

[r e v i s i ó n]

Análisis por absorciometría de rayos X de doble energía y composición corporal

Diego Bellido Guerrero* y José Carreira Arias**

*Unidad de Endocrinología y Nutrición. Complejo Hospitalario Arquitecto Marcide-Novoa Santos. Ferrol. La Coruña;

**Departamento de Medicina. Universidad de La Coruña.

Palabras clave

DEXA, absorciometría, composición corporal, masa grasa, masa libre de grasa

>> RESUMEN

Desde su introducción para la estimación del contenido óseo mineral del esqueleto, los métodos de análisis por absorciometría han evolucionado de forma constante debido a los avances tecnológicos conseguidos en los dispositivos emisores de radiación y en los programas informáticos de adquisición y análisis de los datos, tanto en validez y precisión de las estimaciones como en la calidad de las imágenes proporcionadas. Este desarrollo alcanzado en los últimos años ha ampliado las aplicaciones de la absorciometría de tal forma que, en la actualidad, la absorciometría, y más concretamente el análisis por absorciometría de rayos X de doble energía (DEXA), constituye una técnica

ampliamente utilizada en los análisis de composición corporal, bien formando parte de los métodos multicompartimentales, bien como método de referencia con el que se comparan otras metodologías destinadas a estudiar la composición de los compartimentos corporales.

>> ABSTRACT

Since the introduction of the estimation of the skeletal bone mineral content, the analysis methods using absorptiometry have constantly improved due to the technological advances achieved with the radiation-emitting devices and data acquisition and analysis software, regarding both the validity and accuracy of the estimations and the quality of the images provided. The level of development achieved in the last years has widen the applications of absorptiometry so that, currently, this technique, and particularly the analysis by double energy X-ray absorptiometry (DEXA) represents a widely used technique for the analysis of body composition, either by being part of the multi-compartmental methods or either being the gold standard method to which other methodologies aimed at studying the composition of body compartments are compared.

>> INTRODUCCIÓN

Los métodos de análisis por absorciometría se introdujeron a principios de la década de 1960;

inicialmente se empleó la absorciometría de fotón único (SPA, por su acrónimo anglosajón *single photon absorptiometry*), que usaba una fuente emisora de fotones como el I^{125} o el Am^{241} y un

Correspondencia:

Diego Bellido Guerrero. C/ Hospital n.º 29-31 (4.º A). 15401-Ferrol (La Coruña). E-mail: diego_bellido@arrakis.es

detector para medir las diferencias de absorción entre tejido óseo y no óseo a nivel periférico del cuerpo (como el calcáneo y la cabeza del radio), proporcionando unos valores estimados del contenido óseo¹⁻³.

En en las décadas de 1970 y 1980 se evolucionó a las técnicas de doble fotón (DPA: *dual photon absorptiometry*); inicialmente se utilizaba radiación a dos niveles a partir de dos radioisótopos monoenergéticos y, posteriormente, se pasó a equipos que empleaban como fuente el Ga¹⁵³ con emisiones a dos niveles de energía y que permitían la individualización del componente no óseo de los tejidos y, por lo tanto, permitían estimar el contenido óseo del esqueleto axial, como columna vertebral y cadera, que a diferencia de los huesos periféricos tienen una mayor cantidad de tejido no óseo rodeándolo, obteniendo una medida de la densidad ósea mineral del hueso cortical y trabecular expresada en g/cm² de superficie; con estos métodos ya comenzaron las estimaciones de la composición corporal mediante absorciometría y la comparación de sus estimaciones con técnicas de referencia⁴⁻⁷.

En la actualidad, en lugar de un radioisótopo, que presenta los inconvenientes de necesitar la sustitución de la fuente de energía cuando se agota y, además, produce variaciones en los resultados durante el periodo de agotamiento, se usa una fuente de rayos X de doble energía como emisor de fotones (DEXA, *double energy X-ray absorptiometry*), y el análisis por DEXA se ha convertido en la técnica de elección para la valoración de rutina de la densidad ósea, ya que, a diferencia del análisis por DPA, proporciona imágenes de mejor calidad, reduce el tiempo de exploración y la exposición del paciente a la radiación, y también permite conocer la densidad ósea a nivel axial y periférico; a causa de estos factores, los aparatos de DPA han quedado en desuso.

En un principio, las técnicas de absorciometría se usaron y se desarrollaron para el análisis y la cuantificación del contenido óseo del organismo en el diagnóstico de la osteoporosis, para establecer valores de riesgo que permitieran predecir el desarrollo de fracturas, valorando regiones como la columna vertebral y el cuello femoral y, además, como método de elección para el segui-

miento de los pacientes sometidos a tratamientos para detener o recuperar la masa ósea perdida⁸⁻¹¹.

>> BASES FÍSICAS DE LA ABSORCIOMETRÍA

Las técnicas de composición corporal basadas en la absorciometría tienen como principio básico subyacente la diferente atenuación que sufren los fotones emitidos por una fuente determinada, en relación con la composición específica del tejido orgánico que atraviesan.

Cuando un material, como los tejidos del organismo en este caso, es atravesado por un haz de fotones procedente de una fuente radiactiva, o bien por un haz de rayos X, la intensidad de dicho haz, al ser detectado en el lado opuesto al que penetró, habrá disminuido su intensidad debido a las interacciones físicas que ocurren a su paso, y esta disminución de intensidad va a depender del espesor, la densidad y la composición química del material atravesado; este proceso se conoce como fenómeno de atenuación y se basa en dos fenómenos físicos descritos a finales del siglo XIX y principios del XX que explican la absorción y la dispersión de los fotones al incidir sobre la materia: el efecto fotoeléctrico, según el cual un fotón incidente sobre un átomo es absorbido a la vez que desplaza un electrón cuya energía dependerá de la longitud de onda de la radiación incidente; y el efecto Compton, en el que cuando un fotón choca con un electrón libre de la materia sobre la que incide, da como resultado un fotón de menor energía que el incidente.

El fenómeno de atenuación que sufre el haz incidente depende de la intensidad de energía inicial, y responde a una ecuación física que, en el caso de materiales homogéneos, se enuncia mediante la Fórmula 1^{3,12}:

$$I = I_0 e^{-\mu T}$$

FÓRMULA 1. Intensidad de radiación detectada tras atravesar un material.

I: intensidad medida en el detector; I₀: intensidad incidente inicial; T: espesor del material; μ: coeficiente de atenuación lineal, específico del material atravesado.

En el caso específico de los tejidos orgánicos, éstos difieren en su composición química y, por lo tanto, en sus densidades específicas; así, el coeficiente de atenuación deberá corregirse con el valor de densidad del tejido (ρ), resultando el llamado coeficiente de atenuación de masa: $\mu_M = \mu/\rho$.

Si conocemos el espesor del material, la Fórmula 1 puede expresarse como indica la Fórmula 2, en la que M representa la masa del material y μ_M el coeficiente de atenuación de masa, que en el caso de materiales integrados por diversos elementos sería la suma de los diferentes coeficientes de atenuación de dichos elementos¹².

La DEXA, como técnica de análisis de la composición corporal, realiza sus estimaciones a partir de las diferentes atenuaciones que sufre un haz de rayos X de doble energía al atravesar los diferentes componentes óseo, graso y el resto de los tejidos blandos. Cuando los fotones de dos niveles de energía diferentes inciden en un tejido, la atenuación puede expresarse como un valor R, que es la función de los coeficientes de atenuación de masa en los dos niveles energéticos (Figura 1); esto se deriva de los diferentes coeficientes de atenuación de masa que tienen los ele-

$$M = (1/\mu_M) \times \ln(I_0/I)$$

FÓRMULA 2. Masa de un material obtenida por la medición de la radiación detectada tras su paso.

mentos químicos del organismo, y que van disminuyendo a medida que aumenta el nivel de energía (Fórmulas 3 y 4)³.

Diversos estudios experimentales han desarrollado modelos matemáticos que obtienen las masas del tejido óseo y de los tejidos blandos

$$M_{\text{ósea}} = \frac{R_{\text{st}} \ln (I_{e_2}/I_{i_2}) - \ln (I_{e_1}/I_{i_1})}{\mu_1 \text{ óseo} - \mu_2 \text{ óseo} R_{\text{st}}}$$

$$M_{\text{st}} = \frac{R_{\text{st}} \ln (I_{e_1}/I_{i_1}) - R_{\text{ósea}} \ln (I_{e_2}/I_{i_2})}{R_{\text{ósea}} \mu_1 \text{ st}_2 - \mu_2 \text{ st}_1}$$

FÓRMULAS 3 Y 4. Modelos estimativos de masa de tejido blando y óseo.

$R_{\text{st}} = \mu_1 \text{ st}/\mu_2 \text{ st}$; $R_{\text{ósea}} = \mu_1 \text{ óseo}/\mu_2 \text{ óseo}$; st: tejido blando; R: relaciones de los coeficientes de atenuación de masa a alta y baja energía (μ_1 y μ_2) para tejido blando y hueso, respectivamente; I_i : intensidad inicial; I_e : intensidad emergente.

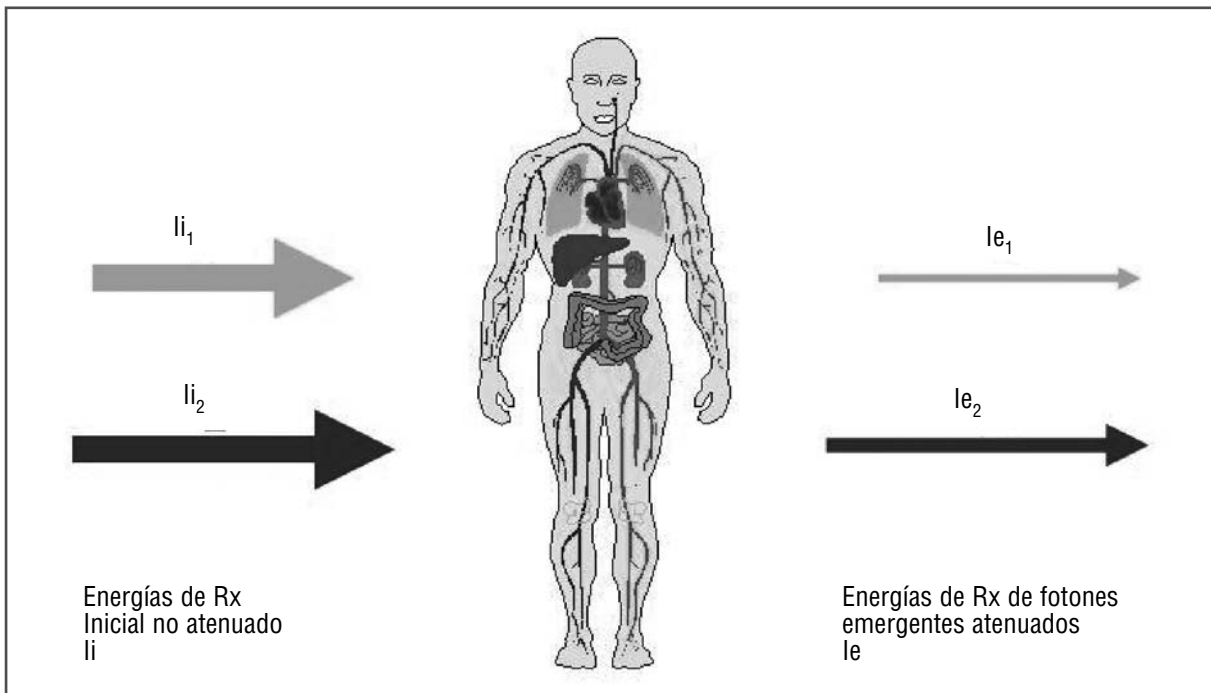


FIGURA 1. Base física de la DEXA. I_i : intensidad inicial; I_e : intensidad emergente.

adyacentes, estableciendo los coeficientes de atenuación de masa y las intensidades relativas, I_0/I en la fórmula anterior, del cuerpo humano, al ser atravesados por un haz de rayos X que varía su energía entre 40 keV y 70 keV¹².

Los valores de la intensidad de los haces incidentes proceden de estudios con tecnología DPA basada en las fuentes de Ga¹⁵³ para valorar la columna lumbar, en los que se comprobó que con valores mayores de 100 keV se reducían considerablemente las diferencias entre los coeficientes de atenuación entre hueso y tejidos blandos y los análisis reflejaban la totalidad de la masa tisular atravesada por el haz, mientras que con intensidades próximas a 40 keV existía una buena discriminación entre los tejidos blando y óseo sin excesiva atenuación¹³.

Como se ha descrito en las Fórmulas 3 y 4, la metodología de la DEXA consta de dos ecuaciones para determinar la masa ósea y la masa de tejidos blandos, basándose en el concepto de un análisis bicompartimental de la composición corporal; sin embargo, la DEXA estima tres compartimentos: masa mineral ósea, masa grasa y masa de tejido blando no óseo, por lo que el componente graso de los tejidos blandos es estimado a partir de la variación del cociente de atenuación de los tejidos blandos entre los niveles de energía más bajos y los más elevados; dicha estimación está basada en estudios que establecieron las constantes de atenuación asumidas para la grasa pura y el tejido magro no óseo a partir de la medición de elementos químicos de ambos tejidos efectuada mediante análisis de activación de neutrones; estas constantes de atenuación son prácticamente invariables entre los diferentes sujetos, por lo que la variación en el cociente de los coeficientes de atenuación a diferentes niveles de energía reflejará la cantidad de grasa en cada píxel de tejido blando analizado².

De un modo resumido, podríamos decir que la composición corporal mediante DEXA consiste en realizar un barrido de la zona corporal que se va a analizar. El haz policromático de energía proporcionado por la fuente emisora sufre atenuaciones de diferente intensidad, que dependen de la composición del tejido que atraviesan, de tal forma que los tejidos blandos compuestos de agua y otros componentes orgánicos res-

tringen el flujo de rayos X en menor medida que el hueso, lo cual refleja las diferentes atenuaciones de los elementos que componen los tejidos, siendo los constituyentes óseos calcio y fósforo los que presentan mayor capacidad de atenuación, en oposición a los elementos que integran la grasa, hidrógeno y carbono, con la menor capacidad de atenuación; así, midiendo las atenuaciones sufridas por las energías incidentes y conociendo los diferentes coeficientes de atenuación podemos estimar la masa del tejido óseo y de los tejidos blandos circundantes.

>> TÉCNICA Y EQUIPOS DE ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN CORPORAL POR DEXA

El equipo de exploración de DEXA consiste, esquemáticamente, en una mesa, donde el sujeto permanece en decúbito supino con las extremidades en aducción a lo largo del cuerpo, y que dispone de un brazo móvil en sentido cráneo-caudal y lateral donde está situada la fuente de rayos X que realiza el barrido del cuerpo y el detector de la radiación emergente tras atravesar el organismo (Figuras 2 y 3).

La fuente emite un haz de rayos X de intensidad inicial variable según el modelo de equipo de DEXA utilizado. Este haz inicial es filtrado para conseguir dos picos de intensidad diferente que, con los equipos actuales, oscilan entre 38-45 KeV y 70-100 KeV (Figura 4); de una manera resumida puede decirse que se han comercializado tres modelos diferenciados de equipos DEXA denominados de forma distinta según el fabricante:

- DPX® y los sistemas Expert®, Prodigy® e iDXA™ de GE Lunar.
- La serie de modelos Delphi® y QDR® de Hologic.
- XR® y Excell® de Stratec, que se corresponde con la anterior denominación Norland.

Estos equipos se diferencian tanto en sus características técnicas como en los programas informáticos, entre los que existen diversas versiones para los análisis regionales de densidad ósea y composición corporal (Figuras 5 y 6). Los programas de análisis también utilizan diferentes

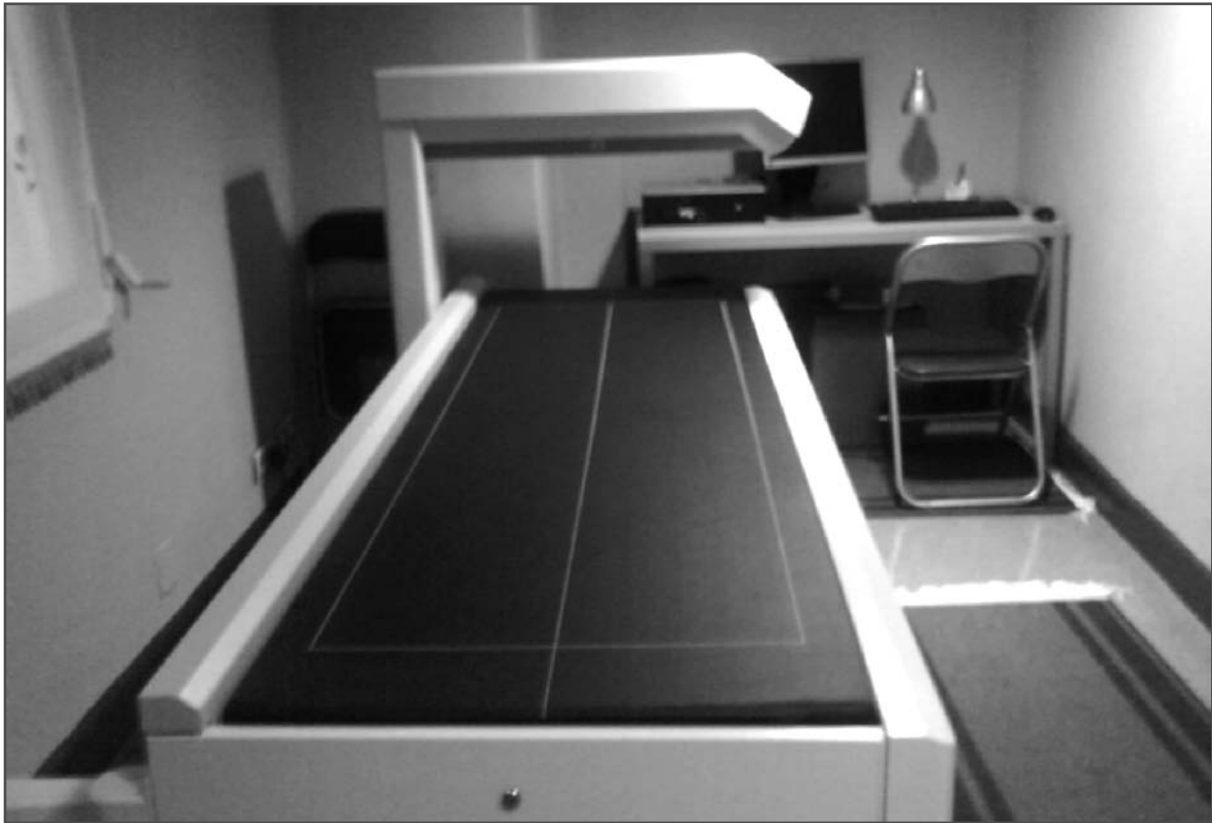


FIGURA 2. Equipo de DEXA.

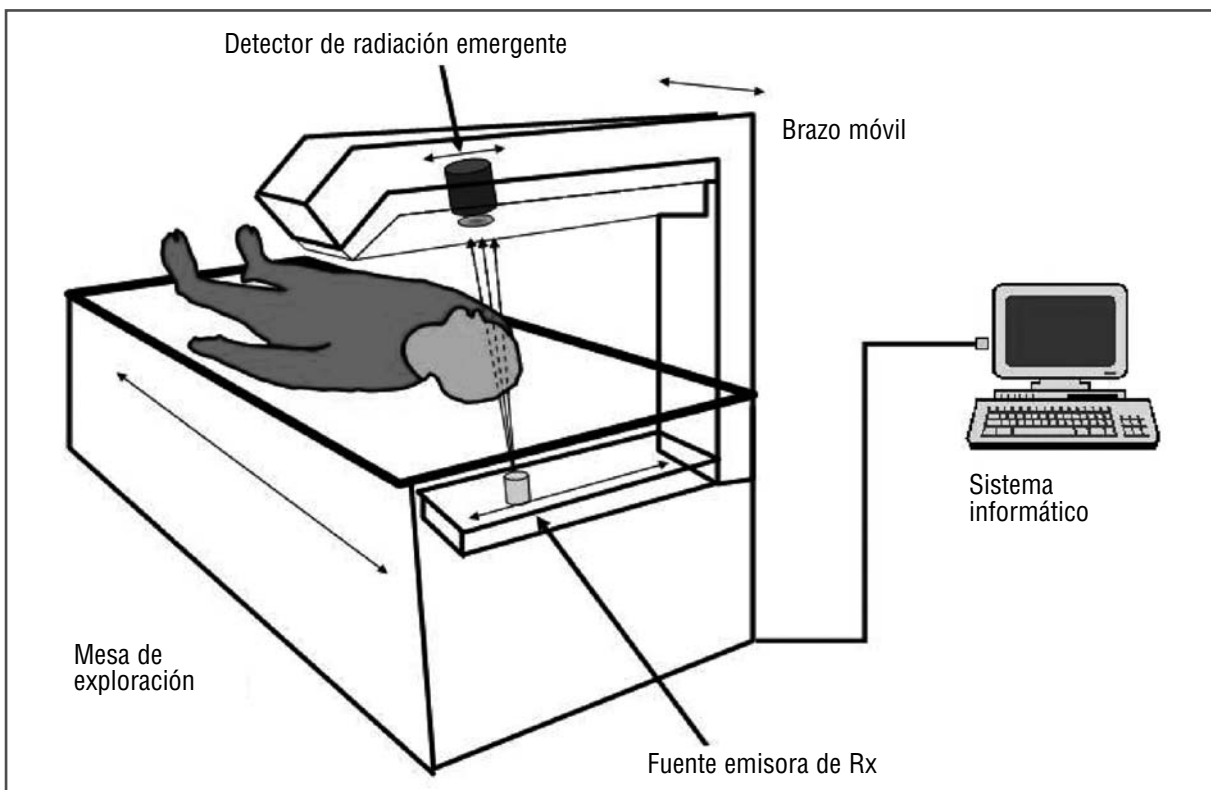


FIGURA 3. Esquema de realización de una exploración con DEXA.

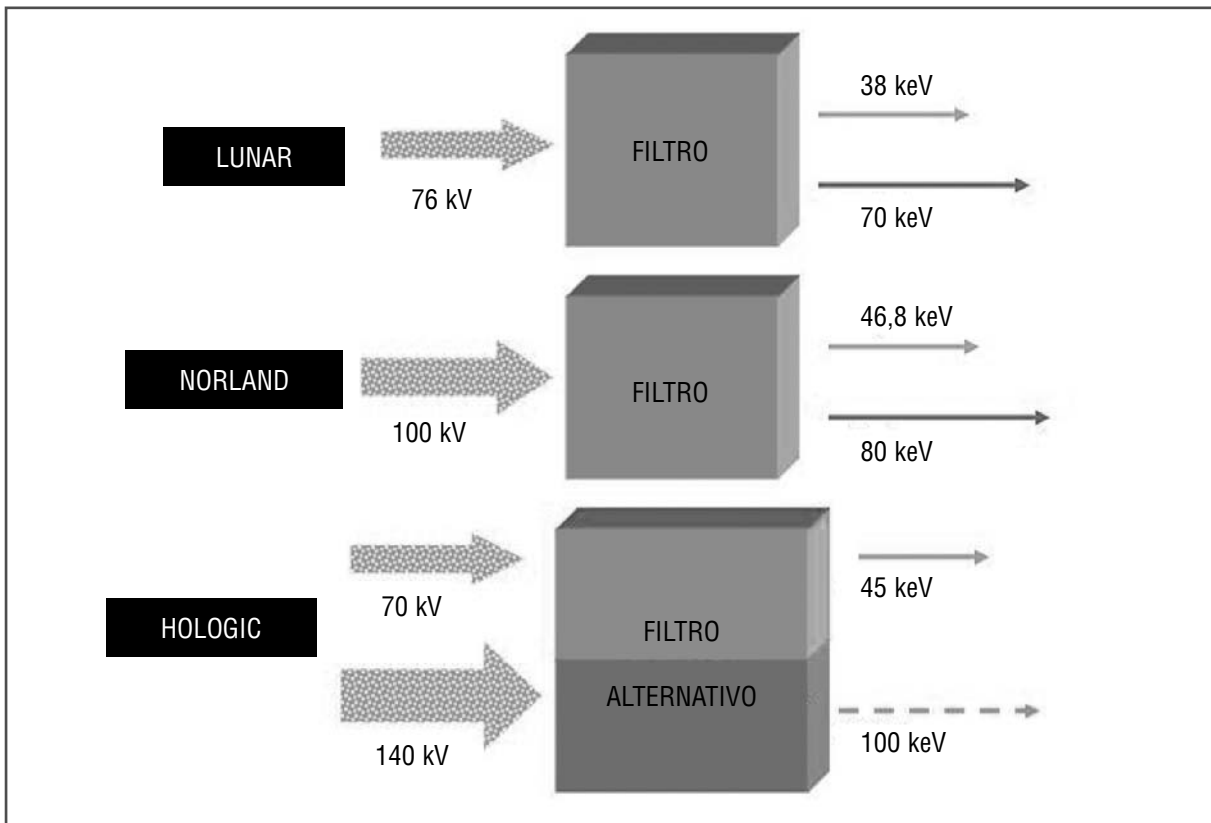


FIGURA 4. Energías empleadas por los diferentes equipos de DEXA.

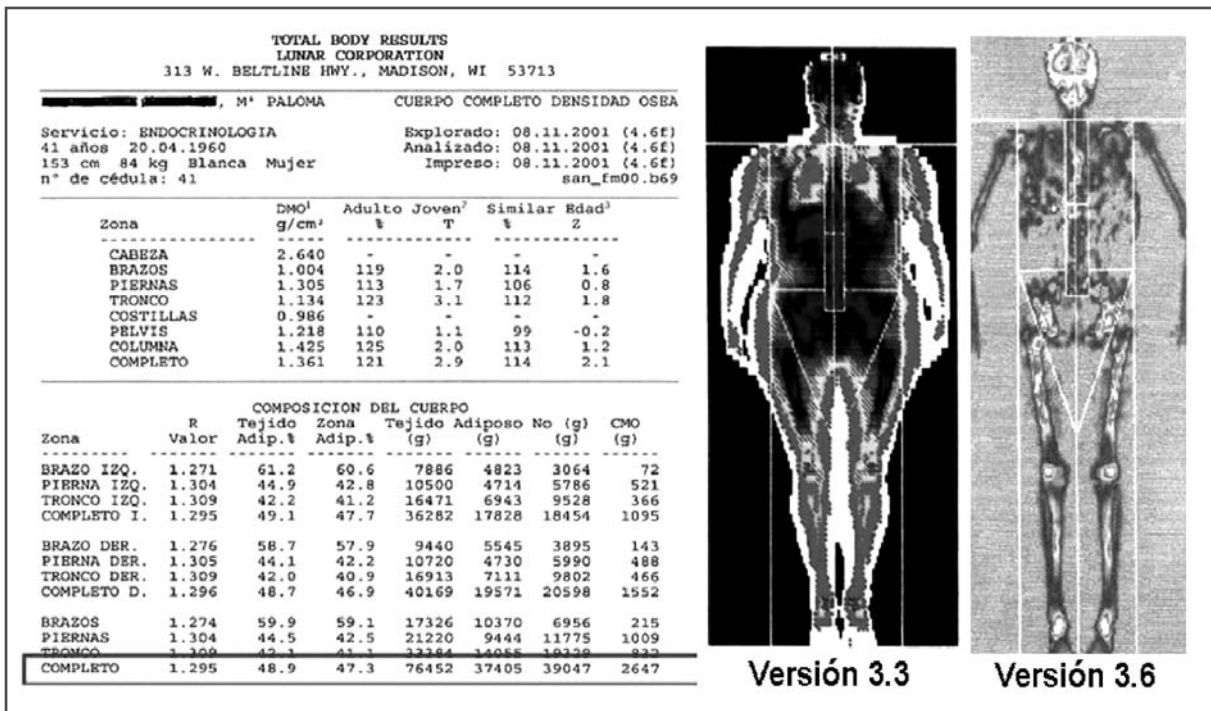


FIGURA 5. Informe e imágenes proporcionadas por software de DEXA tipo Lunar.

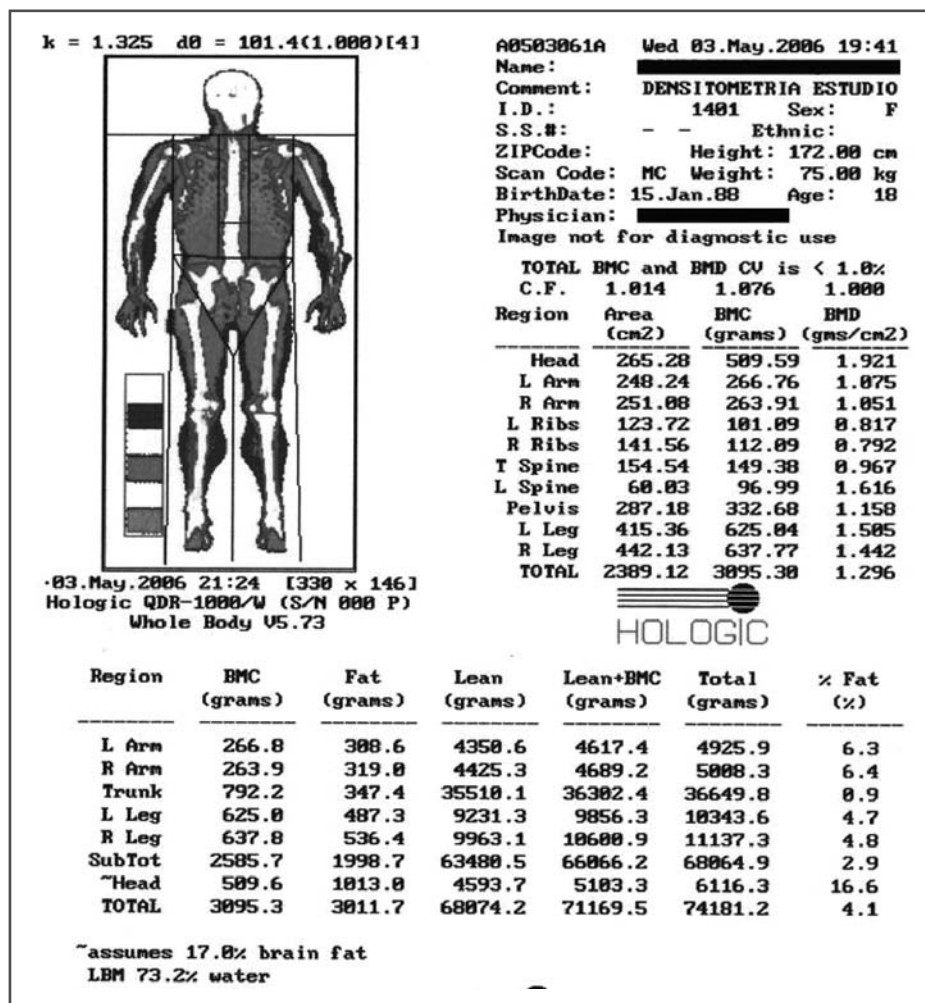


FIGURA 6. Informe de exploración de cuerpo entero realizado con DEXA tipo Hologic.

módulos según se analicen pacientes adultos o pediátricos.

De forma breve (Tabla I), podemos decir que, respecto a características técnicas, los equipos presentan diferencias en cuanto a los siguientes parámetros^{2,3,14}:

Emisión del haz de rayos X: a finales de la década de 1980 se introdujeron los primeros equipos DEXA basados en la emisión de un haz fino de rayos X, denominado haz en punta de lápiz, que realiza un barrido progresivo incidiendo de forma perpendicular en la zona corporal que se desea explorar; la fuente emisora va acoplada a un detector en la parte opuesta del brazo que realiza el barrido (Figura 3); los modelos DPX[®] de Lunar, QDR-1.000[®] de Hologic y los equipos de Stratec emplean este método. Posteriormente

se diseñan equipos que utilizan el haz en forma de abanico, en los que la radiación es emitida desde diferentes ángulos por una fuente que permite cubrir la anchura de la región explorada; así se evita el movimiento transversal del detector de radiación, ya que existen detectores múltiples situados de forma paralela al eje corporal, y se consigue una disminución del tiempo de realización de la exploración, pero a costa de un aumento de irradiación del paciente con respecto a los equipos de haz en punta de lápiz. Lunar utiliza tecnología de abanico en el modelo denominado Expert[®]; este modelo ha evolucionado hacia el Prodigy[®], que realiza una transformación directa de la radiación en señales electrónicas, sin el paso intermedio en energía lumínica que ocurre en otros DEXA de haz en abanico y, además, el ángulo del haz es más estrecho que en el Expert[®], lo que produce una disminución de la

Tabla I. RESUMEN DE CARACTERÍSTICAS DE DIFERENTES EQUIPOS DE DEXA.
LAS DOSIS EFECTIVAS HACEN REFERENCIA A UNA EXPLORACIÓN DE COLUMNA ANTEROPOSTERIOR

| Fabricante | Modelo | Geometría del haz | Filtro radiación | Control de calidad | Ejemplos de dosis efectivas en μSv |
|-------------------|--|---|---|--|---|
| LUNAR | DPX Expert Prodigy iDEXA | Lápiz Abanico Abanico estrecho Abanico | Cerio | Dispositivos plásticos y aluminio | 0,70 (Prodigy) 0,21 (DPX-L) 59 (Expert) |
| HOLOGIC | Delphi SL QDR 1.000 QDR 2.000 QDR 4.500 | Abanico Lápiz Lápiz y abanico Abanico | Interrupción pulsada del haz, cambio de voltaje | Dispositivos de aluminio, metacrilato y calibración interna con resinas epóxicas | 0,5 (QDR 1.000) 1,8 (QDR 2.000) 2,0 (QDR 4.500) |
| STRATEC (NORLAND) | XR Excell | Lápiz | Samario. Filtración dinámica | Dispositivos de aluminio y metacrilato | Inferior a 10 en XR-46 (según zonas) |

exposición a radiación. Por su parte, Hologic, en su modelo QDR-2.000[®], posee ambos tipos de haz, en punta de lápiz y abanico que, de forma similar, ha evolucionado al modelo QDR-4.500[®] con un ángulo de radiación más estrecho que el QDR-2.000[®]; los modelos de haz en abanico de ángulo estrecho suponen una irradiación similar a los equipos de punta de lápiz, pero aportan imágenes de mayor calidad.

Filtro de radiación: el haz de radiación es filtrado y dividido antes de incidir en la región a explorar, disminuyendo su energía con respecto a la que poseen a la salida de la fuente emisora y produciendo flujos de radiación de dos intensidades diferentes. Esta división del haz se consigue de dos formas: mediante filtros constituidos por tierras raras como el cerio o el samario, o bien mediante la interrupción rápida de forma secuenciada del potencial aplicado al tubo de rayos X; por ejemplo, los equipos DPX[®] y el modelo XR-36[®], que además realizan una filtración dinámica que varía la intensidad del haz según el grosor corporal del paciente, emplean el primer método, mientras que en el modelo de QDR-1.000[®] de Hologic los pulsos de diferente intensidad de radiación son generados entre dos puntos de medición secuenciales utilizando el segundo método.

Control de calidad: los procedimientos de calibración para tejidos blandos y óseos, realizados previamente a las exploraciones y comparados con resultados previos, son necesarios para conseguir resultados válidos y precisos, siendo diferentes los métodos de calibración entre los diferentes fabricantes de equipos DEXA; así, tenemos que los modelos de Hologic y Stratec utilizan bloques geométricos compuestos de aluminio, metacrilato, resinas epóxicas e hidroxipatita; además, el modelo QDR[®] realiza una calibración interna continua mediante un anillo giratorio compuesto por resina epóxica, mientras que en el caso de los sistemas DPX se utilizan dispositivos plásticos y aluminio; la calibración mediante estos dispositivos está basada en la similitud con los tejidos blando y óseo que presentan ciertos materiales como plásticos unidos al aluminio, con lo que pueden usarse para simular los componentes graso y libre de grasa^{8,15}; la comparación y el desarrollo de nuevos dispositivos de calibración también son importante para contrastar equipos de diferentes fabricantes y para validar modelos del mismo fabricante^{16,17}.

Detectores de radiación: todos los cambios que sufre el haz de rayos X al atravesar el cuerpo son registrados en un detector externo que, mediante un sistema informatizado y un *software* con

algoritmos específicamente desarrollados, analiza estos cambios creando un mapa de píxeles, cuantificándolos y usándolos, además, para proporcionar imágenes de la región anatómica analizada, que pueden variar según la versión de *software* que se utilice (Figuras 5 y 6); la configuración de los detectores también es diferente según los equipos; así, Lunar y Hologic emplean una serie lineal de detectores sólidos, mientras que en el caso de Stratec se utilizan detectores de centelleo de yoduro sódico que transforman la radiación recibida en energía lumínica. Otra diferencia en cuanto a los detectores sería que los equipos de Lunar y Stratec discriminan las diferentes energías recibidas, mientras que en el caso de Hologic no es necesaria esta discriminación por el modo de generación del haz comentado anteriormente.

Las dimensiones de la mesa de exploración son similares en casi todos los equipos, requiriendo que el paciente permanezca en decúbito supino. En cuanto al tiempo de realización de las pruebas, que previamente necesitaban de 15 a 25 minutos para una exploración de cuerpo entero, varía entre 3 y 8 minutos, e incluso menos de 1 minuto en exploraciones de columna lumbar y cadera, con los equipos actuales de haz en abanico y de haz en punta de lápiz de última generación como el DPX-IQ[®] de Lunar y el XR-46[®] de Norland, actual Stratec, con unos niveles de irradiación para el paciente que van a depender del modelo, de la tecnología de haz utilizada y del modo de análisis presente en algunos equipos, como DPX-L[®] de Lunar, que permite escoger, por ejemplo, modalidades lentas para individuos obesos^{8,14,18}. Recientemente se han introducido equipos con mayor superficie de exploración (iDXA[™]) que permiten realizar estudios sistemáticos de pacientes con obesidad mórbida de hasta 185 kg.

Las diferencias existentes entre los diversos modelos de DEXA en cuanto a programas de análisis, calibración y características físicas de los equipos producen resultados diferentes en los análisis de densidad ósea y composición corporal, dificultando la comparación de estudios; debido a ello se creó el *International DXA Standardization Committee* para la unificación de criterios, el establecimiento de parámetros que permitan una validación cruzada y el desarrollo de

modelos matemáticos para estandarizar las medidas de densidad ósea en cada equipo permitiendo estudios multicéntricos^{19,20}, aunque algunos autores comunican resultados contradictorios²¹.

Algunos autores han encontrado diferencias significativas en los resultados de estudios realizados en los mismos sujetos pero con equipos diferentes como Lunar[®], Hologic[®] o Norland[®]. Estos resultados pueden atribuirse a diferencias en la generación de niveles de energía en las exploraciones, a los distintos algoritmos empleados para el análisis de los tejidos no óseos, a los métodos de calibración y a las diferencias entre los equipos que generan haces en abanico o en punta de lápiz¹⁴; estas diferencias pueden variar entre el 4% y el 19% para los tres compartimentos de MG, MLG Y MO que analiza la DEXA, por lo que se hace necesario comparar los diferentes equipos de DEXA con modelos multicompartimentales para lograr una mayor estandarización de la técnica^{2,14}.

Estas diferencias entre los diferentes equipos han sido objeto de varios trabajos que han estudiado los diferentes resultados en la estimación de la composición corporal suministrados por los equipos de diferentes fabricantes, y también entre los modelos del mismo fabricante que utilizan haz de punta de lápiz o en abanico; entre éstos se han comunicado diferencias entre las estimaciones de la masa grasa (MG) corporal total y relacionadas con el sexo en las que el modelo DPX-L[®] mostró el porcentaje de MG más bajo y el Prodigy[®] el más elevado²², y diferencias dependientes del contenido total en MG, en las que el QDR-4.500[®] proporciona valores más elevados que el QDR-1.000[®] en individuos con menor contenido en MG, mientras que en los sujetos con MG elevada ocurre lo contrario. Otros equipos, como DPX-IQ[®], Prodigy[®] y Expert[®] muestran diferencias en las estimaciones del compartimento graso no dependientes de la cifra de MG, siendo los equipos DPX[®] y Prodigy[®] los más próximos, quizá por la similitud tecnológica entre el haz en punta de lápiz con el de abanico de ángulo estrecho²³. De forma similar, las estimaciones de masa libre de grasa (MLG) presentan diferencias en los contenidos altos de MLG; estas diferencias, que pueden alcanzar cifras de hasta el 19% en las estimaciones de MG, han llevado a algunos autores a desarrollar ecua-

ciones que permitan la conversión entre los resultados de los modelos de haz de punta de lápiz y abanico de ciertos modelos. Sin embargo, se recomienda que para estudios longitudinales en los que se desee detectar cambios de composición corporal se utilice el mismo equipo durante todo el estudio^{24,25}; otros estudios que comparan diferentes equipos entre sí y con técnicas de referencia como la hidrodensitometría (HD), encuentran diferencias que también invalidarían el intercambio de aparatos para estudios individuales y clínicos. Por otro lado, los mismos autores comparan dos equipos de haz en abanico, QDR-4500® y Expert®, y un equipo de haz en punta de lápiz, QDR-1000®, y concluyen que pueden ser asumidos realizando una adecuada calibración cruzada^{26,27}; estos resultados ya fueron mencionados por otros autores que analizaron el contenido óseo mediante las dos tecnologías, llegando a la conclusión de que ambos métodos se pueden expresar mediante un factor escalar cercano a la unidad, y en aquellos casos en que se sustituya un equipo por otro de tecnología diferente deberían realizarse estudios de calibración cruzada en individuos, ya que la calibración realizada con dispositivos artificiales puede dar lugar a errores^{28,29}.

Los estudios que analizan la variabilidad en el análisis regional de la composición corporal son menos numerosos; sin embargo, también se han detectado diferencias entre los diferentes equipos que pueden influir de forma importante en la detección de enfermedades asociadas a ciertas patologías, como en el caso de la lipodistrofia asociada a la infección por VIH, en los que Prodigy® muestra valores superiores a QDR-2.000® en el porcentaje de MG en tronco y en la relación tronco-extremidades inferiores, y valores inferiores en el porcentaje de MG total y en las extremidades superiores e inferiores³⁰. De un modo similar, en dos estudios realizados con individuos sanos se encuentran diferencias entre equipos de haz en abanico y haz en punta de lápiz^{31,32}, y valores más elevados para MG y contenido mineral determinados por DPX® en comparación con QDR-1.000®, que muestra valores más elevados para MLG³³ y, como se mencionó anteriormente, aunque algunos autores desarrollan modelos matemáticos para convertir los valores de un equipo a otro y reducir las discrepancias, estos modelos no se puede considerar que sean extrapolables a otros dispositivos³¹.

>> LA DEXA EN COMPOSICIÓN CORPORAL

Las medidas estimativas de composición corporal se han convertido en parámetros importantes en la valoración del estado nutricional y, por extensión del estado de salud, desde que se han ido acumulando evidencias de la repercusión del contenido adiposo sobre las tasas de morbimortalidad y de la influencia del contenido de MLG en el metabolismo basal.

Como se ha ido exponiendo hasta aquí, una fuente de rayos X produce un espectro policromático de fotones que genera dos picos de energía diferentes que realizan un barrido corporal; se produce una atenuación de los fotones a medida que atraviesan los tejidos en función del tipo y la proporción de los átomos presentes en el tejido y de la energía de los fotones y, finalmente, en función de los diferentes coeficientes de atenuación entre tejido mineral y tejidos blandos por un lado, y entre tejido magro y tejido adiposo por otro. La DEXA realiza un análisis de la composición corporal tricompartmental consistente en tejido óseo, tejido magro y tejido adiposo. Esta técnica permite el estudio de la composición corporal tanto del cuerpo entero como de distintos segmentos, si bien no es órgano-específica y no permite cuantificar de forma separada los componentes proteicos y de agua del tejido magro.

La DEXA estudia la composición corporal desde un punto de vista de tres compartimentos que se distinguen por sus diferentes capacidades de atenuación de los rayos X: MG, masa ósea (MO) y el llamado componente tisular blando delgado (LST, *lean soft tissue* en la literatura médica anglosajona), sinónimo de MLG o masa magra, compuesto de agua, proteínas, glucógeno y minerales no óseos (Tabla II); los componentes óseo y graso presentan la atenuación más alta y más baja, respectivamente, mientras que el componente tisular blando presentaría una atenuación intermedia³⁴.

No obstante, debemos puntualizar que la DEXA no hace tres mediciones independientes de MG, MO y MLG, ya que esto requeriría disponer de tres niveles de energía con sus correspondientes valores de atenuación, sino que la masa grasa y

| Tabla II. MODELO DE COMPOSICIÓN CORPORAL Y COEFICIENTES DE ATENUACIÓN SEGÚN DEXA | | | | |
|--|--------------------|------------|-------------|-----------|
| | Compartimentos | | Componentes | Valores R |
| Peso corporal | Tejidos blandos | Grasa | | 1,2 |
| | | Masa magra | Agua | 1,4 |
| | | | Glucógeno | |
| | | | Proteínas | |
| | Minerales no óseos | | | |
| Minerales óseos | | | 3,0 | |

la muscular son discriminadas mediante un proceso matemático; y así, el método de análisis por DEXA actúa separando inicialmente los píxeles que corresponden al tejido blando, compuestos por grasa y tejido libre de grasa y no óseo, de aquellos compuestos por tejido blando unido a tejido óseo, estos últimos con el coeficiente de

atenuación más elevado. Los algoritmos que constituyen el *software* utilizan procesos iterativos y análisis de histogramas de valores de los coeficientes de atenuación que, unidos a técnicas de procesamiento de imágenes, integran toda esta información para proporcionar una imagen corporal del área analizada³ (Figuras 5-7).

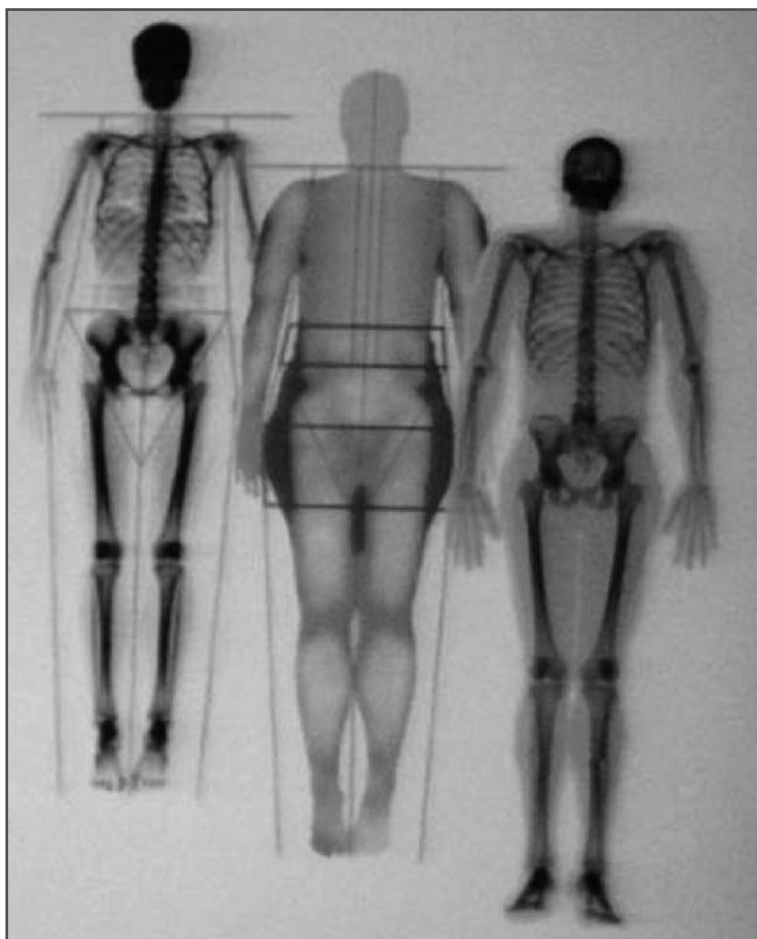


FIGURA 7. Diferentes imágenes por DEXA en la valoración de la composición corporal.

Finalmente, la estimación diferenciada de los componentes graso y no graso del tejido blando se realiza mediante modelos matemáticos como los citados previamente en las Fórmulas 3 y 4, en los que los respectivos coeficientes de atenuación R se han establecido midiendo muestras de tejido blando y de grasa, o bien otros materiales que sirven como métodos de calibración; los valores del análisis de la composición corporal, junto con la imagen del área analizada, o del cuerpo entero, podrán ser impresos en informes similares a los de las Figuras 5 y 6, con diversas variaciones según el equipo de DEXA y la versión de *software* que se utilice.

Los avances tecnológicos han supuesto el desarrollo de equipos de DEXA progresivamente más sofisticados en cuanto a la fuente emisora de rayos X, adquisición y análisis de los datos corporales, lo que implica un perfeccionamiento en los algoritmos de análisis de las imágenes obtenidas. Todo ello ha llevado a que la DEXA haya extendido su uso, empleándose como técnica de análisis de la composición corporal en diversas situaciones³⁵⁻⁴⁴, debido a su capacidad para estudiar la composición de tejidos no óseos y los cambios en la composición corporal, y por haber sido validada frente a técnicas de referencia⁴⁵⁻⁵².

Además, la DEXA se incluye como método de uso frecuente en diversos campos del análisis de la composición corporal, como los estudios que emplean referencias multicompartmentales⁵³⁻⁵⁶, en el desarrollo de nuevos modelos para estimar la MG abdominal^{57,58}; en la estimación de la masa muscular total a causa de su importancia en la actividad física y en la valoración nutricional⁵⁹; en la medición de la masa muscular regional, para investigar como influyen en ésta, el crecimiento, el envejecimiento y las variaciones ponderales^{60,61}; en la estimación de la grasa visceral⁶² y, más recientemente, en otro aspecto interesante como es la valoración de la masa adiposa inter- e intramuscular⁶³, debido a su importancia metabólica en la sensibilidad a la insulina, y a los resultados conseguidos con la reducción de su contenido⁶⁴⁻⁶⁷.

Se han publicado estudios dirigidos a la cuantificación de la masa ósea mediante DEXA de triple energía^{68,69}. El desarrollo de esta tecnología, aunque no está exenta de complejidad, podría supo-

ner el acceso a un modelo multicompartmental de la composición corporal mediante DEXA que permita estimar la masa proteica y el agua corporal, además de la MG y la MO¹².

>> VALIDEZ Y PRECISIÓN DEL ANÁLISIS POR DEXA

Adicionalmente a las diferencias en cuanto a equipos y programas de análisis utilizados, se han descrito otros factores que podrían influir en la precisión y fiabilidad del análisis de composición corporal mediante DEXA, entre los que se pueden citar factores dependientes del organismo como son el tamaño corporal, el contenido de MG, la hidratación de la MLG, la velocidad de barrido, y otros factores inherentes a las bases físicas de la DEXA, como las asunciones derivadas de considerar una cantidad de grasa igual en las capas de tejido que cubren los huesos y en las regiones vecinas libres de elementos óseos, y a que la validez de las estimaciones puede ser menor en brazos, piernas y tórax, puesto que existen pocos píxeles libres de hueso para los cálculos directos de MG y MLG⁷⁰. Otro aspecto que se debe tener en cuenta es que a medida que la profundidad y el espesor de la capa de tejido analizada aumentan, disminuye la relación de la atenuación fotónica entre los niveles de baja y alta energía usados en la exploración. Este fenómeno se corregiría con una calibración realizada con los dispositivos adecuados; esto, que es asumido por la DEXA al realizar la exploración, puede no cumplirse en sujetos con obesidad elevada y profundidad de análisis en la zona abdominal mayor de 25 cm, considerada el límite superior en sujetos con normopeso, lo cual podría llevar a una disminución en la validez de los resultados en casos de obesidad severa, por errores en la estimación de los compartimentos graso y óseo^{14,70,71}.

La DEXA tiene una gran precisión y reproducibilidad para calcular la masa ósea, aunque es menos precisa a la hora de calcular la proporción de tejido graso y tejido magro, con coeficientes de variación del 1%-2%, lo que permite valorar el contenido de MG total con pequeñas diferencias, incluso en niveles de MG mayores del 25%, convirtiendo la DEXA en el método de referencia más utilizado en la actualidad, habiendo sido

validado frente a técnicas multicompartimentales y con otras técnicas de referencia en pacientes obesos^{53,72}; se trata de un método muy seguro cuando lo empleamos para sujetos que pertenecen a la misma población usada como referencia⁷³.

Una ventaja importante de esta técnica estriba en que es capaz de analizar la grasa contenida en el tejido graso y en la MLG⁷⁴, como se ha comentado previamente al hablar de la grasa del compartimento muscular. En este sentido, hoy día puede considerarse una técnica de referencia para estimar tanto la grasa corporal como la grasa segmentaria, que en el caso de la grasa intraabdominal tiene interés en la valoración de análisis de riesgo en el paciente obeso. Volveremos sobre este aspecto al hablar de la exploración de la distribución de la grasa en el paciente obeso.

La dosis de radiación es pequeña y no precisa gran colaboración por parte del paciente, por lo que es fácilmente aplicable en la práctica clínica. La técnica tiene una excelente precisión y un bajo CV, de alrededor del 1%-2%, pero en pacientes obesos presenta unas limitaciones derivadas del tamaño de la camilla que dificultan la exploración de cuerpo entero en pacientes con obesidad severa; por lo que, para solventar esta limitación técnica, algunos autores, como se comentará con posterioridad, proponen la realización de un análisis de la mitad corporal basándose en la hipótesis de una composición corporal simétrica, observando buena correlación con técnicas de referencia. Este método de análisis podría introducir un factor de variabilidad representado por la línea de referencia que debe tomarse para dividir las mitades corporales, por lo que dichos autores también proponen, para reducir este error, que el porcentaje de MG de la mitad corporal explorada se multiplique por el peso corporal⁷⁵.

Los diferentes estudios comparativos realizados con DEXA muestran que permite estimar la composición corporal de los diferentes compartimentos graso y no graso, con una precisión que oscila entre el 0,6% y el 2% para el equipo DPX[®] comparado con técnicas de referencia⁷⁶, siendo similares los resultados para los equipos de haz en abanico, según los resultados publicados más recientemente³⁷, ya que los primeros estudios de validación mostraban rangos de variabilidad de -0,7 a 2

kg para MLG y de -0,4% a -5,3% para MG, con respecto a los métodos de referencia^{45,77-79}.

Un caso particular lo constituye el seguimiento longitudinal de los cambios en la composición corporal mediante DEXA. La menor variabilidad de la DEXA frente a técnicas bicompartimentales como la HD o los métodos dilucionales en la valoración de cambios en los compartimentos corporales fue puesta de manifiesto por varios autores⁵¹. En otro trabajo no se encuentran diferencias significativas entre la DEXA, la HD, los métodos dilucionales y la pletismografía por desplazamiento de aire frente a técnicas multicompartimentales en el seguimiento de los cambios en los compartimentos de MG y MLG en pacientes postmenopáusicas sometidas a restricción calórica⁸⁰; sin embargo, la precisión en los cambios de composición corporal no es superponible si se trata de equipos de diferente tecnología. En relación con esto, se han observado diferencias entre los equipos de haz de punta de lápiz frente a los de haz en abanico, en un estudio realizado con un equipo QDR-4.500[®] y otro equipo QDR-2.000. En pacientes adultos de 18 a 73 años sometidos a programas de pérdida de peso se observó que el equipo QDR-2.000[®] de haz de lápiz era el que obtenía una estimación más concordante de las variaciones en la MG y la MLG en relación con estimaciones realizadas con métodos dilucionales como técnica de referencia⁸¹; aunque las diferencias entre ambos sistemas de DEXA no son de gran magnitud, y los cambios en MLG y agua corporal muestran una relación similar, ambos sistemas de DEXA no son intercambiables, y esto debe tenerse en cuenta, dado que el menor tiempo de exploración que aportan los sistemas de haz en abanico puede hacer que partan de una posición ventajosa con respecto a los de haz de punta de lápiz para su empleo en estudios poblacionales.

Así pues, es necesario tener en cuenta lo siguiente:

– El control de calidad en la realización de exploraciones con DEXA es fundamental para la precisión de los resultados obtenidos, y de un modo especial en ciertas patologías cuando se valoran los compartimentos corporales tras variaciones en el peso del individuo; esto facilita el desarrollo de modelos que permiten la comparación de datos obtenidos entre los tipos de aparatos de DEXA

existentes, y también entre las diferentes versiones de *software* para un mismo aparato^{8,18,82}.

– Los diferentes modelos de equipos y versiones de *software* existentes hacen que el desarrollo de valores de referencia mediante modelos matemáticos basados en un equipo DEXA para los compartimentos de MG y MLG⁸³ sea de aplicación limitada, debido a que puede no existir una correlación óptima con el resto de equipos¹⁴.

– Los factores debidos al tamaño corporal tienen interés a causa de los errores que pueden ocurrir en aquellos casos en que por estatura o grado de obesidad el cuerpo del sujeto excede del tamaño de la mesa de exploración, situación frecuente en sujetos con IMC >40 kg/m², lo cual deja zonas corporales fuera de la zona analizada; también se debe tener en cuenta que en casos de obesidad importante, la dosis de radiación podría no ser suficiente, lo que requeriría dosis más elevadas o tiempos de exploración más prolongados^{8,84}. Cuando el paciente es demasiado voluminoso para la mesa de exploración, se recomienda utilizar el hemicuerpo derecho para el análisis², y en sujetos de talla elevada se emplearía el resultado de sumar dos exploraciones realizadas dividiendo el cuerpo a nivel del cuello femoral o a nivel de ambos hombros, aunque este último método obtendría mejores resultados⁸⁵. Estas limitaciones se están reduciendo con la introducción de nuevos equipos que, además de mejorar la resolución de la imagen, están espacialmente diseñados para la exploración de pacientes con obesidad mórbida, como iDXATM.

– La velocidad de exploración influye significativamente en los resultados de análisis de composición corporal efectuados con DEXA. Por ello, algunos autores recomiendan que en las exploraciones se utilice el modo lento y el análisis extendido presente en algunos equipos, especialmente si se trata de exploraciones repetidas en el mismo sujeto^{76,86}.

>> APLICACIONES CLÍNICAS DEL ANÁLISIS DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL POR DEXA

La cuantificación de los diversos compartimentos corporales es de sumo interés para entender

los procesos fisiológicos y cómo son afectados por las diversas patologías, dado que muchos procesos patológicos pueden afectar a los tejidos óseo y blando de forma simultánea, así como para evaluar la evolución y el resultado de las intervenciones terapéuticas; la DEXA se ha convertido en una técnica de fácil acceso para la investigación y la práctica clínica. En la actualidad, la DEXA se emplea en multitud de situaciones clínicas y, como consecuencia de los avances tecnológicos que han permitido desarrollar equipos con emisión del haz en forma de abanico de ángulo estrecho que realizan exploraciones en breves espacios de tiempo, y con dosis de radiación similares a los dispositivos de haz en punta de lápiz, se pueden seguir ampliando sus aplicaciones a otras situaciones además de las ya utilizadas hasta ahora:

– Está bien establecida la valoración de la densidad ósea en los procesos descalcificantes como la osteoporosis y su seguimiento terapéutico, identificando previamente a los pacientes con riesgo, ya que la DEXA es una prueba de cierto coste para ser aplicada a nivel poblacional, y en las etapas de adquisición de masa ósea como los periodos de crecimiento.

– Estudios en patologías endocrinas como el déficit de hormona de crecimiento, que en adultos produce un aumento de la MG y una disminución de la MLG, y a la inversa en la acromegalia, y su modificación con los respectivos tratamientos, en el hiperparatiroidismo, y la redistribución en la MG desde la periferia hacia la zona corporal central que ocurre en el síndrome de Cushing^{15,87-89}.

– Valoraciones del estado nutricional, dado el papel que juega la nutrición en el proceso de mineralización del esqueleto, en casos de: terapias reductoras de peso, trastornos de la conducta alimentaria, dentro de los que podemos citar la anorexia como causa de osteoporosis, obesidad y factores de riesgo inherentes a la insulinoresistencia^{90,91}, esquemas de entrenamiento deportivo, procesos fisiológicos como la menopausia, etc.

– La DEXA ha ampliado su uso a situaciones clínicas, como la monitorización de los cambios en la composición corporal de sujetos obesos que

siguen tratamientos reductores de peso o de pacientes con patologías que evolucionan a la caquexia, e incluso al campo de la prevención en el contexto de las enfermedades metabólicas y cardiovasculares, como se ha citado con anterioridad en los casos de la valoración de la grasa intermuscular.

– La malnutrición que ocurre en procesos digestivos como la enfermedad inflamatoria intestinal, la enfermedad celiaca y los pacientes sometidos a gastrectomía total, altera los compartimentos de MLG, MG y masa ósea. En los trastornos hepatobiliares en los que se observó un comportamiento diferenciado según el sexo, los pacientes cirróticos de sexo femenino disminuían su MG, mientras que los varones perdían MLG; además, los trastornos nutricionales que se dan en la cirrosis alteran el recambio proteico influyendo de forma subsidiaria en la masa ósea⁹²⁻⁹⁵, y en patología renal, en la que la malnutrición supone un aumento en la morbimortalidad de los pacientes con insuficiencia renal crónica y la DEXA es de utilidad para valorar los cambios a corto plazo producidos por la hemodiálisis^{96,97}.

– Estudio segmentario de la composición corporal, para valoraciones de la distribución regional de la grasa, y su asociación con factores de riesgo en el contexto del síndrome metabólico^{91,98,99}; estudio de la masa muscular del muslo como indicador de sarcopenia, existiendo estudios recientes comparativos con tomografía computarizada (TC)¹⁰⁰.

– La reducción del tiempo necesario para el estudio de la composición corporal y el aumento de su precisión han contribuido a que se incluya en estudios poblacionales como técnica de análisis de composición corporal en el NHANES IV, pero persiste la necesidad de realizar estudios de validación para los dispositivos que emplean el haz en abanico², ya que algunos autores no han encontrado diferencias significativas entre ambos tipos de DEXA al determinar la masa de tejido blando apendicular¹⁰¹ y, por el contrario, sí se han comunicado diferencias significativas entre los diferentes dispositivos de DEXA al determinar el porcentaje de MG y la densidad ósea mineral, como ya se ha comentado con anterioridad.

– Dentro de las patologías que causan malnutrición, se puede citar de forma diferenciada el SIDA; en el contexto de esta patología se ha comunicado que la pérdida de MG depende del sexo, de tal forma que las mujeres presentan una disminución más acusada en los niveles de MLG en todas las fases de la enfermedad, con respecto a los pacientes de sexo masculino, así como una pérdida de masa ósea en relación con su malnutrición y con las alteraciones hormonales¹⁰²⁻¹⁰⁴.

>> LA HIDRATACIÓN Y SU INFLUENCIA EN LA VALIDEZ DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL ESTIMADA POR DEXA

Un estudio investigó la posible influencia de la hidratación de la MLG en la estimación del compartimento grasa, y se concluyó que aunque el cambio en la hidratación de la masa magra puede suponer una fuente de error en la estimación de la MG, como habían sugerido varios autores¹⁰⁵, este error es de pequeña magnitud en la mayoría de las situaciones clínicas y no afectaría a la fiabilidad de la DEXA como técnica de análisis de la composición corporal para medir la MG y la MLG^{3,15,106-108}; otros autores, en una recopilación de datos sobre los cambios de hidratación y su influencia en la composición corporal determinada por DEXA, concluyen que un cambio del 5% en el contenido de agua de la MLG podría afectar a la estimación de la MG por DEXA entre un 1% y un 2,5%¹⁰⁹; en otro estudio comparativo que incluía pacientes con sobrepeso y obesidad, con un modelo compartimental sobre la validez de la DEXA para estimar el porcentaje de MG, se concluyó que los errores de estimación se deberían en mayor medida al espesor tisular anteroposterior de la zona explorada, más que a los cambios en la hidratación, lo cual resultaría en una infraestimación del porcentaje de MG en los sujetos más delgados⁵³. Ya anteriormente se observó que es más importante la distribución de la masa grasa, por su repercusión en el espesor anteroposterior de la zona analizada, que la hidratación¹¹⁰. Sin embargo, han sido criticados los intentos de investigar la repercusión de la composición corporal regional sobre las mediciones efectuadas por la DEXA, reproduciendo en condiciones experimentales los posibles cambios que pueden ocurrir *in vivo*^{111,112}.

>> LA DEXA EN LA EXPLORACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN CORPORAL DE LA ADIPOSIDAD

En años recientes se han retomado las observaciones hechas por Vague¹¹³ acerca de los patrones de distribución de la MG y su asociación con alteraciones metabólicas, efecto que se mantiene de forma independiente de la edad^{114,115}, por lo que, aparte de la cantidad de MG corporal, la valoración de la distribución regional de la grasa es una exploración imprescindible en la valoración del paciente obeso, a causa de la asociación de determinados patrones de distribución de la grasa corporal con la aparición de complicaciones metabólicas que incrementan el riesgo de patología cardiovascular¹¹⁶.

La distribución androide, o de predominio abdominal, de la grasa corporal es la que tiene una mayor trascendencia desde el punto de vista clínico, dada su asociación con un aumento del riesgo cardiovascular, y de desarrollo de síndrome metabólico y diabetes, efecto que ya fue observado hace varias décadas por Vague¹¹³; el riesgo asociado es independiente del grado de IMC y exige, como se ha dicho, una valoración específica de la distribución de la grasa corporal en el paciente obeso¹¹⁷⁻¹¹⁹.

A medida que se fue profundizando en el estudio de la distribución regional de la grasa corporal, surgieron evidencias en cuanto a que en el contenido de la grasa troncular existían diferencias de distribución en subcutánea y perivisceral, siendo esta última la que se asocia al mayor riesgo metabólico de la obesidad abdominal^{114,120}; en este sentido, se siguen desarrollando métodos de medida específicos para su valoración, basándose en el empleo de técnicas de imagen como la TC o la resonancia magnética nuclear (RMN).

Como se comentó previamente, en la actualidad la DEXA es una técnica de referencia para cuantificar la MG, pero las exploraciones de cuerpo entero permiten realizar determinaciones regionales de composición corporal⁹¹. En este sentido, la DEXA es un método utilizado para cuantificar el contenido de grasa troncular y, particularmente, abdominal, siempre que el *software* asociado a los equipos permita seleccionar la región de estudio mediante la colocación de los denominados ROI (acrónimo del inglés *region of interest*), que habitualmente se colocan en la zona comprendida entre L2-L4^{58,121} (Figura 8); un uso adicional de las estimaciones regionales de la MG consiste en el desarrollo de modelos matemáticos dirigidos a predecir el contenido total de MG a partir de los valores obtenidos en las regiones

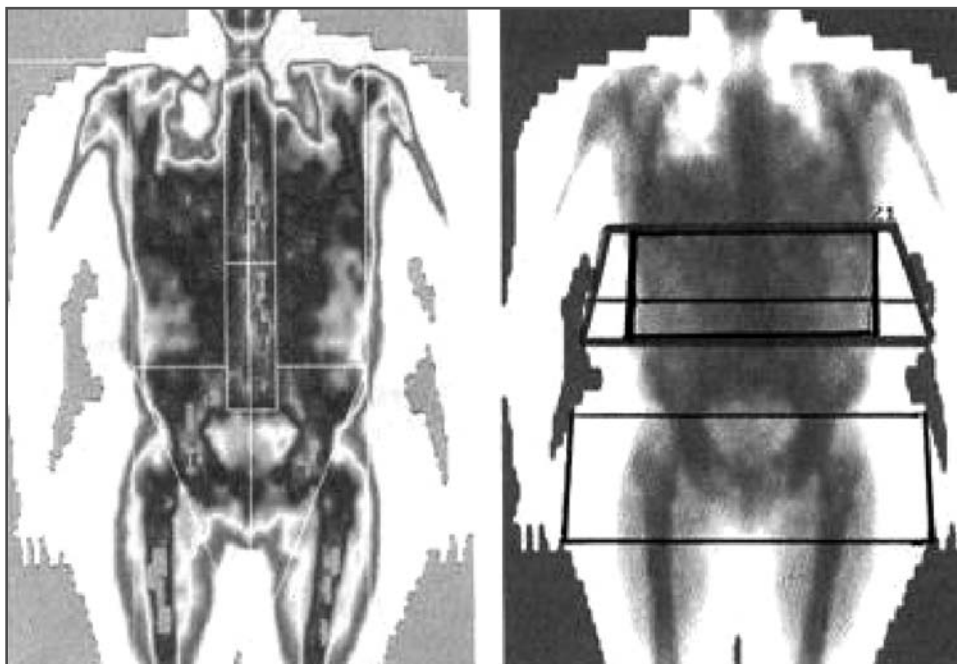


FIGURA 8. Estimación de grasa abdominal por DEXA.

abdominal y femoral, que sería de utilidad en los equipos que no suministren exploraciones de cuerpo entero¹²².

Varios autores sugieren que la MG abdominal estimada por DEXA en combinación con la medida de pliegues cutáneos puede emplearse para estimar la MG intraabdominal²; este método ha sido validado empleando la TC como referencia, y se ha observado que, cuando se añade la medida de pliegues cutáneos tronculares y el índice cintura/cadera (ICC) a la medida de MG abdominal por DEXA, el porcentaje de varianza explicada en la medida de la MG intraabdominal por TC aumenta significativamente, con respecto a cuando se emplea de forma aislada la medida de MG por DEXA, pasando del 80% al 91%; del mismo modo, el ICC y el diámetro intraabdominal por DEXA obtienen la mejor correlación con la MG visceral por TC^{123,124}.

Como técnica de referencia, la DEXA es útil para desarrollar modelos matemáticos que estimen la grasa troncular y abdominal, pero no permite

valorar con precisión los compartimentos grasos subcutáneo e intraabdominal visceral y perivisceral¹²⁵; no obstante, se han desarrollado algunas técnicas de medida con referencia a TC que combinan varios parámetros, como la medición de diámetros abdominales, espesor del tejido graso subcutáneo y circunferencia de cintura (CC), lo que permite desarrollar modelos para discriminar entre ambos compartimentos^{57,58,126,127}, aunque otros autores encuentran que la medida de la MG abdominal por DEXA mantiene mejor correlación con la MG abdominal total que con la MG perivisceral^{62,128}.

En la actualidad, existen equipos de DEXA que suministran el índice androide/ginoide basándose en los análisis realizados en las regiones abdominal y femoroglútea por los programas informáticos suministrados con los equipos. Este parámetro resulta de utilidad en los pacientes sometidos a tratamientos reductores de peso, en los que, conjuntamente con la alta calidad de las imágenes obtenidas con los nuevos equipos de DEXA (Figura 9), permite realizar un seguimien-

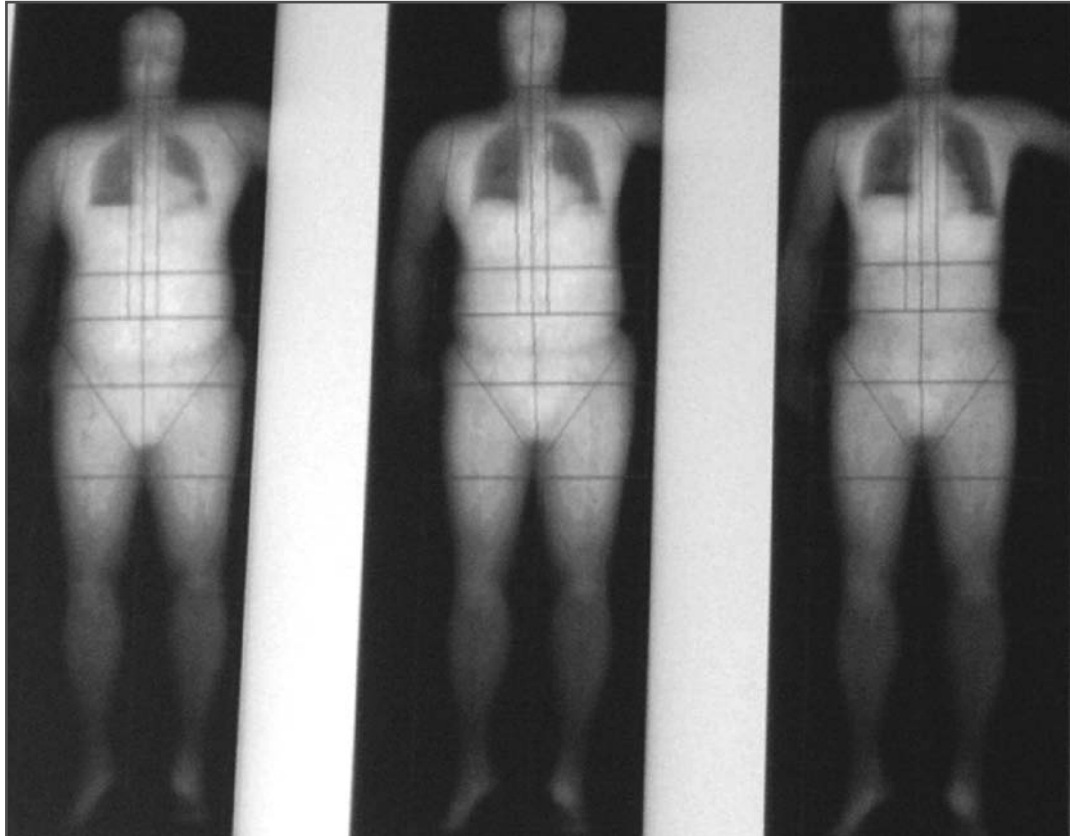


FIGURA 9. Evaluación mediante DEXA de un paciente sometido a tratamiento reductor de peso.

to de la reducción de este índice que conlleva la disminución del peso corporal del paciente. En la Figura 10 se ha realizado, a modo de ejemplo, una composición entre dos tipos de informes suministrados por DEXA, en la que se puede apreciar la composición corporal regional y los valores de los índices androide/ginoide de distribución de la grasa en el caso de un varón obeso y una mujer con IMC dentro de la normalidad.

En el futuro, esta técnica puede convertirse en el referente de la medida de la distribución de MG en los análisis de composición corporal y de su relación con alteraciones metabólicas, dado que ya existen estudios que muestran una relación inversa entre la MG abdominal medida por DEXA y la sensibilidad a la insulina en ciertas poblaciones⁹⁹, sustituyendo el uso de parámetros antropométricos menos precisos⁹⁹, aunque otros autores no comunican una mayor ventaja de la adiposidad abdominal estimada por DEXA sobre otros métodos en cuanto a su asociación con marcadores de riesgo cardiovascular¹²⁹. La DEXA puede aportar ventajas añadidas sobre otras técnicas de imagen, entre ellas TC y RMN, como menor radiación y una significativa reduc-

ción del coste por exploración, para lo cual se necesitan estudios que incluyan un mayor número de pacientes.

>> CONSIDERACIONES FINALES

La DEXA es una técnica diseñada específicamente para la valoración de la densidad mineral ósea y en la actualidad sigue siendo la técnica estándar de medida de la masa ósea y se utilizan también en el diagnóstico de osteoporosis.

La aplicación en la práctica clínica de la densitometría de doble fotón dual permite obtener información de la masa grasa y de la masa libre de grasa en los equipos con módulo de cuerpo entero. Esto permite su uso como técnica de composición corporal.

La DEXA permite un estudio de composición corporal según un modelo tricompartmental (masa grasa + masa muscular + masa ósea). Además, permite valorar el tejido grasa no localizado específicamente en la grasa. La precisión del método permite usarlo como técnica de referencia en la composición corporal. La disminución

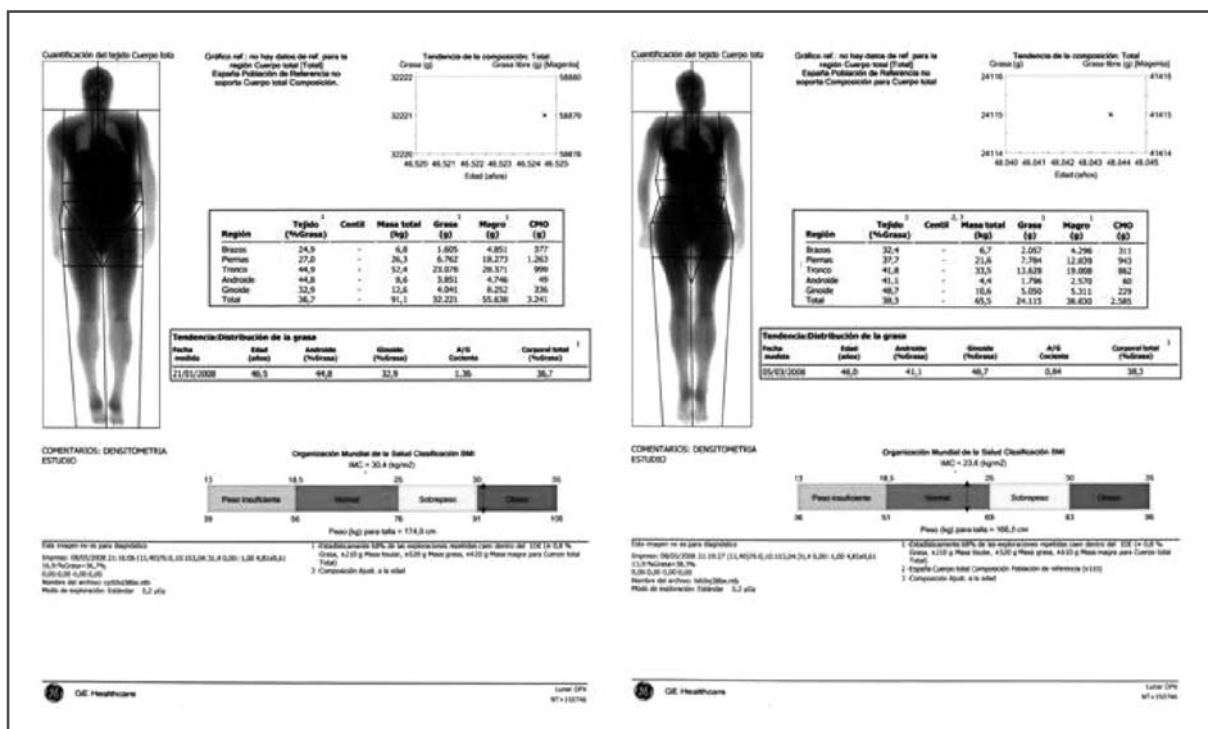


FIGURA 10. Composición corporal por DEXA tipo Lunar en el caso de un varón obeso y una mujer con normopeso, y valoración del índice androide/ginoide.

actual de los costes de equipos y la mayor disponibilidad de los mismos en muchos centros permite en la actualidad su uso no sólo como técnica de referencia, sino también como técnica de uso clínico habitual en el diagnóstico y en el seguimiento de pacientes. Ello se debe a la reproducibilidad de las exploraciones.

Las aplicaciones clínicas en composición corporal son cada vez mayores para la valoración de cambios fisiológicos o variaciones individuales (por ejemplo, en el deporte), el diagnóstico y la respuesta a tratamiento nutricional, la estima-

ción de gasto energético y la determinación de las variaciones compartimentales en respuesta a intervenciones terapéuticas.

Los nuevos equipos permiten la adaptación de la valoración segmentaria de la composición corporal a situaciones especiales como el seguimiento de pacientes con obesidad mórbida. En la actualidad, la estimación de la grasa intraabdominal no permite discriminar la grasa visceral y subcutánea, pero sí establecer una región androide y ginoide y la variación de la misma en respuesta al tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lukaski HC. Methods for the assessment of human body composition: traditional and new. *Am J Clin Nutr.* 1987; 46: 537-56.
2. Lohman TG, Chen Z. Dual energy X-Ray Absorptiometry. En: Heymsfield SB, Lohman TG, Wang ZM, Going SB (eds.). *Human Body Composition.* Champaign IL 61825-5076: Human Kinetics; 2005: 63-78.
3. 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: E941-E951.
4. Mazess RB, Peppler WW, Gibbons M. Total body composition by dual-photon (153Gd) absorptiometry. *Am J Clin Nutr.* 1984; 40: 834-9.
5. Gottfredsen A, Jensen J, Borg J, Christiansen C. Measurement of lean body mass and total body fat using dual photon absorptiometry. *Metabolism.* 1986; 35: 88-93.
6. Heymsfield SB, Wang J, Heshka S, Kehayias JJ, Pierson RN. Dual-photon absorptiometry: comparison of bone mineral and soft tissue mass measurements in vivo with established methods. *Am J Clin Nutr.* 1989; 49: 1283-9.
7. Wang J, Heymsfield SB, Aulet M, Thornton JC, Pierson RN Jr. Body fat from body density: underwater weighing vs. dual-photon absorptiometry. *Am J Physiol.* 1989; 256: E829-34.
8. Albanese CV, Diessel E, Genant HK. Clinical applications of body composition measurements using DXA. *J Clin Densitom.* 2003; 6: 75-85.
9. Dawson-Hughes B, Dallal GE, Krall EA. A controlled trial of effect of calcium supplementation on bone density in postmenopausal women. *N Engl J Med.* 1990; 323: 878-83.
10. Dawson-Hughes B, Dallal GE, Krall EA. Effect of vitamin D supplementation on wintertime and overall bone loss in healthy postmenopausal women. *Ann Intern Med.* 1991; 1152: 505-12.
11. Kellie SE. Measurement of bone density with dual energy X ray absorptiometry. *JAMA* 1992; 267: 286-94.
12. Ellis KJ. Human body composition: in vivo methods. *Physiol Rev.* 2000; 80: 649-80.
13. Blake GM, Fogelman I. Technical principles of dual energy x-ray absorptiometry. *Semin Nucl Med.* 1997; 27: 210-28.
14. Genton L, Hans D, Kyle UG, Pichard C. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition: differences between devices and comparison with reference methods. *Nutrition.* 2002; 18: 66-70.
15. Kelly TL, Berger N, Richardson TL. DXA body composition: theory and practice. *Appl Radiat Isot.* 1998; 49: 511-3.
16. Diessel E, Fuerst T, Njeh CF, et al. Evaluation of a new body composition phantom for quality control and cross-calibration of DXA devices. *J Appl Physiol.* 2000; 89: 599-605.
17. Pearson D, Cawte SA, Green DJ. A comparison of phantoms for cross-calibration of lumbar spine DXA. *Osteoporos Int.* 2002; 13: 948-54.
18. Plank LD. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2005; 8: 305-9.
19. Genant HK, Grampp S, Gluer CC, et al. Universal standardization for dual x-ray absorptiometry: patient and phantom cross-calibration results. *J Bone Miner Res.* 1994; 9: 1503-14.
20. Reid DM, Mackay I, Wilkinson S, et al. Cross-calibration of dual-energy X-ray densitometers for a large, multi-center genetic study of osteoporosis. *Osteoporos Int.* 2006; 17: 125-32.

21. Ozdemir A, Ucar M. Standardization of spine and hip BMD measurements in different DXA devices. *Eur J Radiol.* 2007; 62: 423-6.
22. Soriano JM, Ioannidou E, Wang J, et al. Pencil-beam vs. fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry comparisons across four systems: body composition and bone mineral. *J Clin Densitom.* 2004; 7: 281-9.
23. Mazess RB, Barden HS. Evaluation of differences between fan-beam and pencil-beam densitometers. *Calcif Tissue Int.* 2000; 67: 291-6.
24. Litaker MS, Barbeau P, Humphries MC, Gutin B. Comparison of Hologic QDR-1000/W and 4500W DXA Scanners in 13- to 18-Year Olds. *Obes Res.* 2003; 11: 1545-52.
25. Ellis KJ, Shypailo RJ. Bone mineral and body composition measurements: cross-calibration of pencil-beam and fan-beam dual-energy X-ray absorptiometers. *J Bone Miner Res.* 1998; 13: 1613-8.
26. Tothill P, Avenell A, Love J, Reid DM. Comparisons between Hologic, Lunar and Norland dual-energy X-ray absorptiometers and other techniques used for whole-body soft tissue measurements. *Eur J Clin Nutr.* 1994; 48: 781-94.
27. Tothill P, Hannan WJ, Wilkinson S. Comparisons between a pencil beam and two fan beam dual energy X-ray absorptiometers used for measuring total body bone and soft tissue. *Br J Radiol.* 2001; 74: 166-76.
28. Faulkner KG, Gluer CC, Estilo M, Genant HK. Cross-calibration of DXA equipment: upgrading from a Hologic QDR 1000/W to a QDR 2000. *Calcif Tissue Int.* 1993; 52: 79-84.
29. Blake GM. Replacing DXA scanners: cross-calibration with phantoms may be misleading. *Calcif Tissue Int.* 1996; 59: 1-5.
30. Yang Y, Zhu WD, Paton NI. Comparison of dual-energy X-ray absorptiometry machines for measuring fat distribution changes of HIV-associated lipodystrophy. *Antivir Ther.* 2004; 9: 771-8.
31. Sakai Y, Ito H, Meno T, Numata M, Jingu S. Comparison of body composition measurements obtained by two fan-beam DXA instruments. *J Clin Densitom.* 2006; 9: 191-7.
32. Aasen G, Fagertun H, Halse J. Body composition analysis by dual X-ray absorptiometry: in vivo and in vitro comparison of three different fan-beam instruments. *Scand J Clin Lab Invest.* 2006; 66: 659-66.
33. Modlesky CM, Lewis RD, Yetman KA, et al. Comparison of body composition and bone mineral measurements from two DXA instruments in young men. *Am J Clin Nutr.* 1996; 64: 669-76.
34. Pietrobelli A, Wang Z, Heymsfield SB. Techniques used in measuring human body composition. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 1998; 1: 439-48.
35. Carlsson E, Bosaeus I, Nordgren S. Body composition in patients with short bowel syndrome: an assessment by bioelectric impedance spectroscopy (BIS) and dual-energy absorptiometry (DXA). *Eur J Clin Nutr.* 2004; 58: 853-9.
36. Cavalcanti RB, Cheung AM, Raboud J, Walmsley S. Reproducibility of DXA estimations of body fat in HIV lipodystrophy: implications for clinical research. *J Clin Densitom.* 2005; 8: 293-7.
37. Cordero-MacIntyre ZR, Peters W, Libanati CR, et al. Reproducibility of DXA in obese women. *J Clin Densitom.* 2002; 5: 35-44.
38. Eisenmann JC, Heelan KA, Welk GJ. Assessing body composition among 3- to 8-year-old children: anthropometry, BIA, and DXA. *Obes Res.* 2004; 12: 1633-40.
39. Pietrobelli A, Gallagher D, Baumgartner R, Ross R, Heymsfield SB. Lean R value for DXA two-component soft-tissue model: influence of age and tissue or organ type. *Appl Radiat Isot.* 1998; 49: 743-4.
40. Thomsen TK, Jensen VJ, Henriksen MG. In vivo measurement of human body composition by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Eur J Surg.* 1998; 164: 133-7.
41. Haderslev KV, Svendsen OL, Staun M. Does paracentesis of ascites influence measurements of bone mineral or body composition by dual-energy x-ray absorptiometry? *Metabolism.* 1999; 48: 373-7.
42. Svendsen OL, Hassager C, Christiansen C. Age- and menopause-associated variations in body composition and fat distribution in healthy women as measured by dual-energy X-ray absorptiometry. *Metabolism.* 1995; 44: 369-73.
43. Svendsen OL, Hassager C. Body composition and fat distribution measured by dual-energy x-ray absorptiometry in premenopausal and postmenopausal insulin-dependent and non-insulin-dependent diabetes mellitus patients. *Metabolism.* 1998; 47: 212-6.
44. Van Loan MD. Estimates of fat-free mass (FFM) by densitometry, dual energy X-ray absorptiometry (DXA), and bioimpedance spectroscopy (BIS) in caucasian and Chinese-American women. *Appl Radiat Isot.* 1998; 49: 751-2.

45. Haarbo J, Gotfredsen A, Hassager C, Christiansen C. Validation of body composition by dual energy X-ray absorptiometry (DEXA). *Clin Physiol*. 1991; 11: 331-41.
46. Kohrt WM. Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition. *J Appl Physiol*. 1998; 84: 372-7.
47. Jensen MD, Kanaley JA, Roust LR, et al. Assessment of body composition with use of dual-energy x-ray absorptiometry: evaluation and comparison with other methods. *Mayo Clin Proc*. 1993; 68: 867-73.
48. Johansson AG, Forslund A, Sjodin A, Mallmin H, Hambraeus L, Ljunghall S. Determination of body composition—a comparison of dual-energy x-ray absorptiometry and hydrodensitometry. *Am J Clin Nutr*. 1993; 57: 323-6.
49. Svendsen OL, Haarbo J, Hassager C, Christiansen C. Accuracy of measurements of body composition by dual-energy x-ray absorptiometry in vivo. *Am J Clin Nutr*. 1993; 57: 605-8.
50. Salamone LM, Fuerst T, Visser M, et al. Measurement of fat mass using DEXA: a validation study in elderly adults. *J Appl Physiol*. 2000; 89: 345-52.
51. Houtkooper LB, Going SB, Sproul J, Blew RM, Lohman TG. Comparison of methods for assessing body-composition changes over 1 y in postmenopausal women. *Am J Clin Nutr*. 2000; 72: 401-6.
52. Prior BM, Cureton KJ, Modlesky CM, et al. In vivo validation of whole body composition estimates from dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol*. 1997; 83: 623-30.
53. Van der Ploeg GE, Withers RT, LaForgia J. Percent body fat via DEXA: comparison with a four component model. *J Appl Physiol*. 2003; 94: 499-506.
54. St-Onge MP, Wang Z, Horlick M, Wang J, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry lean soft tissue hydration: independent contributions of intra- and extracellular water. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2004; 287: E842-7.
55. Shen W, St-Onge MP, Pietrobelli A, et al. Four-compartment cellular level body composition model: comparison of two approaches. *Obes Res*. 2005; 13: 58-65.
56. Fuller NJ, Wells JC, Elia M. Evaluation of a model for total body protein mass based on dual-energy X-ray absorptiometry: comparison with a reference four-component model. *Br J Nutr*. 2001; 86: 45-52.
57. Glickman SG, Marn CS, Supiano MA, Dengel DR. Validity and reliability of dual-energy X-ray absorptiometry for the assessment of abdominal adiposity. *J Appl Physiol*. 2004; 97: 509-14.
58. Bertin E, Marcus C, Ruiz JC, Eschard JP, Leutenegger M. Measurement of visceral adipose tissue by DXA combined with anthropometry in obese humans. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2000; 24: 263-70.
59. Kim J, Wang Z, Heymsfield SB, Baumgartner RN, Gallagher D. Total-body skeletal muscle mass: estimation by a new dual-energy X-ray absorptiometry method. *Am J Clin Nutr*. 2002; 76: 378-83.
60. Shih R, Wang Z, Heo M, Wang W, Heymsfield SB. Lower limbskeletal muscle mass: development of dual-energy X-ray absorptiometry prediction model. *J Appl Physiol*. 2000; 89: 1380-6.
61. Wang W, Wang Z, Faith MS, Kotler D, Shih R, Heymsfield SB. Regional skeletal muscle measurement: evaluation of new dual-energy X-ray absorptiometry model. *J Appl Physiol*. 1999; 87: 1163-71.
62. Snijder MB, Visser M, Dekker JM, et al. The prediction of visceral fat by dual-energy X-ray absorptiometry in the elderly: a comparison with computed tomography and anthropometry. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2002; 26: 984-93.
63. Kim J, Heshka S, Gallagher D, et al. Intermuscular adipose tissue-free skeletal muscle mass: estimation by dual X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol*. 2004; 97: 655-60.
64. Gray RE, Tanner CJ, Pories WJ, MacDonald KG, Houmard JA. Effect of weight loss on muscle lipid content in morbidly obese subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 2003; 284: E726-32.
65. Goodpaster BH, Krishnaswami S, Resnick H, et al. Association between regional adipose tissue distribution and both type 2 diabetes and impaired glucose tolerance in elderly men and women. *Diabetes Care*. 2003; 26: 372-9.
66. Kelley DE, Goodpaster BH. Skeletal muscle triglyceride. An aspect of regional adiposity and insulin resistance. *Diabetes Care*. 2001; 24: 933-41.
67. Greco AV, Mingrone G, Giancaterini A, et al. Insulin resistance in morbid obesity: reversal with intramyocellular fat depletion. *Diabetes*. 2002; 51: 144-51.
68. Swanpalmer J, Kullenberg R, Hansson T. The feasibility of triple-energy absorptiometry for the determination of bone mineral, Ca and P in vivo. *Physiol Meas*. 1998; 19: 1-15.

69. Swanpalmer J, Kullenberg R, Hansson T. Measurement of bone mineral using multiple-energy x-ray absorptiometry. *Phys Med Biol.* 1998; 43: 379-87.
70. Laskey MA. Dual-energy X-ray absorptiometry and body composition. *Nutrition.* 1996; 12: 45-51.
71. Laskey MA, Lyttle KD, Flaxman ME, Barber RW. The influence of tissue depth and composition on the performance of the Lunar dual-energy X-ray absorptiometer whole-body scanning mode. *Eur J Clin Nutr.* 1992; 46: 39-45.
72. Marcus MA, Wang J, Thornton JC, Ma R, Burastero S, Pierson RN Jr. Anthropometrics do not influence dual X-ray absorptiometry (DXA) measurement of fat in normal to obese adults: a comparison with in vivo neutron activation analysis (IVNA). *Obes Res.* 1997; 5: 122-30.
73. Pi-Sunyer FX. Obesity: criteria and classification. *Proc Nutr Soc.* 2000; 59: 505-9.
74. Goodpaster BH. Measuring body fat distribution and content in humans. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2002; 5: 481-7.
75. Tataranni PA, Ravussin E. Use of dual-energy X-ray absorptiometry in obese individuals. *Am J Clin Nutr.* 1995; 62: 730-4.
76. Kiebzak GM, Leamy LJ, Pierson LM, Nord RH, Zhang ZY. Measurement precision of body composition variables using the lunar DPX-L densitometer. *J Clin Densitom.* 2000; 3: 35-41.
77. Rosenfalck AM, Almdal T, Gotfredsen A, Hojgaard LL, Hilsted J. Validity of dual X-ray absorptiometry scanning for determination of body composition in IDDM patients. *Scand J Clin Lab Invest.* 1995; 55: 691-9.
78. Van L, Mayclin PL. Body composition assessment: dual-energy X-ray absorptiometry (DEXA) compared to reference methods. *Eur J Clin Nutr.* 1992; 46: 125-30.
79. Wellens R, Chumlea WC, Guo S, Roche AF, Reo NV, Siervogel RM. Body composition in white adults by dual-energy x-ray absorptiometry, densitometry, and total body water. *Am J Clin Nutr.* 1994; 59: 547-55.
80. Mahon AK, Flynn MG, Iglay HB, et al. Measurement of body composition changes with weight loss in postmenopausal women: comparison of methods. *J Nutr Health Aging.* 2007; 11: 203-13.
81. Tylavsky FA, Lohman TG, Dockrell M, et al. Comparison of the effectiveness of 2 dual-energy X-ray absorptiometers with that of total body water and computed tomography in assessing changes in body composition during weight change. *Am J Clin Nutr.* 2003; 77: 356-63.
82. Tothill P, James HW. Dual-energy X-ray absorptiometry measurements of fat and lean masses in subjects with eating disorders. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2004; 28: 912-9.
83. Kyle UG, Genton L, Slosman DO, Pichard C. Fat-free and fat mass percentiles in 5225 healthy subjects aged 15 to 98 years. *Nutrition.* 2001; 17: 534-41.
84. Nord RH. DXA body composition properties: inherent in the physics or specific to scanner type? *Appl Radiat Isot.* 1998; 49: 517-8.
85. Evans EM, Prior BM, Modlesky CM. A mathematical method to estimate body composition in tall individuals using DXA. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37: 1211-5.
86. Black E, Petersen L, Kreutzer M, et al. Fat mass measured by DXA varies with scan velocity. *Obes Res.* 2002; 10: 69-77.
87. Sartorio A, Narici M, Conti A, Giambona S, Ortolani S, Faglia G. Body composition analysis by dual energy x-ray absorptiometry and anthropometry in adults with childhood-onset growth hormone (GH) deficiency before and after six months of recombinant GH therapy. *J Endocrinol Invest.* 1997; 20: 417-23.
88. Hansen TB, Gram J, Bjerre P, Hagen C, Bollerslev J. Body composition in active acromegaly during treatment with octreotide: a double-blind, placebo-controlled cross-over study. *Clin Endocrinol (Oxf).* 1994; 41: 323-9.
89. Wajchenberg BL, Bosco A, Marone MM, et al. Estimation of body fat and lean tissue distribution by dual energy X-ray absorptiometry and abdominal body fat evaluation by computed tomography in Cushing's disease. *J Clin Endocrinol Metab.* 1995; 80: 2791-4.
90. Svendsen OL, Hassager C, Christiansen C. Relationships and independence of body composition, sex hormones, fat distribution and other cardiovascular risk factors in overweight postmenopausal women. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 1993; 17: 459-63.
91. Ley CJ, Lees B, Stevenson JC. Sex- and menopause-associated changes in body-fat distribution. *Am J Clin Nutr.* 1992; 55: 950-4.
92. Royall D, Greenberg GR, Allard JP, Baker JP, Jeejeebhoy KN. Total enteral nutrition support improves body composition of patients with active Crohn's disease. *JPEN J Parenter Enteral Nutr.* 1995; 19: 95-9.

93. Mazure RM, Vázquez H, González D, et al. Early changes of body composition in asymptomatic celiac disease patients. *Am J Gastroenterol*. 1996; 91: 726-30.
94. Liedman B, Bosaeus I, Mellstrom D, Lundell L. Osteoporosis after total gastrectomy. Results of a prospective, clinical study. *Scand J Gastroenterol*. 1997; 32: 1090-5.
95. Riggio O, Andreoli A, Diana F, et al. Whole body and regional body composition analysis by dual-energy X-ray absorptiometry in cirrhotic patients. *Eur J Clin Nutr*. 1997; 51: 810-4.
96. Georgiou E, Virvidakis K, Douskas G, et al. Body composition changes in chronic hemodialysis patients before and after hemodialysis as assessed by dual-energy x-ray absorptiometry. *Metabolism*. 1997; 46: 1059-62.
97. Stenver DI, Gotfredsen A, Hilsted J, Nielsen B. Body composition in hemodialysis patients measured by dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Nephrol*. 1995; 15: 105-10.
98. Paradisi G, Smith L, Burtner C, et al. Dual energy X-ray absorptiometry assessment of fat mass distribution and its association with the insulin resistance syndrome. *Diabetes Care*. 1999; 22: 1310-7.
99. Lee CC, Glickman SG, Dengel DR, Brown MD, Supiano MA. Abdominal adiposity assessed by dual energy X-ray absorptiometry provides a sex-independent predictor of insulin sensitivity in older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2005; 60: 872-7.
100. Hansen KC, Zhang Z, Gómez T, Adams AK, Schoeller DA. Exercise increases the proportion of fat utilization during short-term consumption of a high-fat diet. *Am J Clin Nutr*. 2007; 85: 109-16.
101. Ioannidou E, Padilla J, Wang J, et al. Pencil-beam vs. fan-beam dual-energy X-ray absorptiometry comparisons across four systems: appendicular lean soft tissue. *Acta Diabetol*. 2003; 40: S83-S85.
102. Grinspoon S, Corcoran C, Miller K, et al. Body composition and endocrine function in women with acquired immunodeficiency syndrome wasting. *J Clin Endocrinol Metab*. 1997; 82: 1332-7.
103. Huang JS, Wilkie SJ, Sullivan MP, Grinspoon S. Reduced bone density in androgen-deficient women with acquired immune deficiency syndrome wasting. *J Clin Endocrinol Metab*. 2001; 86: 3533-9.
104. Dolan SE, Carpenter S, Grinspoon S. Effects of weight, body composition, and testosterone on bone mineral density in HIV-infected women. *J Acquir Immune Defic Syndr*. 2007; 45: 161-7.
105. Roubenoff R, Kehayias JJ, Wason-Hughes B, Heymsfield SB. Use of dual-energy x-ray absorptiometry in body-composition studies: not yet a "gold standard". *Am J Clin Nutr*. 1993; 58: 589-91.
106. Pietrobelli A, Wang Z, Formica C, Heymsfield SB. Dual-energy X-ray absorptiometry: fat estimation errors due to variation in soft tissue hydration. *Am J Physiol*. 1998; 274: E808-16.
107. Formica C, Atkinson MG, Nyulasi I, McKay J, Heale W, Seeman E. Body composition following hemodialysis: studies using dual-energy X-ray absorptiometry and bioelectrical impedance analysis. *Osteoporos Int*. 1993; 3: 192-7.
108. Going SB, Massett MP, Hall MC, et al. Detection of small changes in body composition by dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr*. 1993; 57: 845-50.
109. Lohman TG, Harris M, Teixeira PJ, Weiss L. Assessing body composition and changes in body composition. Another look at dual-energy X-ray absorptiometry. *Ann N Y Acad Sci*. 2000; 904: 45-54.
110. Tothill P, Nord RH. Limitations of dual-energy x-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr*. 1995; 61: 398-400.
111. Milliken LA, Going SB, Lohman TG. Effects of variations in regional composition on soft tissue measurements by dual-energy X-ray absorptiometry. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1996; 20: 677-82.
112. Mazess RB. Inappropriate testing of DEXA in vitro. *Int J Obes Relat Metab Disord*. 1997; 21: 162.
113. Vague J. The degree of masculine differentiation of obesities: a factor determining predisposition to diabetes, atherosclerosis, gout and uric calculus disease. *Am J Clin Nutr*. 1956; 34: 416-22.
114. Goodpaster BH, Krishnaswami S, Harris TB, et al. Obesity, regional body fat distribution, and the metabolic syndrome in older men and women. *Arch Intern Med*. 2005; 165: 777-83.
115. Pietrobelli A, Boner AL, Tato L. Adipose tissue and metabolic effects: new insight into measurements. *Int J Obes*. 2005; 29: S97-S100.
116. Despres JP. Obesity and lipid metabolism: relevance of body fat distribution. *Curr Opin Lipidol*. 1991; 2: 5-15.
117. Pi-Sunyer FX. Medical hazards of obesity. *Ann Intern Med*. 1993; 119: 655-60.
118. Pi-Sunyer FX. The epidemiology of central fat distribution in relation to disease. *Nutr Rev*. 2004; 62: S120-6.
119. Ohlson LO, Larsson B, Svardsudd K, et al. The influence of body fat distribution on the incidence of diabetes mellitus, 13,5 years of follow-up of the participants of the study of men born in 1913. *Diabetes*. 1985; 34: 1055-8.

120. Despres JP, Nadeau A, Tremblay A, et al. Role of deep abdominal fat in the association between regional adipose tissue distribution and glucose tolerance in obese women. *Diabetes*. 1989; 38: 304-9.
121. Park YW, Heymsfield SB, Gallagher D. Are dual-energy X-ray absorptiometry regional estimates associated with visceral adipose tissue mass? *Int J Obes Relat Metab Disord*. 2002; 26: 978-83.
122. Zhang TM, Xu H, Yuan ZM, Chen JX, Gong J, Wu QL. Assessment of total body fat percentage from regional spine and femur DXA measurements among Chinese women and men. *J Clin Densitom*. 2007; 10: 55-64.
123. Svendsen OL, Hassager C, Bergmann I, Christiansen C. Measurement of abdominal and intra-abdominal fat in postmenopausal women by dual-energy X-ray absorptiometry and anthropometry: Comparison with computerized tomography. *Int J Obes*. 1993; 17: 45-51.
124. Soto González A, Bellido D, Buno MM, et al. Predictors of the metabolic syndrome and correlation with computed axial tomography. *Nutrition*. 2007; 23: 36-45.
125. Pietrobelli A, Heymsfield SB. Establishing body composition in obesity. *J Endocrinol Invest*. 2002; 25: 884-92.
126. Jensen MD, Kanaley JA, Sheedy PF. Measurement of abdominal and visceral fat with computed tomography and dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr*. 1995; 61: 274-8.
127. Treuth MS, Hunter GR, Kekes-Szabo T. Estimating intraabdominal adipose tissue in women by dual-energy X-ray absorptiometry. *Am J Clin Nutr*. 1995; 62: 527-32.
128. Clasey JL, Bouchard C, Teates CD, et al. The use of anthropometric and dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) measures to estimate total abdominal and abdominal visceral fat in men and women. *Obes Res*. 1999; 7: 256-64.
129. Lee K, Lee S, Kim YJ, Kim YJ. Waist circumference, dual-energy X-ray absorptiometrically measured abdominal adiposity, and computed tomographically derived intra-abdominal fat area on detecting metabolic risk factors in obese women. *Nutrition*. 2008.