

PROTOCOLO DE VALORACIÓN DE LA COMPOSICIÓN CORPORAL PARA EL RECONOCIMIENTO MÉDICO-DEPORTIVO. DOCUMENTO DE CONSENSO DEL GRUPO ESPAÑOL DE CINEANTROPOMETRÍA (GREC) DE LA FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE MEDICINA DEL DEPORTE (FEMEDE). VERSIÓN 2010

BODY COMPOSITION ASSESSMENT IN SPORTS MEDICINE. STATEMENT OF SPANISH GROUP OF KINANTHROPOMETRY OF SPANISH FEDERATION OF SPORTS MEDICINE. VERSION 2010

José Ramón Alvero Cruz
 (Coordinador)

M^a Dolores Cabañas Armesilla

Ángel Herrero de Lucas

Luis

Martínez Riaza

Carlos Moreno Pascual

Jordi Porta Manzanido

Manuel Sillero Quintana

José

Enrique Sirvent Belando

En nombre del Grupo Español de Cineantropometría (GREC) de la Federación Española de Medicina del Deporte (FEMEDE)

INTRODUCCIÓN

Los estudios antropométricos permiten la estimación de la composición corporal, el estudio de la morfología, las dimensiones y la proporcionalidad en relación al rendimiento deportivo, la nutrición y el crecimiento. Todos estos aspectos se conocen y están desarrollados por el área de la Cineantropometría.

La estimación de la composición corporal es importante para la determinación del estado nutricional tanto en condiciones de salud como de enfermedad. Una gran variedad de métodos para la valoración de la composición corporal han sido desarrollados y validados, entre los cuales queremos destacar las técnicas antropométricas y la bioimpedancia eléctrica como métodos de campo de fácil aplicación, buena reproducibilidad y escaso costo.

La utilización de ecuaciones de predicción de MG y/o MLG así como de otras fracciones como la masa muscular esquelética, basados en variables antropométricas son aplicables con los errores descritos en la literatura, siempre y cuando se reproduzcan las mismas medidas originales del trabajo de investigación y si es posible aplicarlo en el mismo grupo de edad, sexo y etnia de los cuales fueron obtenidos y con un bajo error de medición, lo cual se consigue con un estricto proceder en la toma de la medida.

El GREC (Grupo Español de Cineantropometría) como Sociedad Científica perteneciente a FEMEDE (Federación Española de Medicina del Deporte) y en la reunión del Congreso de FEMEDE'07 en Sevilla, se acordó confeccio-

nar un documento de consenso que supone el primer acuerdo alcanzado en relación a la valoración antropométrica y la estimación de la composición corporal mediante métodos antropométricos y de bioimpedancia eléctrica en diferentes grupos de población (niños, adultos-1, adultos-2, adultos-3, deportistas, mayores y obesos) así como la estimación de los tres componentes del somatotipo, teniendo en cuenta las ecuaciones obtenidas con métodos multicompartimentales con un adecuado proceso de validación¹⁻³.

El objetivo principal es tener un documento con referencias claras y adecuadas en cuanto a las ecuaciones utilizables para cada población.

El GREC está confeccionando una aplicación informática para la utilización común de expertos en Cineantropometría y así poder ir creando una base de datos con referencias actualizadas.

Antropometría

La antropometría se refiere a las diferentes medidas del tamaño y las proporciones del cuerpo humano. Las ecuaciones antropométricas de predicción permiten estimar la densidad corporal, y a partir de este valor podemos calcular el porcentaje de grasa corporal (%GC) y por derivación la masa libre de grasa (MLG).

El método de los pliegues de grasa

El método de los pliegues se usa para estimar la composición corporal (CC) en múltiples poblaciones y con diferentes características, como son los niños, los adultos y los deportistas.

Este método se basa en la medida del espesor de tejido subcutáneo adiposo en lugares bien definidos y protocolizados. Muchas ecuaciones basadas en las medidas de pliegues, usan dos o más pliegues de grasa para predecir la densidad corporal y posteriormente calcular el porcentaje de GC.

Una detallada descripción de la estandarización de los pliegues de grasa y del resto de técnicas para la obtención de las medidas antropométricas, las podemos consultar en diferentes textos^{4,7}, las referentes al Grupo Español de Cineantropometría, en castellano⁴ y el manual ISAK (*International Society for Advancement in Kinanthropometry*)⁶ entre otros. Los pliegues de grasa no son un método recomendado para evaluar la CC en individuos obesos por la dificultad en su técnica y la gran variabilidad de las medidas⁷, con lo cual la toma de perímetros es preferible a pliegues de grasa cuando se trata de valorar a este tipo de sujetos.

La combinación de una serie de medidas antropométricas como el peso, la estatura, los pliegues cutáneos de grasa, los diámetros óseos y los perímetros musculares nos sirven como variables dependientes predictoras de la masa grasa y MLG⁸.

Bioimpedancia eléctrica (BIA)

Es un método rápido, barato y no invasivo para la evaluación de la composición corporal. La impedancia eléctrica mide la oposición al flujo de una corriente por el cuerpo entero. La resistencia o impedancia al flujo de corriente, será más grande en individuos con grandes cantidades de tejido adiposo, dado que este es un conductor pobre de la electricidad debido a su bajo volumen de agua. Los tejidos acuosos con gran disolución de electrolitos (tejido muscular) serán grandes conductores eléctricos y no así la grasa y el hueso. Las medidas de impedancia se hallan estrechamente relacionadas con la cantidad de agua corporal total (ACT).

Normalmente, en una BIA de cuerpo entero, se utilizan dos electrodos en pareja situados en la muñeca y en el tobillo, haciendo discurrir una

corriente eléctrica de 800 μ A, a una frecuencia de medida de 50 KHz. para calcular un valor de impedancia corporal⁹. La bioimpedancia asume que el cuerpo es un cilindro conductor con una longitud proporcional a la altura del sujeto (Ht), variable que suele incluirse en todas las ecuaciones de estimación de la MG y MLG, así como la resistencia (R) y la reactancia (Xc). Los cambios en el volumen extracelular y la concentración de electrolitos tendrán su expresión en la variación de los valores de R y Xc.

En general, las ecuaciones de predicción que se presentan en este documento de consenso están basados en validaciones con métodos multicomponente como métodos de referencia y aceptables para obtener medidas criterio de composición corporal y realizadas normalmente en grandes muestras ($n > 100$)¹⁻³.

El volumen de agua de la MLG es relativamente grande (se estima alrededor del 73%), y por ello se puede estimar la MLG a partir del volumen de ACT y teniendo en cuenta las constantes de hidratación de los tejidos. Individuos con una MLG grande y gran cantidad de ACT tienen menos resistencia al paso de la corriente sobre los fluidos comparada con individuos con una MLG menor¹⁰.

MATERIAL Y MÉTODOS

Material antropométrico recomendado:

- Báscula con precisión de 100 gr.
- Tallímetro de pared o estadiómetro (precisión 1mm).
- Medidores de pliegues: Harpenden y Holtain (precisión 0,2 mm), Lange y Slimguide (precisión 0,5 mm).
- Paquímetros de diámetros óseos pequeños: Holtain, Rosscraft, calibres adaptados (precisión 1mm).
- Cinta métrica: Holtain, Rosscraft, Sunny, Gaucho (precisión 1mm). Metálica, estrecha e inextensible.

- Antropómetros: Holtain, GPM (precisión 1 mm). Nota: Se recomienda un gran compás GPM (presión 1 mm) para los diámetros del tronco.

Bioimpedanciómetros recomendados

Los aparatos de bioimpedancia deben aportar valores de Resistencia (R), Reactancia (Xc), Impedancia (Z), Ángulo de fase, Agua corporal total (ACT), Agua Extracelular (AEC), Agua Intracelular (AIC). Los valores de R, Xc y Z son variables que obteniéndolas se pueden introducir con posterioridad en cualquier hoja de cálculo y obtener nuevas estimaciones de grasa, masa libre de grasa u otros parámetros (agua corporal total, masa celular corporal) con ecuaciones más actuales o más adecuadas a la población de estudio. Los más recomendados son:

- Monofrecuencia: A 50 KHz, que es la frecuencia más utilizada.
- Multifrecuencia: De 1 a 150 KHz. o mayores, que permiten estudios más completos.

Grupos de población

La propuesta esta dirigida sobre 8 grupos bien diferenciados como son Niños, Adolescentes, Adultos 1, Adultos 2, Adultos 3, Mayores, Deportistas y Obesos.

Las edades correspondientes a cada uno de ellos se indican la Tabla 1.

Grupo de Población	Edad (años)
Niños	8-12/14
Adolescentes	13-15/18
Adultos 1	19-30
Adultos 2	31-55
Adultos 3	56-65
Mayores	> 65
Deportistas	
Obesos	

TABLA 1.
Grupos diferenciados de población en relación a su edad

Metodología para la obtención de medidas antropométricas (Metodología ISAK-GREC)

Se hallan descritas en el Manual de Cineantropometría del Grupo Español de Cineantropometría (GREC)⁴ y las publicaciones de la ISAK^{6,7}.

Bioimpedancia eléctrica

Para asegurar la exactitud de predicción de las ecuaciones de bioimpedancia, los sujetos deben seguir estrictamente una serie de normas que a continuación se detallan⁹:

- No comer ni beber en las 4 horas previas al test de bioimpedancia.
- No realizar ejercicio extenuante 12 horas antes.
- Orinar 30 min. antes del test.
- No consumir alcohol 48 horas antes.
- No tomar diuréticos 7 días antes.
- No realizar preferentemente la bioimpedancia en fase lútea (retención de líquidos).
- Retirar todo elemento metálico del cuerpo (relojes, anillos, pulseras, pendientes, piercings, etc.) y no realizar el test sobre una camilla metálica.

Composición corporal por métodos antropométricos (Tabla 2)

Composición corporal por Bioimpedancia Eléctrica (BIA)

Se utilizará Bioimpedancia Multifrecuencia de cuerpo entero (metodología convencional) con la obtención de parámetros de: Impedancia, Resistencia, Reactancia y Ángulo de fase. Estos valores se obtienen principalmente a una frecuencia de 50 Hz., que es la frecuencia de la que se suelen derivar más frecuentemente las

Grupo	Componentes			
	MG	MO	MM	Resto
Niños	Slaughter ¹¹	Rocha ¹²	Poortmans ¹³	100-(MG+MO+MM)
Adolescentes	Slaughter	Rocha	Poortmans	
Adultos 1	Durnin-Womersley ¹⁴	Rocha	Lee ¹⁵	
Adultos 2	Durnin-Womersley	Rocha	Lee	
Adultos 3	Durnin-Womersley	Martin ¹⁶	Lee	
Mayores	Durnin-Womersley	Martin	Lee	
Deportistas	Faulkner ¹⁷	Rocha	Lee	
	Carter ¹⁸			
	Jackson y Pollock ^{19,20}			
Obesos	Withers ^{21,22}			
	Weltmann ^{23,24}	Rocha o Martin	Lee	

Masa Grasa: MG; Masa Ósea: MO; Masa Muscular Esquelética: MM; y Resto

TABLA 2.
Recomendación de ecuaciones para cada uno de los componentes de la composición corporal (Masa Grasa= MG; Masa Ósea= MO; Masa Muscular Esquelética= MM; y Resto) en los diferentes grupos considerados

ecuaciones de predicción. La BIA es capaz de estimar el agua corporal total (ACT) y por ello la masa libre de grasa (MLG). Por derivación, obtendremos la masa grasa (MG). Se proponen los siguientes autores (Tabla 3).

TÉCNICAS ANTROPOMÉTRICAS

Grupo: niños, niñas y adolescentes

Masa grasa

Se proponen las ecuaciones generalizadas de Slaughter y sus colaboradores¹¹. El estudio fue realizado en Universidad de Illinois y luego replicado en la Universidad de Arizona³³.

- Muestra original: 310 niños-as (174 niños y 136 niñas) en diferentes niveles de maduración.
- Grupo de edad: De 8 a 18 años
- Instrumental: Las medidas de pliegues se realizaron con un caliper Harpenden.
- Error estándar de estimación (SEE): 3.8%

Nota: Existen ecuaciones dependientes del grado de maduración (prepuberal, puberal y postpuberal) y confeccionadas con el pliegue

del tríceps y el pierna medial, y para sujetos blancos y negros.

$$\text{Niños: \% Masa Grasa} = 0.735^* \\ (\text{PI Tri} + \text{PI PiernaM}) + 1.0$$

$$\text{Niñas: \% Masa Grasa} = 0.610^* \\ (\text{PI Tri} + \text{PI PiernaM}) + 5.1$$

PI Tri: Pliegue del tríceps en mm. PI PiernaM: Pliegue Pierna medial en mm

Masa ósea

Aunque la muestra con la que fue diseñada no incluyó a niños, se propone la ecuación de Rocha basada en la fórmula de Von Döbeln e inspirada en los trabajos de Matiegka, por ser la más utilizada en la actualidad.

- Muestra original: 2545 jóvenes de ambos sexos (1517 Mujeres y 1028 Hombres) con medidas de un sólo lado de los diámetros de fémur y muñeca, a diferencia de Von Döbeln que lo realizó sobre los dos diámetros
- Grupo de edad: De 17 a 25 años.

$$\text{Masa Ósea (kg)} = 3.02^* \\ [\text{Talla}^2 * \text{DM} * \text{DF} * 400]^{0.712}$$

Talla en metros; DM= Diámetro de la muñeca en metros; DF= Diámetro del fémur en metros.

TABLA 3.
Diferentes autores de las ecuaciones para cada uno de las fracciones de la composición corporal, mediante BIA

Grupo	Compartimentos		
	MG	MM	MLG
Niños	Derivación MLG		Hootkouper (25)
Adolescentes	Derivación MLG		Hootkouper
Adultos 1	Derivación MLG	Janssen (26)	Kyle (27)
Adultos 2	Derivación MLG	Janssen	Sun (28)
Adultos 3	Derivación MLG	Janssen	Segal (29)
Mayores	Baumgartner (30)	Janssen	Baumgartner (30)
Deportistas	Derivación MLG		Deurenberg (31)
Obesos	Derivación MLG		Sólo ♀ Fornetti (32)
			Segal Obesos

Masa muscular esquelética (MME)

Se utilizará la formula de Poortmans, aplicable a niños, niñas y adolescentes de 7-16 años y adultos jóvenes de 20-24 años¹³.

- Muestra original: 39 niños adolescentes y 20 adultos de 20-24 años.
- Medidas del estudio obtenidas con la metodología de Lohman³³.

Se obtuvo una ecuación antropométrica por regresión múltiple y las medidas fueron derivadas mediante DEXA como método de referencia (R2:0.96, p< 0.001).

Hay que destacar la corrección de los perímetros con la sustracción de la décima parte del pliegue correspondiente a la zona anatómica.

$$MME (kg) = \text{Altura} * [(0.0064 * PBC^2) + (0.0032 * PMC^2) + (0.0015 * PGC^2)] + (2.56 * \text{Sexo}) + (0.136 * \text{Edad})$$

PBC= Perímetro brazo corregido= Perímetro brazo relajado - (Pl Triceps/10); PMC= Perímetro muslo corregido= Perímetro muslo medio - (Pl Muslo Anterior/10); PPC=Perímetro gemelar corregido = Perímetro pierna - (Pl PiernaM/10). Perímetros en cm. Altura en m. Pliegues en mm. Sexo: mujer=0, hombre=1. Edad en años.

Grupo: adultos

Masa Grasa

Se utilizarán las ecuaciones de Durnin & Womersley, con las que se obtienen valores de densidad corporal (DC), (Durnin & Womersley, 1974)

y, posteriormente, se calcula porcentaje de grasa con ecuación de Siri:

$$\% \text{ Masa Grasa} = (495/DC) - 450$$

- Muestra original: 209 hombres y 272 mujeres de edades entre 16-72 años.
- Material original el calibre Holtain.

Se distinguen para su aplicación diversas ecuaciones por subgrupos de edad y género.

Masa ósea

Se proponen las fórmulas de la masa ósea de Rocha (ver punto "Masa ósea" del "Grupo: niños, niñas y adolescentes") y la masa ósea de Martín¹⁶, ecuación desarrollada en el estudio de cadáveres de Bruselas por el grupo de Alan Martín y sus colaboradores.

Ecuación de Rocha

$$\text{Masa Ósea (kg)} = 3.02 * [\text{Talla}^2 * DM * DF * 400]^{0.712}$$

Talla en metros; DM = Diámetro de la muñeca en metros. DF = Diámetro del fémur en metros.

Ecuación de Martín

$$MO (kg) = 0.00006 * \text{Talla} * (DH + DM + DF + DT)^2$$

Talla en cm. DH= Diámetro de húmero en cm; DM= Diámetro de muñeca en cm; DF= Diámetro de fémur en cm; DT= Diámetro de tobillo en cm

Género	Edad	Fórmula
Hombres	20-29 años	$Dc = 1.1631 - 0.0632 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$
	30-39 años	$Dc = 1.1422 - 0.0544 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$
	40-49 años	$Dc = 1.1620 - 0.0700 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$
	50-72 años	$Dc = 1.1715 - 0.0799 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$
Mujeres	20-29 años	$Dc = 1.1599 - 0.0717 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$
	30-39 años	$Dc = 1.1423 - 0.0632 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$
	40-49 años	$Dc = 1.1333 - 0.0612 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$
	50-68 años	$Dc = 1.1339 - 0.0645 * \log_{10} (PI\ Tri + PI\ Bic + PI\ Sub + PI\ Ileoc)$

PI Tri = Pliegue del tríceps en mm. PI Bic = Pliegue del bíceps en mm. PI Sub = Pliegue subescapular en mm. PI Ileoc = Pliegue ileocrestal (cresta iliaca) en mm

TABLA 4.

Masa muscular esquelética (MME)

Proponemos la fórmula de Lee¹⁵:

- Muestra original: 324 sujetos (244 no obesos y 80 obesos).
- Medidas obtenidas con la metodología de Lohman³³.

Nota: Destacar que la referencia para el perímetro de muslo es el punto entre el pliegue inguinal natural y el borde superior de la rótula y que el pliegue anterior del muslo es en la parte anterior y en el punto medio de esas referencias. (Diferente a la normativa ISAK).

$$MME (kg) = Talla * (0.00744 * PBC_2 + 0.00088 * PMC_2 + 0.00441 * PGC_2) + (2.4 * Sexo) - 0.048 * Edad + Etnia + 7.8$$

PBC = Perímetro brazo corregido = Perímetro brazo relajado - (3,1416 * (Pliegue tríceps/10)); PMC = Perímetro muslo corregido = Perímetro del Muslo - (3,1416 * (Pliegue muslo ant/10)); PGC = Perímetro gemelar corregido = Perímetro gemelar - (3,1416 * (PI Pierna Medial/10)); Sexo: Mujeres=0; hombres =1; Edad en años; Etnia: "-2": asiáticos; "1.1": afro-americanos; "0": caucásicos e hispánicos; Talla en metros; Perímetros en cm; Pliegues en mm.

Grupo: deportistas hombres

Masa Grasa

Para estimar la masa grasa, hemos optado por seleccionar las ecuaciones más importantes en función de su utilización en diferentes ámbitos.

De esta forma, el antropométrista podrá decidir cual usar en cada uno de los estudios que realice.

Peso Graso de Faulkner

La ecuación de Faulkner es muy utilizada en el ámbito de la Cineantropometría en España y en los países Latinoamericanos. Se deriva de la ecuación de Yuhasz, Faulkner la modifica tras estudiar un grupo de nadadores¹⁷.

$$\% \text{ Peso Graso} = 0.153 * (PI\ Tri + PI\ Sub + PI\ Sesp + PI\ Abd) + 5.783$$

PI Tri : Pliegue del tríceps en mm; PI Sub: Pliegue subescapular en mm; PI Sesp: Pliegue supraespinal en mm; PI Abd: Pliegue abdominal en mm

Peso Graso Carter

Deriva de la ecuación de Yuhasz, aunque Carter la modifica y aplica para atletas olímpicos y la publica en los estudios del MOGAP (Montreal Olympic Games Anthropometric Project)¹⁸.

$$\% \text{ Peso Graso} = 0.1051 * (PI\ Tri + PI\ Sub + PI\ Sesp + PI\ Abd + PI\ MA + PI\ PM) + 2.58$$

PI Tri : Pliegue del tríceps en mm; PI Sub: Pliegue subescapular en mm; PI Sesp: Pliegue supraespinal en mm; PI Abd: Pliegue abdominal en mm; PI MA: Pliegue muslo anterior en mm; PI PM: Pliegue pierna medial en mm

Peso Graso Withers

La recogida de medidas antropométricas fue realizada con metodología ISAK.

- Muestra original: 207 deportistas de 18 equipos australianos de diferentes deportes individuales y colectivos. Edad de 24 ± 5 años.
- Método de referencia utilizado: Densitometría.
- $R^2=0.787$, SEE: 2.3% grasa corporal, SEE: $0.00537 \text{ g*cm}^{-3}$.

Estudio con validación cruzada externa e interna. Los resultados permiten obtener la densidad corporal y posteriormente se calcula porcentaje graso a partir de la ecuación de Siri (ver punto *Masa Grasa*).

$$Dc = 1.078865 - 0.000419*(\Sigma \text{PI Abd} + \text{PI MA} + \text{PI PM} + \text{PI Pect}) + 0.000948*(P C) - 0.000266*(E) - 0.000564*(P S-M)$$

Dc: Densidad corporal; *PI Abd*: Pliegue abdominal en mm; *PI MA*: Pliegue muslo anterior en mm; *PI PM*: Pliegue pierna medial en mm; *PI Pect*: Pliegue pectoral en mm; *P C*: Perímetro de cuello en cm; *P S-M*: Perímetro supramaleolar en cm; *E*: Edad en años decimales.

Peso Graso Jackson y Pollock

- Muestra original: 403 sujetos, varones de 18-61 años.
- Método de referencia fue la pesada hidrostática.
- Estudio con validación cruzada en una muestra de 95 sujetos.

Los resultados arrojan ecuaciones de estimación de densidad corporal (*Dc*) con sumatorios de 7 pliegues ($r=0.917$; $SE=0.0073$) y de 3 pliegues como variables dependientes ($r=0.915$; $SE=0.0073$).

Cálculo del % de GC mediante ecuación de Siri (ver punto *"Masa Grasa"*).

- Ecuación de 7 pliegues.

$$Dc = 1.112 - 0.00043499*(\text{PI Tri} + \text{PI Sub} + \text{PI Ileoc} + \text{PI Abd} + \text{PI MA} + \text{PI Pect} + \text{PI AxiM}) + 0.00000055 * (\text{PI Tri} + \text{PI Sub} + \text{PI Ileoc} + \text{PI Abd} + \text{PI MA} + \text{PI Pect} + \text{PI AxiM})^2 - 0.00028826*(E)$$

- Ecuación de 3 pliegues.

$$Dc = 1.10938 - 0.0008267*(\text{PI Abd} + \text{PI MA} + \text{PI Pect}) + 0.0000016 * (\text{PI Abd} + \text{PI MA} + \text{PI Pect})^2 - 0.0002574*(E)$$

PI Tri: Pliegue del tríceps en mm; *PI Sub*: Pliegue subescapular en mm; *PI Ileoc*: Pliegue ileocrestal en mm; *PI Abd*: Pliegue abdominal en mm; *PI MA*: Pliegue del muslo anterior en mm; *PI Pect*: Pliegue pectoral en mm; *PI AxiM*: Pliegue axilar medio en mm; *E*: Edad en años

Masa ósea

Se proponen las fórmulas de la masa ósea de Rocha (ver punto *"Masa ósea"* en *"Grupo: Niños, niñas y adolescentes"*) y la masa ósea de Martin (ver punto *"Masa ósea"* en *"Grupo: adultos"*).

Ecuación de Rocha

$$\text{Masa Ósea (kg)} = 3.02 * [\text{Talla}^2 * \text{DM} * \text{DF} * 400] 0.712$$

Talla en metros; *DM*= Diámetro de la muñeca en metros; *DF*= Diámetro del fémur en metros.

Ecuación de Martín

$$\text{MO (kg)} = 0.00006 * \text{Talla} * (\text{DH} + \text{DM} + \text{DF} + \text{DT})^2$$

Talla en cm; *DH*= Diámetro de húmero en cm; *DM*= Diámetro de muñeca en cm; *DF*= Diámetro de fémur en cm; *DT*= Diámetro de tobillo en cm.

Masa muscular esquelética (MME)

Proponemos la fórmula de Lee¹⁵ (ver punto *"Masa muscular esquelética (MME)"* en *"Grupo: adultos"* para más información).

$$\text{MME (kg)} = \text{Talla} * (0.00744 * \text{PBC}^2 + 0.00088 * \text{PMC}^2 + 0.00441 * \text{PGC}^2) + (2.4 * \text{Sexo}) - 0.048 * (\text{E}) + \text{Etnia} + 7.8$$

PBC = Perímetro brazo corregido = Perímetro brazo relajado - (3,1416*(Pliegue triceps/10)); PMC = Perímetro muslo corregido = Perímetro del Muslo - (3,1416*(Pliegue muslo ant/10)); PGC = Perímetro gemelar corregido = Perímetro gemelar - (3,1416*(Pl Pierna Medial/10)); Sexo: Mujeres=0; hombres =1; E: Edad en años; Etnia: "-2": asiáticos; "1.1": afro-americanos; "0": caucásicos e hispánicos; Talla en metros; Perímetros en cm; Pliegues en mm

Grupo: deportistas mujeres

Masa Grasa

Al igual que en el caso de los deportistas masculinos, hemos optado por seleccionar las ecuaciones de estimación de la masa grasa más importantes en función de su utilización en diferentes ámbitos.

Peso Graso de Faulkner (ver punto "Peso graso de Faulkner" en "Grupo: deportistas hombres")

$$\% \text{ Peso Graso} = 0.213 * (\text{Pl Tri} + \text{Pl Sub} + \text{Pl Sesp} + \text{Pl Abd}) + 7.9$$

Pl Tri: Pliegue del tríceps en mm; Pl Sub: Pliegue subescapular en mm; Pl Sesp: Pliegue supraespinal en mm; Pl Abd: Pliegue abdominal en mm

Peso Graso Carter (ver punto "Peso graso Carter" en "Grupo: deportistas hombres")

$$\% \text{ Peso Graso} = 0.1548 * (\text{Pl Tri} + \text{Pl Sub} + \text{Pl Sesp} + \text{Pl Abd} + \text{Pl MA} + \text{Pl PM}) + 3.58$$

Pl Tri: Pliegue del tríceps en mm; Pl Sub: Pliegue subescapular en mm; Pl Sesp: Pliegue supraespinal en mm; Pl Abd: Pliegue abdominal en mm; Pl MA: Pliegue muslo anterior en mm; Pl PM: Pliegue pierna medial en mm

Peso Graso Withers (ver punto "Peso graso Withers" en "Grupo: deportistas: hombres")

+ R²=0.863, SEE: 2.7% grasa corporal, 0.00597 g*cm⁻³

$$\text{Dc} = 1.14075 - 0.04959 * (\text{Pl Tri} + \text{Pl Sub} + \text{Pl Sesp} + \text{Pl PM}) + 0.00044 * (\text{E}) - 0.000612 * (\text{P Cint}) + 0.000284 * (\text{H}) - 0.000505 * (\text{P Glut}) + 0.000331 * (\text{P Brs})$$

Dc: Densidad corporal; Pl Tri: Pliegue del tríceps en mm; Pl Sub: Pliegue subescapular en mm; Pl Sesp: Pliegue supraespinal en mm; Pl PM: Pliegue pierna medial en mm; P Brs: (Breast) Entendemos que es el perímetro Mesoesternal en cm; P Glut: Perímetro Glúteo en cm; P Cint: Perímetro de Cintura en cm; H: Altura en cm; E: Edad en años decimales.

Peso Graso Jackson y Pollock.

$$\text{Dc} = 1.097 - 0.00046971 * (\Sigma 7 \text{ pliegues}) + 0.00000056 * (\Sigma 7 \text{ pliegues})^2 - 0.000128228 * \text{Edad}$$

Σ 7 pliegues = Pl Tri + Pl Sub + Pl Ileoc + Pl Abd + Pl MA + Pl Pect + Pl AxiM; Pl Tri: Pliegue del tríceps en mm; Pl Sub: Pliegue subescapular en mm; Pl Ileoc: Pliegue ileocrestal en mm; Pl Abd: Pliegue abdominal en mm; Pl MA: Pliegue muslo anterior en mm; Pl Pect: Pliegue pectoral en mm; Pl AxiM: Pliegue axilar medio en mm; Edad en años

Masa ósea

Al igual que en el caso de los hombres, se proponen las fórmulas de la masa ósea de Rocha (ver punto "Masa ósea" de "Grupo: niños, niñas y adolescentes") y la masa ósea de Martín (ver punto "Masa ósea" de "Grupo: adultos").

Ecuación de Rocha

$$\text{Masa Ósea (kg)} = 3.02 * [\text{Talla}^2 * \text{DM} * \text{DF} * 400]^{0.712}$$

Talla en metros; DM = Diámetro de la muñeca en metros; DF = Diámetro del fémur en metros.

Ecuación de Martín

$$\text{MO (kg)} = 0.00006 * \text{Talla} * (\text{DH} + \text{DM} + \text{DF} + \text{DT})^2$$

Talla en cm; DH = Diámetro de húmero en cm; DM = Diámetro de muñeca en cm; DF = Diámetro de fémur en cm; DT = Diámetro de tobillo en cm

Grupo: adultos₁, adultos₂ y adultos₃*Masa muscular esquelética.*

Se obtendrá por la ecuación de Janssen²⁶:

- Muestra original: 388 adultos de 18-86 años (Multiétnica) en dos laboratorios diferentes.
- R²: 0.86, SEE: 2.7 Kg. (9%).
- Validación cruzada entre laboratorios de la muestra caucásica.
- Método de referencia: Resonancia magnética.

Nota: Esta ecuación es aplicable en adultos sanos de distintas edades y adiposidad, tanto en Hispánicos como Afro-Americanos, pero infraestima en Asiáticos.

$$\text{MLG (kg): } 0.401 * (\text{H}^2/\text{R}_{50}) + (\text{Sexo} * 3.825) + (\text{Edad} * -0.071) + 5.102$$

MLG en kg; H²/R₅₀ = Índice de impedancia = Altura² (cm²)/Resistencia a 50 Hz. en Ohmios; Sexo: hombre = 1; mujer = 0, Edad en años

Masa libre de grasa

Consideramos tres ecuaciones como las más apropiadas para estimar la masa libre de grasa por bioimpedancia:

Ecuación de Kyle²⁷.

Validación de una ecuación simple adecuada para personas de 22 a 94 años con índices de masa corporal entre 17 y 34 kg/m².

- Muestra original: 343 sujetos sanos (202 hombres y 141 mujeres).
- Método de referencia: DEXA QDR-4500.
- r : 0.986, SEE: 1.72 Kg.
- Validación cruzada doble.

Nota: También se conoce como la ecuación BIA Geneva. La inclusión de la Reactancia (Xc) en la ecuación se torna importante en poblaciones con grandes variaciones de peso y edad.

$$\text{MLG} = -4.104 + (0.518 * \text{H}^2/\text{R}_{50}) + (0.231 * \text{Peso}) + (0.130 * \text{Xc}) + (4.229 * \text{Sexo})$$

MLG en kg; (Sexo: hombre = 1; mujer = 0); H²/R₅₀ = Índice de impedancia = Altura² (cm²)/Resistencia a 50 Hz en Ω; Peso en kg; Xc: Reactancia en Ω.

Ecuación de Sun²⁸

Elaborada a partir de un estudio para el desarrollo de ecuaciones de BIA para estimar la MLG y el Agua Corporal Total (ACT).

- Muestra original: 1474 sujetos blancos y 355 negros recogidos de 5 centros de investigación. Edades entre 12-94 años.
- Validado con un modelo de 4 componentes: ACT mediante dilución de deuterio, densidad corporal mediante pesada hidrostática y DEXA Lunar y QDR-2000 para contenido mineral óseo total.

Nota: Uso recomendado para estudios epidemiológicos.

Ecuación de Sun para hombres

+ R²=0.90, RMSE: 3.9 kg. (RMSE: root mean square error).

$$\text{MLG} = -10.678 + 0.652 * (\text{H}^2/\text{R}_{50}) + 0.26 * (\text{Peso}) + 0.02 * (\text{R}_{50})$$

MLG en kg; H²/R₅₀ = Índice de impedancia = Altura² (cm²)/Resistencia a 50 Hz en Ohmios; R₅₀: Resistencia a 50 Hz en ohmios; Peso en kg

Ecuación de Sun para mujeres

+ R²=0.83, RMSE: 2.9 kg. (RMSE: root mean square error)

$$\text{MLG} = -9.53 + 0.69 * (\text{H}^2/\text{R}_{50}) + 0.17 * (\text{Peso}) + 0.02 * (\text{R}_{50})$$

MLG en kg; H²/R₅₀ = Índice de impedancia = Altura² (cm²)/Resistencia a 50 Hz en Ohmios; R₅₀: Resistencia a 50 Hz en ohmios; Peso en kg

Ecuación de Segal²⁹

Elaborada a partir de un estudio desarrollado en 4 laboratorios (San Francisco, New York, Natick y San Diego) determinando densitométricamente la masa libre de grasa y comparadas con mediciones de BIA.

- Muestra original: 1567 adultos (1069 hombres y 489 mujeres) con edades entre 17 y 62 y con un amplio rango de grasa corporal (3-56%).
- Validación cruzada entre los 4 laboratorios eliminando diferencias y ajustando la grasa corporal de los sujetos

Ecuación de Segal para hombres normales

- R: 0.947, SEE: 2.47 Kg

$$\text{MLG} = 0.0006636*(H^2) - 0.02117*(R) + 0.62854*(P) - 0.12380*(E) + 9.33285$$

H: Talla en cm; P: Peso en kg; R en ohmios; E: Edad en años

Ecuación de Segal para mujeres normales

- R: 0.907, SEE: 1.97 Kg.

$$\text{MLG} = 0.00064602*(H^2) - 0.01397*(R) + 0.42087*(P) + 10.43485$$

H: Talla en cm; P: Peso en kg; R en ohmios; Edad en años

Grupo: mayores*Masa grasa*

Se considerará la ecuación de Baumgartner³⁰.

- Muestra original 94 hombres y mujeres de 65-94 años.
- Instrumental: Medición de pliegues con caliper Lange.
- Validado con un modelo de 4 componentes:

dilución con tritio (3H₂O), hidrodensitometría y DEXA.

- (r=0.725, SEE: 3.76%).

$$\text{MG} = -23.58 + 20.03*(R_{50}*P/H^2) + 0.29*(P \text{ Mus}) - 4.99*\text{Sexo} + 0.52*P \text{ Br}$$

MG en %; R₅₀: Resistencia a 50 Hz en Ohmios; H₂: Altura al cuadrado en cm; P Mus: Perímetro de muslo a 1 cm del pliegue glúteo en cm; P Br: Perímetro de brazo relajado en cm; P: Peso en kg; Sexo: 1 = hombres, 0 = mujeres.

Masa libre de grasa

Se proponen tres ecuaciones:

- Ecuación de Baumgartner³⁰ (ver detalles en punto "Masa grasa" del "Grupo: mayores").
- (r=0.91, SEE: 2.5kg)

$$\text{MLG} = -1.7320 + 0.28*(H^2/R_{50}) + 0.27*(\text{Peso}) + 4.5*(\text{Sexo}) + 0.31*(P \text{ Mus } 1)$$

MLG en Kg; H²: Altura al cuadrado en cm; R₅₀: Resistencia a 50 Hz en Ohmios; P Mus1: Perímetro de muslo a 1 cm del pliegue glúteo en cm; Peso en kg; Sexo: hombres = 1, mujeres = 0

Ecuación de Deurenberg³¹

- Muestra original: Sujetos sanos de 60-83 años (35 varones y 37 mujeres).
- Método de referencia: Pesada hidrostática.
- Material utilizado: Calibre Holtain.
- (r=0.96, SEE: 2.5kg).

$$\text{MLG} = (0.360*104 *H^2/R_{50}) + (4.5*\text{Sexo}) + (0.359*\text{Peso}) - (20*P \text{ Mus}) + 7$$

MLG en Kg; H²: Altura al cuadrado en cm; R₅₀: Resistencia a 50 Hz en Ohmios; P Mus: Perímetro de muslo a 1 cm del pliegue glúteo en cm; Peso en kg; Sexo: hombres = 1, mujeres = 0.

*Ecuación de Fornetti para deportistas femeninas*³²

- Muestra original: 132 mujeres de 18-27 años de diversos deportes: baloncesto, hockey hierba, gimnasia, fútbol, golf, softball, natación, tenis, voleibol.
- Modelo de referencia de 2C y el método de referencia utilizado fue el DXA Hologic QDR-1000. Bioimpedanciómetro utilizado el BIA RLJ 101A.
- R2: 0.96; SEE: 1.1 kg.

$$\text{MLG} = 0.282*(H) + 0.415*(\text{Peso}) - 0.037*(R) + 0.096*(Xc) - 9.734$$

H: Talla en cm; Peso en kg; R en Ω ; Xc en Ω

GRUPO: OBESOS*Masa grasa*

Estudio desarrollado Segal y sus colaboradores²⁹ en 4 laboratorios (San Francisco, New York, Natick y San Diego) determinando densitométricamente la masa libre de grasa y comparadas con mediciones de BIA.

- Muestra original: 1567 adultos (1069 hombres y 489 mujeres) con edades entre 17 y 62 y con un amplio rango de grasa corporal (3-56%).
- Validación cruzada entre los 4 laboratorios eliminando diferencias y ajustando la grasa corporal de los sujetos

Ecuación para hombres obesos

- R: 0.937, SEE: 3.03 Kg

$$\text{MLG} = 0.0008858*(H^2) - 0.02999*(R) + 0.42688*(P) - 0.07002*(E) + 14.52435$$

H: Talla en cm; P: Peso en kg; R en ohmios; E: Edad en años

Ecuación para mujeres obesas

- R: 0.952, SEE: 1.97 Kg

$$\text{MLG} = 0.00091186*(H^2) - 0.01466*(R) + 0.2999*(P) - 0.07012*(E) + 9.37938$$

H: Talla en cm; P: Peso en kg; R en ohmios; E: Edad en años

OTROS PROCEDIMIENTOS

Consideramos oportuno añadir las siguientes consideraciones:

- Debido a lo visual del método y a su amplia difusión, y puesto que las variables antropométricas registradas en este documento de consenso lo permiten, consideramos interesante la realización de manera adicional del somatotipo de Heath-Carter en su última versión³⁴.
- Tras su aparición en 1980, el método de Drinkwater y Ross³⁵ de evaluación de la composición corporal no se ha utilizado mucho, debido principalmente a lo complejo de su cálculo. Sin embargo, gracias a la aparición de hojas de cálculo, pensamos que este método podría ser una aproximación muy válida para el estudio de la composición corporal debido a que, al contrario que otros modelos de 4 componentes –los cuales estiman tres componentes y el último lo calcular restando al 100% la suma de los otros tres–, en el método Drinkwater-Ross, cada uno de los 4 componentes que considera se calculan de manera separada. De esta forma, la desviación respecto al valor “100%” de la suma de las cuatro componentes calculadas por ésta metodología nos estaría dando un dato sobre el porcentaje de error cometido y, por lo tanto, la bondad de los datos obtenidos.
- Hay que apuntar que las medidas a registrar en el caso de sujetos con riesgo cardiovascular serán: Peso, Talla, Perímetro Abdominal Máximo, Perímetro Glúteo, y Perímetro de Cuello.

Las variables calculadas eran:

- El Índice de masa corporal [IMC = Peso (en kg) / Estatura² (en m)].
- Índice Cintura-Cadera [Perímetro Abdominal / Perímetro Glúteo].

PERFIL ANTROPOMETRICO PARA ESTUDIOS DE RIESGO CARDIOVASCULAR

Las medidas antropométricas básicas a registrar para realizar todos los cálculos incluidos en este documento serían:

- Sexo.
- Grupo étnico.
- Edad.
- Peso.

- Talla.
- Pliegues de grasa: Tríceps, Subescapular, Bíceps, Supracrestal, Suprailiaco, Abdominal, Muslo, Gemelar, Axilar y Pectoral.
- Perímetros: Brazo Relajado, Brazo Contraído, Antebrazo, Muslo 1 cm, Muslo medio, Gemelar, Supramaleolar, Abdominal mínimo, Abdominal máximo, Glúteo, Cuello.
- Diámetros: Húmero, Muñeca, Fémur, Maleolar.
- Bioimpedancia: Impedancia, Resistencia, Reactancia (todas ellas a 50 Hz). Opcional: Ángulo de fase.

Adicionalmente, deberíamos considerar el registrar los diámetros Biiliocrestal, Antero-posterior del tronco, Transverso del tronco y Biacromial, y el perímetro Mesoesternal si se quisiera realizar el método Drinkwater-Ross.

B I B L I O G R A F Í A

1. Alvero Cruz JR, Diego Acosta AM, Fernández Pastor VJ, García Romero J. Métodos de evaluación de la composición corporal: Tendencias actuales I. *Archivos Medicina del Deporte*. 2004;104:535-40.
2. Alvero Cruz JR, Diego Acosta AM, Fernández Pastor VJ, García Romero J. Métodos de evaluación de la composición corporal: Tendencias actuales II. *Archivos Medicina del Deporte*. 2005;105:45-50.
3. Alvero Cruz JR, Diego Acosta AM, Fernández Pastor VJ, García Romero J. Métodos de evaluación de la composición corporal: Tendencias actuales III. *Archivos Medicina del Deporte*. 2005;106:121-8.
4. Aragonés M, Casajús J, Rodríguez F, Cabañas MD. Protocolos de medidas antropométricas. En: ESPARZA F, editor. *Manual de Cineantropometría*. Pamplona: GREC-FEMEDE; 1993.
5. Harrison GG, Buskirk ER, Carter JEL, Johnston FE, Lohman TG, Pollock ML. Skinfold thicknesses and measurement technique. En: Lohman TG, Roche AF, Martorell R, editors. *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1988;55-70.
6. ISAK. International Standards For Anthropometric Assessment: International Society for the Advancement of Kinanthropometry; 2001.
7. Norton K, Whittingham N, Carter J, Kerr D, Gore C, Marfell-Jones M. Measurement techniques in anthropometry. En: K N, T O, editors. *Anthropometrica*. Sydney: UNSW Press; 1996.
8. Callaway C, Chumlea W, Bouchard C, Himes J, Lohman T, Martin A. Circumferences. En: Lohman T, Roche A, Martorell R, editors. *Anthropometric standardization reference manual*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1988;39-54.
9. Lukaski H, Bolonchuck W, Hall C, Siders W. Validation of tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. *J Appl Physiol*. 1986;60:1327-32.

10. **Baumgartner R.** Electrical impedance and total body electrical conductivity. En: Roche A, Heymsfield S, Lohman T, editors. *Human body composition*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1996;79-107.
11. **Slaughter M, Lohman T, Boileau R, Horswill C, Stillman R, Van Loan M, et al.** Skinfold equation for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol.* 1988;60:709-23.
12. **Rocha M.** Peso osseo do brasileiro de ambos os sexos de 17 a 25 anos. Rio de Janeiro.
13. **Poortmans J, Boisseau N, Moraine J, Moreno-Reyes R, Goldman S.** Estimation of total-body skeletal muscle mass in children and adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:316-22.
14. **Durnin J, Womersley J.** Body fat assessed from total body density and its estimation from skinfold thickness: measurements on 481 men and women aged from 16 to 72 years. *Br J Nutr.* 1974;32:77-97.
15. **Lee R, Wang Z, Heo M, Ross R, Janssen I, Heymsfield S.** Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:796-803.
16. **Martin A.** Anthropometric assessment of bone mineral. En: HINES J, editor. *Anthropometric assessment of nutritional status*. New York: Wiley-Liss; 1991;185-96.
17. **Faulkner J.** Physiology of swimming and diving. En: FALLS H, editor. *Exercise Physiology*. Baltimore: Academic Press; 1968.
18. **Carter J.** Body composition of Montreal Olympic athletes. En: CARTER J, editor. *Physical structure of Olympic athletes Part I The Montreal Olympic Games Anthropological Project*. Basel, Switzerland: Karger; 1982;107-16.
19. **Jackson A, Pollock M.** Generalized equations for predicting body density of men. *Br J Nutr.* 1978;40:497-504.
20. **Jackson A, Pollock M, Ward A.** Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc.* 1980;12:175-81.
21. **Withers RT, Craig NP, Bourdon PC, Norton KI.** Relative body fat and anthropometric prediction of body density of male athletes. *Eur J Appl Physiol.* 1987;56:191-200.
22. **Withers RT, Whittingham NO, Norton KI, La Forgia J, Ellis MW, Crockett A.** Relative body fat and anthropometric prediction of body density of female athletes. *Eur J Appl Physiol.* 1987;56:169-80.
23. **Weltman A, Levine S, Seip R, Tran Z.** Practical assessment of body composition in adult obese males. *Hum Biol.* 1987;59(3):523-55.
24. **Weltman A, Levine S, Seip R, Tran Z.** Accurate assessment of body composition in obese females. *Am J Clinical Nutrition.* 1988;48:1179-83.
25. **Houtkooper L, Going S, Lohman T, Roche A, Van Loan M.** Bioelectrical impedance estimation of fat free body mass in children and youth. A cross validation study. *J Appl Physiol.* 1992;72:366-73.
26. **Janssen I, Heymsfield S, Baumgartner R, Ross R.** Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis. *J Appl Physiol.* 2000;89:465-71.
27. **Kyle U, Genton L, Karsegard L, Slosman D, Pichard D.** Single prediction equation for bioelectrical impedance analysis in adults aged 20-94 years. *Nutrition.* 2001;17:248-53.
28. **Sun S, Chumlea W, Heymsfield S, Lukaski H, Schoeller D, Friedl K.** Development of bioelectrical impedance analysis prediction equations for body composition with the use of a multicomponent model for use in epidemiologic surveys. *Am J Clin Nutr.* 2003;77:331-40.
29. **Segal K, Van Loan M, Fitzgerald P, Hodgdon G, Van Itallie B.** Lean body mass estimation by bioelectrical impedance analysis: A four site cross validation study. *Am J Clin Nutr.* 1988;47:7-14.
30. **Baumgartner R, Heymsfield S, Lichtman S, Wang J, Pierson R.** Body composition in elderly people: effect of criterion estimates on predictive equations. *Am J Clin Nutr.* 1991;53:1345-53.
31. **Deurenberg P, Van Der Kooij K, Evers P, Hulshof T.** Assessment of body composition by bioelectrical impedance in a population aged > 60 y. *Am J Clin Nutr.* 1990;51:3-6.
32. **Fornetti W, Pivarnik J, Fietchner J.** Reliability and validity of body composition measures in female athletes. *J Appl Physiol.* 1999;87:1114-22.
33. **Lohman T, Roche A, Martorell R.** Anthropometric standardization reference manual. Champaign, IL: Human Kinetics; 1988.
34. **Carter JEL.** The Heath-Carter Anthropometric Somatotype. Instruction Manual. 2002. fuente: <http://www.somatotype.org/Heath-CarterManual.pdf>.
35. **Drinkwater D, Ross W.** Anthropometric fractionation of body mass. En: Ostyn W, Beunen G, Simons J, editors. *Kinanthropometry II*. Baltimore: University Park Press; 1980;177-88.