron esta técnica fueron los de Alvear-Órdenes *et al.*⁵⁶, en jugadores de rugby, para evaluar en porcentaje de grasa; de Fernández-Gonzalo *et al.*⁵⁷, en 30 futbolistas varones prepúberes, para describir la evolución del rendimiento fisiológico y de la técnica en estos jóvenes; de Pereira *et al.*⁵⁸, en estudiantes de una pequeña ciudad de Brasil, para evaluar el nivel de aptitud física de los mismos; y por Moreira *et al.*⁵⁹, en profesores universitarios, para verificar la asociación de factores de riesgo cardiovascular con el incremento de la presión arterial.

Las ventajas del método de antropometría son el bajo coste de su aplicación, cuando es comparado con otros métodos, la facilidad de

su aplicación, su sencillez, la facilidad de transporte lo que permite su utilización en investigaciones de campo, además de estar validado para una amplia franja poblacional que engloba desde niños, hasta mayores, pasando por atletas y personas enfermas^{8,10}. Por otro lado, este método presenta desventaja como un gran margen de error, entre 3 y 11%¹⁰; la necesidad de ser realizado por personas altamente entrenadas para que la medida sea fiable; la posibilidad de producir resultados dispares cuando las mediciones son realizadas por personas diferentes o con instrumentos diferentes; la necesidad de determinación exacta de los puntos anatómicos para que se produzca comparaciones entre resultados; la variabilidad individual en la técnica de sujetar la piel, que puede producir resultados distintos; la dificultad de aplicación en personas obesas o con grandes cantidades de grasa; y so no recomendación en situaciones de deshidratación o retención de líquidos^{8,10,14}.

Tabla 1. Comparación de los métodos de evaluación de la composición corporal.

Método	Accesibilidad	Especificidad	Precisión	Reproducibilidad	Radiación
TAC	Muy baja	Muy alta	Muy alta	CV 1,2-4,3%	Si (6-10mSv)
RMN	Muy baja	Muy alta	Muy alta	CV 2,1-6,5%	No
DXA	Baja	Baja	Alta	CV <1-4%	Si (0,003-0,06mSv)
Plestimografía	Baja	Media	Alta	CV adultos 1,7-4,5% Niños 25% Niñas 44%	No
Impedancia Bioeléctrica	Alta	Baja	Media	CV 4-9.8%	No
Antropometría	Muy alta	Baja	Baja	Muy variable	No

TAC: tomografía axial computarizada; RMN: resonancia magnética nuclear; DXA: doble absorciometría de rayos X; CV: coeficiente de variación.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los métodos de evaluación de la composición corporal.

Método	Ventajas	Desventajas
TAC	Gran precisión y repetitividad	Exposición a altas radiaciones y material caro
RMN	Gran precisión y repetitividad para el tejido adiposo y muscular en todo el cuerpo y zonas específicas	Caro, realización manual de las mediciones, variación dependiente de la configuración del escáner
DXA	Fácil de usar, baja radiación, muy preciso para extremidades y grasa	Caro y se requiere de un radiólogo especializado para ser manejado
Plestimografía	Precisión y rapidez	Material caro y poco preciso en algunas enfermedades
Impedancia bioeléctrica	Barato, portátil, simple, seguro y rápido	Para población específica, mala precisión en individuos y grupos
Antropometría	Barato, no invasivo	Baja reproducibilidad, sensibilidad y especificidad

TAC: tomografía axial computarizada; RMN: resonancia magnética nuclear; DXA: doble absorciometría de rayos X.

Consideraciones finales

A través de la revisión realizada fue posible observar que existen varios métodos para medir la composición corporal y cada uno de ellos presenta ventajas y desventajas. Así, el profesional de la salud que fuera a realizar la medida de la composición corporal deberá elegir entre los diversos métodos, de acuerdo con su objetivo, siempre teniendo en cuenta los costes de aplicación del método, el nivel de entrenamiento del evaluador, el tiempo disponible para ejecución de la medida, la fiabilidad del método para lo que se desea medir y los posibles riesgos de aplicación de este método para los evaluados, para intentar minimizar las desventajas del método elegido y potencializar sus ventajas.

De manera general, se recomendarían los métodos indirectos (TAC, RMN, DXA y plestimografía) para estudios con muestras más pequeñas y que puedan ser evaluadas en laboratorio, por presentaren mayor fiabilidad y menor variabilidad que los métodos doblemente indirectos. A su vez, estos últimos, serían más indicados en estudios poblacionales, como los estudios epidemiológicos, y en estudios donde la muestra se queda imposibilitada de desplazarse hasta un laboratorio de evaluación de la composición corporal. De esta manera, la menor fiabilidad y mayor variabilidad de los métodos doblemente indirectos serían compensadas por un mayor número de personas evaluadas, que podría promover la dilución de los posibles errores, y por los bajos costes de aplicación de los mismos.

No obstante, se sugiere que las informaciones presentes en este estudio puedan ser aplicadas en el campo práctico ya sea para intentar establecer diagnósticos de enfermedades relacionadas con la obesidad, para elegir el mejor método para evaluar la salud, monitorizar los efectos del entrenamiento sobre componentes de la composición corporal indicadores del estado de salud, o aún para acompañar la progresión de determinadas enfermedades que puedan afectar la composición corporal o que sean por ella afectadas, y para ayudar a elegir mejores herramientas que permitan el estudio del perfil de composición corporal de deportistas de diferentes modalidades deportivas, en virtud de la relación de esta con el rendimiento competitivo.

Bibliografía

- Moran JM, Lavado-García JM, Pedrera-Zamorano JD. Methods for nurses to measure body composition. *Rev Lat Am Enfermagem*. 2011;19(4):1033-8.
- American College of Sports Medicine. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2011;43(7):1334-59.
- American College of Sports Medicine. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Med Sci Sports Exerc*. 2009;41(2):459-71.
- Porbén SS, Borrás AL. Composición corporal. *Acta Medica*. 2003;11(1):26-37.
- Wang ZM, Pierson RN, Jr., Heymsfield SB. The five-level model: a new approach to organizing body-composition research. *Am J Clin Nutr*. 1992;56:19-28.
- Heymsfield SB, Pietrobelli A, Wang Z, Saris WH. The end of body composition methodology research? *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2005;8(6):591-4.
- Shah AH, Bilal R. Body Composition, its Significance and Models for Assessment. *Pakistan Journal of Nutrition*. 2009;8(2):198-202.
- Sant'anna MSL, Priore SE, Franceschini SCC. Métodos de avaliação da composição corporal em crianças. *Rev Paul Pediatr*. 2009;27(3):315-21.
- Lustgarten MS, Fielding RA. Assessment of analytical methods used to measure changes in body composition in the elderly and recommendations for their use in phase II clinical trials. *J Nutr Health Aging*. 2011;15(5):368-75.
- Ayvaz G, Çimen AR. Methods for Body Composition Analysis in Adults. *The Open Obesity Journal*. 2011;3:62-9.
- Rantalainen T, Weeks BK, Nogueira RC, Beck BR. Effects of bone-specific physical activity, gender and maturity on tibial cross-sectional bone material distribution; a cross-sectional pQCT comparison of children and young adults aged 5-29 years. *Bone*. 2015;72:101-8.
- Friedenreich CM, MacLaughlin S, Neilson HK, Stanczyk FZ, Yasui Y, Duha A, et al. Study design and methods for the Breast Cancer and Exercise Trial in Alberta (BETA). *BMC Cancer*. 2014;14(1):919.
- Mueller SM, Knechtel B, Knechtel P, Toigo M. Physiological alterations after a marathon in the first 90-year-old male finisher: case study. *Springerplus*. 2014;3:608.
- Thibault, R; Genton, L; Pichard, C. Body composition: why, when and for who? *Clin Nutr*. 2012;31(4):435-47.
- Lukaski, H. Sarcopenia: assessment of muscle mass. *J Nutr*. 1997;127(5 Suppl):994S-997S.
- Honda A, Matsumoto M, Kato T, Umemura Y. Exercise characteristics influence femoral cross-sectional geometry: a magnetic resonance imaging study in elite female athletes. *Osteoporos Int*. 2015;26(3):1093-8.
- Osawa Y, Azuma K, Tabata S, Katsukawa F, Ishida H, Oguma Y, et al. Effects of 16-week high-intensity interval training using upper and lower body ergometers on aerobic fitness and morphological changes in healthy men: a preliminary study. *Open Access J Sports Med*. 2014;5:257-65.
- Souza-Teixeira F, Costilla S, Ayán C, García-López D, González-Gallego J, de Paz JA. Effects of resistance training in multiple sclerosis. *Int J Sports Med*. 2009;30(4):245-50.
- Kaul S, Rothney MP, Peters DM, Wacker WK, Davis CE, Shapiro MD, et al. Dual-energy X-ray absorptiometry for quantification of visceral fat. *Obesity (Silver Spring)*. 2012;20(6):1313-8.
- Shuster A, Patlas M, Pinthus JH, Mourtzakis M. The clinical importance of visceral adiposity: a critical review of methods for visceral adipose tissue analysis. *Br J Radiol*. 2012;85(1009):1-10.
- Zhao X, Wang Z, Zhang J, Hua J, He W, Zhu S. Estimation of total body skeletal muscle mass in Chinese adults: prediction model by dual-energy X-ray absorptiometry. *PLoS One*. 2013;8(1):e53561.
- Pietrobelli A, Formica C, Wang Z, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry body composition model: review of physical concepts. *Am J Physiol*. 1996;271(6 Pt 1):E941-51.
- Plank LD. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 2005;8(3):305-9.
- Wang Z, Heymsfield SB, Chen Z, Zhu S, Pierson RN. Estimation of percentage body fat by dual-energy x-ray absorptiometry: evaluation by in vivo human elemental composition. *Phys Med Biol*. 2010;55(9):2619-35.
- Beraldo RA, Vassimon HS, Navarro AM, Foss-Freitas MC. Development of predictive equations for total and segmental body fat in HIV-seropositive patients. *Nutrition*. 2015;31(1):127-31.
- Kim SG, Ko KD, Hwang IC, Suh HS, Kay S, Catteron I, et al. Relationship between indices of obesity obtained by anthropometry and dual-energy X-ray absorptiometry: The Fourth and Fifth Korea National Health and Nutrition Examination Survey (KNHANES IV and V, 2008-2011). *Obes Res Clin Pract*. 2014. pii: S1871-403X(14)00769-8.
- Lima TP, Nicoletti CF, Marchini JS, Junior WS, Nonino CB. Effect of Weight Loss on Bone Mineral Density Determined by Ultrasound of Phalanges in Obese Women After Roux-en-y Gastric Bypass: Conflicting Results With Dual-Energy X-ray Absorptiometry. *J Clin Densitom*. 2014;17(4):473-8.
- de Knecht VE, Carlsen EM, Bech Jensen JE, Lade Rasmussen AM, Pryds O. DXA Performance in a Pediatric Population: Precision of Body Composition Measurements in Healthy Term-Born Infants Using Dual-Energy X-ray Absorptiometry. *J Clin Densitom*. 2015;18(1):117-23.
- Rodrigues de Faria E, Rocha de Faria F, Siqueira Santos Gonçalves V, Castro Franceschini SD, Gouveia Peluzio MD, et al. Prediction of body fat in adolescents: comparison of two electric bio impedance devices with dual-energy x-ray absorptiometry. *Nutr Hosp*. 2014;30(n06):1270-8.
- Chen Z, Wang Z, Lohman T, Heymsfield SB, Outwater E, Nicholas JS, et al. Dual-energy X-ray absorptiometry is a valid tool for assessing skeletal muscle mass in older women. *J Nutr*. 2007;137(12):2775-80.
- Glickman SG1, Marn CS, Supiano MA, Dengel DR. Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity. *J Appl Physiol* (1985). 2004;97(2):509-14.

32. Nana A, Slater GJ, Hopkins WG, Burke LM. Techniques for undertaking dual-energy X-ray absorptiometry whole-body scans to estimate body composition in tall and/or broad subjects. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2012;22(5):313-22.
33. Shypailo RJ, Butte NF, Ellis KJ. DXA: can it be used as a criterion reference for body fat measurements in children? *Obesity (Silver Spring).* 2008;16(2):457-62.
34. Delmonico MJ, Kostek MC, Johns J, Hurley BF, Conway JM. Can dual energy X-ray absorptiometry provide a valid assessment of changes in thigh muscle mass with strength training in older adults? *Eur J Clin Nutr.* 2008;62(12):1372-8.
35. Company J, Ball S. Body Composition Comparison: Bioelectric Impedance Analysis with Dual-Energy X-Ray Absorptiometry in Adult Athletes. *Measurement in Physical Education and Exercise Science* 2010;14(3):186-201.
36. Silva DR, Ribeiro AS, Pavão FH, Ronque ER, Avelar A, Silva AM, et al. Validity of the methods to assess body fat in children and adolescents using multi-compartment models as the reference method: a systematic review. *Rev Assoc Med Bras.* 2013;59(5):475-86.
37. Fields DA, Goran MI, McCrory MA. Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: a review. *Am J Clin Nutr.* 2002;75(3):453-67.
38. Harrod CS, Fingerlin TE, Chasan-Taber L, Reynolds RM, Glueck DH, Dabelea D. Exposure to prenatal smoking and early-life body composition: The healthy start study. *Obesity (Silver Spring).* 2015;23(1):234-41.
39. Gianni ML, Roggero P, Piemontese P, Morlacchi L, Bracco B, Taroni F, et al. Boys who are born preterm show a relative lack of fat-free mass at 5 years of age compared to their peers. *Acta Paediatr.* 2015;104(3):e119-23.
40. Bailey BW, Borup P, Tucker L, LeCheminant J, Allen M, Hebbert W. Steps measured by pedometry and the relationship to adiposity in college women. *J Phys Act Health.* 2014;11(6):1225-32.
41. ten Haaf T, Weijs PJ. Resting energy expenditure prediction in recreational athletes of 18-35 years: confirmation of Cunningham equation and an improved weight-based alternative. *PLoS One.* 2014;9(9):e108460.
42. Aguirre CA, Salazar GD, Lopez de Romaña DV, Kain JA, Corvalán CL, Uauy RE. Evaluation of simple body composition methods: assessment of validity in prepubertal Chilean children. *Eur J Clin Nutr.* 2015;69(2):269-73.
43. Demerath EW, Guo SS, Chumlea WC, Towne B, Roche AF, Siervogel RM. Comparison of percent body fat estimates using air displacement plethysmography and hydrodensitometry in adults and children. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2002;26:389-97.
44. Lee SY, Gallagher D. Assessment methods in human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2008;11:566-72.
45. Mattsson S, Thomas BJ. Development of methods for body composition studies. *Phys Med Biol.* 2006; 51: R203-28.
46. Madsen C, Mogensen P, Thomas N, Christensen DL, Bygbjerg IC, Mohan V, et al. Effects of an outdoor bicycle-based intervention in healthy rural Indian men with normal and low birth weight. *J Dev Orig Health Dis.* 2015;6(1):27-37.
47. Saladino CF. The efficacy of Bioelectrical Impedance Analysis (BIA) in monitoring body composition changes during treatment of restrictive eating disorder patients. *J Eat Disord.* 2014;4;2(1):34.
48. Camina Martín MA, de Mateo Silleras B, Nescolarde Selva L, Barrera Ortega S, Domínguez Rodríguez L, Redondo Del Río MP. Bioimpedance vector analysis and conventional bioimpedance to assess body composition in older adults with dementia. *Nutrition.* 2015;31(1):155-9.
49. Esco MR, Snarr RL, Leatherwood MD, Chamberlain N, Redding M, Flatt AA, et al. Comparison of total and segmental body composition using DXA and multi-frequency bioimpedance in collegiate female athletes. *J Strength Cond Res.* 2014 Oct 28. [Epub ahead of print].
50. Costa Moreira O, Rodrigues de Oliveira RA, Patrocínio Oliveira CE, Doimo LA, dos Santos Amorim PR, Camaroti Laterza M, et al. Risk factors for cardiovascular disease in professors from a public university. *Invest Educ Enferm.* 2014;32(2):280-90.
51. World Health Organization. Prevention and Control of Noncommunicable Diseases: Guidelines for Primary Health Care in Low Resource Settings. Geneva: World Health Organization; 2012.
52. Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(8):1423-34.
53. Sales WF, Moreira OC. Capacidade cardiorrespiratória e composição corporal de estudantes participantes e não participantes de aulas de educação física. *Brazilian Journal of Biomechanics.* 2012;6(3):153-58.
54. Maia Ribeiro EA, Ribeiro EE, Viegas K, Teixeira F, dos Santos Montagner GF, Mota KM, et al. Functional, balance and health determinants of falls in a free living community Amazon riparian elderly. *Arch Gerontol Geriatr.* 2013;56(2):350-7.
55. Oliveira CEP, Moreira OC, Pereira LS, Doimo LA. Efeito de oito semanas de treinamento de ginástica localizada sobre a composição corporal de mulheres sedentárias. *R Bras Cie e Mov.* 2013;21(3):134-40.
56. Alvear-Ordenes I, García-López D, De Paz JA, González-Gallego J. Sweat lactate, ammonia, and urea in rugby players. *Int J Sports Med.* 2005;26(8):632-7.
57. Fernandez-Gonzalo R, De Souza-Teixeira F, Bresciani G, García-López D, Hernández-Murúa JA, Jiménez-Jiménez R, et al. Comparison of technical and physiological characteristics of prepubescent soccer players of different ages. *J Strength Cond Res.* 2010;24(7):1790-8.
58. Pereira ES, Moreira OC, Brito ISS, Matos DG, Mazini Filho ML, Oliveira CEP. Aptidão física relacionada à saúde em escolares de município de pequeno porte do interior do Brasil. *Rev Educ Fis.* 2014;25(3):459-68.
59. Moreira OC, Oliveira RAR, Andrade Neto F, Amorim W, Oliveira CEP, Doimo LA, et al. Associação entre risco cardiovascular e hipertensão arterial em professores universitários. *Rev Bras Educ Fis Esporte.* 2011;25(3):395-404.