

## **Fraccionament de la massa corporal: un nou mètode per utilitzar en nutrició clínica i medicina esportiva**

## **Fraccionamiento de la masa corporal: un nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva**

William D. Ross\* i Deborah A. Kerr\*\*

\* School of Kinesiology, Simon Fraser university, Burnaby, B.C Canada V5A 1S6.

\*\* Deborah Kerr, Sport Nutritionist, Body Wise 20 Brown Street, Claremont, Western Australia 6010.

### **RESUM**

Els autors advoquen per l'abandonament dels índexs, els mètodes densitomètrics convencionals i altres mètodes basats en suposicions de constància biològica de les masses tissulars en favor de l'escalament normatiu global del Sistema d'Escala 0 o d'un fraccionament antropomètric de la massa corporal en cinc: pell, teixit adipós, múscul, os i teixit residual. La justificació d'un nou mètode de fraccionament que parteix d'un individu unisex de referència per a unes variables indicatives es presenta en els termes següents: 1) capacitat de la suma de les fraccions estimades per determinar la massa corporal total en 11 subgrups diferents d'individus de tots dos sexes ( $n = 1,669$ ), i 2) la seva capacitat de predir valors mitjans de masses fraccionàries obtingudes per dissecció i determinar el pes corporal total en 25 cadàvers humans de tots dos sexes. També s'adjunten apèndixs per a la definició precisa de les masses fraccionàries estimades i els algorismes emprats en el mètode.

#### **Paraules clau**

Antropometria, composició corporal, fraccionament, normes, sistema d'Escala 0

### **RESUMEN**

Los autores abogan por el abandono de los índices, los métodos densitométricos convencionales y otros métodos basados en suposiciones de constancia biológica de las masas tisulares a favor del escalado normativo global del Sistema de Escala 0 o de un fraccionamiento antropométrico de la masa corporal en cinco: piel, tejido adiposo, músculo, hueso y tejido residual. La justificación de un nuevo método de fraccionamiento que parte de un individuo unisex de referencia para unas variables indicativas se presenta en los siguientes términos: 1) capacidad de la suma de las fracciones estimadas para determinar la masa corporal total en 11 subgrupos distintos de individuos de ambos sexos ( $n = 1,669$ ) y 2) su capacidad para predecir valores medios de masas fraccionarias obtenidas por disección y determinar el peso corporal total en 25 cadáveres humanos de ambos sexos. Se adjuntan también apéndices para la definición precisa de las masas fraccionarias estimadas y los algoritmos utilizados en el método.

#### **Palabras clave**

Antropometría, composición corporal, fraccionamiento, normas, sistema de Escala 0

### **Introducció**

El 1974, cent anys després de la mort d'Adolph Quetelet, considerat el primer cinantropometrista, va aparèixer el primer ordinador personal. L'Altair

### **Introducción**

En 1974, cien años después de la muerte de Adolph Quetelet, considerado como el primer cinantropometrista, apareció el primer ordenador

8800 era un kit que un mateix havia de muntar. Tenia 256 bytes, no Kilobytes, de memòria i no tenia ni teclat ni monitor. S'havia de programar amb interruptors i palanques i els resultats es podien llegir per mitjà dels llums apagats o encesos d'una taula binària.

En aquella època s'utilitzaven, per la seva senzillesa de càlcul, mètodes de determinació de la composició corporal mitjançant índexs i fórmules senzilles de predicció de la quantitat de greix pel gruix del plec cutani. Els índexs, com l'Índex de Massa Corporal (IMC), no són ni tan simples ni tan informatius com sembla. De fet, hem demostrat que quan s'aplica a àmplies mostres d'homes i dones d'edats compreses entre els 20 i els 70 anys, l'IMC solament té una eficiència del 15% en la predicció de la suma de cinc gruixos de plec cutani, i una eficiència lleugerament millor en la predicció de la suma de gruixos de plecs cutanis corregits (Ross et al., 1988). En altres treballs hem posat a prova les suposicions densitomètriques del model bicompartimental d'estimació dels compartiments greixós i no-greixós (Ross et al., 1984; Martin et al., 1986; Ross et al., 1987).

El model bicompartimental de composició corporal, anomenat "la regla d'or" (gold standard) per Wilmore (1983) i que es basa en la suposició d'una densitat constant per a cadascun dels compartiments, és d'una simplicitat elemental. Com es mostra en la Figura 1, si al 100% de greix li és assignada una densitat de 0,90 g/ml i a tota la resta no greixosa una densitat d'1,10 g/ml, coneixent la densitat corporal total obtinguda per pesada sota aigua i corregida tenint en compte l'aire atrapat en els pulmons i les altres viscères, es pot predir el percentatge de greig de la manera indicada.

La suposició que el greix (lipid extraïble amb èter) té una densitat constant de 0,90 g/ml es refereix solament als triglicèrids i no té en compte els fosfolípids ni el colesterol del sistema nerviós que presenten una densitat superior. Fins i tot acceptant la suposició d'una densitat constant d'un compartiment greixós definit anormalment, segueix sent fals que, en humans, el compartiment tingui una densitat constant d'1,10 g/ml o un valor similar. Martin et al. (1986) demostren la inconstància de la massa lliure de teixit adipós disseccionable, demostrant en cadàvers que el teixit ossi, muscular i la massa residual no hi són presents en proporcions fixes i que les densitats de cada un d'aquests teixits no és constant, especialment la de l'os.

Aquestes observacions coincideixen amb les variacions detectades per tècniques mèdiques de visualització com la tècnica d'absorció doble de fotons (Mazzes et al., 1984). D'altra banda, com indiquen Martin et al. (1984), a més de la manca de validesa de la suposició de densitats constants per als dos compartiments, cal fer com a mínim cinc altres suposicions evidentment falses per a conver-

personal. El Altair 8800 era un kit que devia montar uno mismo. Tenia 256 bytes, no Kilobytes, de memoria y no tenia ni teclado ni monitor. Habia que programarlo con interruptores y palancas y leer los resultados por medio de las luces apagadas o encendidas de una tabla binaria.

En aquella època, se utilizaban, por su sencillez de cálculo, métodos de determinación de la composición corporal a base de índices o fórmulas sencillas de predicción de la cantidad de grasa por el espesor del pliegue cutáneo. Los índices, como el Índice de Masa Corporal (IMC), no son ni tan simples ni tan informativos como parece. De hecho, hemos demostrado que cuando se aplica a amplias muestras de hombres y mujeres de edades comprendidas entre los 20 y 70 años, el IMC tiene solamente un eficiencia del 15% en la predicción de la suma de cinco espesores de pliegue cutáneo, y ligeramente mejor en la predicción de la suma de espesores de pliegue cutáneo corregidos (Ross et al. 1988). En otros trabajos hemos puesto a prueba las suposiciones densitométricas del modelo bicompartimental de estimación de los compartimentos graso y no graso (Ross et al. 1984, Martin et al. 1984, Martin et al. 1986, Ross et al. 1987).

El modelo bicompartimental de composición corporal, llamado "la regla de oro" (gold standard) por Wilmore (1983) y que se basa en la suposición de una densidad constante para cada uno de los compartimentos, es de una simplicidad elemental. Como se muestra en la Figura 1, si al 100% de grasa se le asigna una densidad de 0,90 g/ml y a lo no graso (todo lo restante) una densidad de 1,10 g/ml, conociendo la densidad corporal total obtenida por pesada bajo agua y corregida teniendo en cuenta el aire atrapado en los pulmones y demás viscères, se puede predecir el tanto por ciento de grasa de la manera indicada.

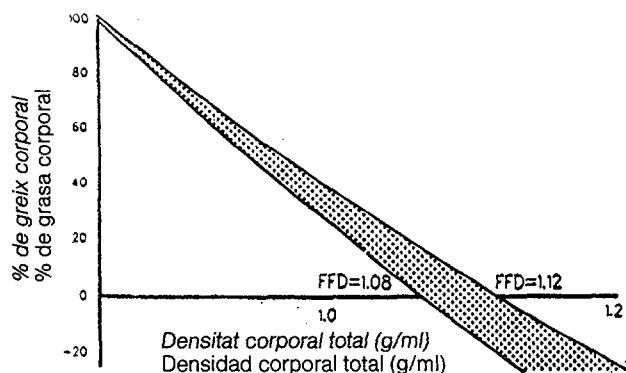


Figura 1

Figura 1

tir les distàncies lineals entre les plaques de compressió del compàs de gruixos en lípids extraïbles amb èter o "greix": 1) una compressibilitat constant de la pell i el teixit adipós, 2) un valor despreciable per a les dues capes de pell, 3) una estructura fixa de deposició del teixit adipós, 4) una fracció constant de greix en el teixit adipós, i 5) una proporció fixa de greix intern i extern.

En ciència no s'ha de confondre mai la qualitat del treball o la seva validesa amb el cost de l'equip emprat. Per manca d'espai, aquí no és possible una revisió dels mètodes més recents de determinació de "greix" o "massa corporal magra" per mètodes bioquímics i ultrasons, infrarojos o aparells basats en la impedància bioelèctrica. No obstant, cal remarcar que tot ells requereixen suposicions no comprovades de constància biològica d'una mena o altra. El criteri de validesa utilitzat normalment és el mètode bicompartimental de composició corporal... una argumentació sobre ella mateixa, en el millor dels casos.

Amb el fàcil accés als microordinadors, no hi ha motiu, excepte la incapacitat de mesurar amb precisió i exactitud, per basar-se en mètodes antiquats de composició corporal o en aparells d'"alta tecnologia" amb pretensions de validesa basades en suposicions de constància biològica.

## Opció de l'Escala 0

Un dels nous programes analítics que no assumeix aquestes suposicions és el Sistema Avançat d'Escala 0 de Determinacions Físiques (Advanced 0-Scale of Physique Assessment) de Ward et al. (1989). Essencialment, es tracta d'un programa d'ordinador normal que proporciona: 1) índexs estàndard d'adipositat (suma de sis plecs cutanis ajustada a l'estatura) i pes proporcional (ajustament geomètric del pes corporal a l'estatura), 2) una llista de valors per a vuit plecs cutanis, deu gruixos i dues amplades d'os, i quatre gruixos de plec cutani corregits respecte els percentils 4, 50 i 96, i 3) un perfil de proporcionalitat de 25 perfils altament ajustat referent a homes i dones tipus, definit per a cada any d'edat entre els 6 i els 19 anys i, a continuació, de cinc anys en cinc fins a l'edat de 70. Basat en dades obtingudes de 25.000 canadencs, el Sistema d'Escala 0 constitueix una referència estable per a la determinació de l'estat físic i la monitorització dels canvis. Permet la comparació de les dades del pacient amb les obtingudes en altres determinacions anteriors, amb la de qualsevol altre subjecte o amb valors mitjans de qualsevol grup mostra.

Excepte en els casos en què es disposa de sis plecs cutanis bàsics, permet l'assamblatge parcial de les dades i té diverses opcions d'impressió per al professional i el client.

La suposició de que la grasa (lípid extraíble con éter) tiene una densidad constante de 0,90 g/ml se refiere solamente a los triglicéridos y no tiene en cuenta los fosfolípidos ni el colesterol del sistema nervioso que presentan una densidad superior. Incluso dando por cierta la suposición de una densidad constante de un compartimento graso anormalmente definido, continúa siendo falso el que el compartimento no graso en humanos tenga una densidad constante de 1,10 g/ml o un valor similar. Martin et. al (1986) prueban la inconstancia de la masa libre del tejido adiposo diseccionable, demostrando en cadáveres que el tejido óseo, muscular y la masa residual no están presentes en proporciones fijas y que las densidades de cada uno de estos tejidos no es constante, especialmente la del hueso. Dichas observaciones son consistentes con las variaciones detectadas por técnicas médicas de visualización tales como la técnica de absorción doble de fotones (Mazzes et al. 1984). Por otro lado, como indican Martin et al. (1984), además de la falta de validez de la suposición de densidades constantes para los dos compartimentos, deben hacerse al menos otras cinco suposiciones demostrablemente falsas para convertir las distancias lineales entre las placas de compresión del compás de espesores en lípidos extraíbles con éter o "grasa": 1) una compresibilidad constante de la piel y el tejido adiposo, 2) un valor despreciable para las dos capas de piel, 3) una estructura fija de deposición del tejido adiposo, 4) una fracción constante de grasa en el tejido adiposo, y 5) una proporción fija de grasa interna y externa.

En ciencias, no se debe confundir nunca la calidad del trabajo o su validez con el coste del equipo utilizado. Por falta de espacio no es posible aquí una revisión de los métodos más recientes de determinación de "grasa" o "masa corporal magra" por métodos bioquímicos y ultrasonidos, infrarrojos o aparatos basados en la impedancia bioeléctrica. Debe remarcarse, sin embargo, que todos ellos requieren suposiciones no comprobadas de constancia biológica de algún tipo u otro. El criterio de validez utilizado normalmente es el método bicompartimental de composición corporal... una argumentación sobre sí misma, en el mejor de los casos.

Con el fácil acceso a los microordenadores, no hay razón, excepto la incapacidad de medir con precisión y exactitud, para apoyarse en métodos de composición corporal de antaño o en aparatos de "alta tecnología" con pretensiones de validez basadas en suposiciones de constancia biológica.

## Opción de la Escala 0

Uno de los nuevos programas analíticos que no arrastra tales suposiciones es el Sistema Avanza-

## Opció del fraccionament

Des de final dels anys 70 hem estat interessats en l'afirmació que es feia al clàssic article sobre el fraccionament antropomètric de la massa corporal de Jinrich Matiegka (1921) que resultà en una publicació per part de Drinkwater i Ross (1980), una tesi doctoral de Drinkwater (1984) i, més recentment, una tesi de master de Kerr (1989).

Muestra	sexo	n	r	see	E	% SdE
SCYCL	h	18	.96	2,5	-1,0	4,0
	m	9	.96	2,3	-0,1	4,4
CANAD	h	95	.95	2,9	2,7	4,2
	m	120	.93	2,9	1,7	4,6
COGRO	h	447	.98	2,9	1,0	4,2
	m	425	.98	2,4	1,0	4,6
BUILD	h	66	.98	2,2	6,4	8,1
MOGAP	h	308	.98	2,6	0,3	3,6
	m	148	.96	2,3	-0,5	2,5
PANROW	h	20	.61	1,4	2,1	3,0
	m	13	.78	1,0	0,7	2,5

**Taula 1.** Exactitud de la predicció de la masa corporal com a suma de cinc fraccions estimades en onze mostres (n = 1.669), Kerr 1988.

**Tabla 1.** Exactitud de la predicción de la masa corporal como suma de cinco fracciones estimadas en once muestras (n = 1.669), Ker 1988.

n – nombre de mostres  
h – homes  
d – dones  
r – coeficient de correlació entre la suma de les masses fraccionàries i la massa corporal obtinguda

see – error estàndard de l'estimació  
E – error constant p – o en Kg  
% SdE =  $100 [(suma\ p - o)^2 / n]^{0,5} / X_0$ .

- SCYCLE – Ciclistes de cross sènior del Canadà, edat, 49-77 anys (Mittleman et al. 1986).
- CANAD – Estudiants universitaris de 18-35 anys (Ward, 1988).
- COGRO – Nens de 6-18 anys (Ross et al. 1980).
- MOGAP – Atletes del Projecte Antropològic dels Jocs Olímpics del Canadà (Carter et al. 1982).
- BUILD – Participants en els Campionats Mundials der la IFBB del 1981 al Cairo (Borms et al. 1986).
- PANROW – Remers de pes lleuger dels Jocs Panamericans del 1987 (DeRose et al. comunicació).

n – número de muestras  
h – hombres  
d – mujeres  
r – coeficiente de correlación entre la suma de las masas fraccionarias y la masa corporal obtenida

see – error estándar de la estimación  
E – error constante p – o en Kg  
% SdE =  $100 [(suma\ p - o)^2 / n]^{0,5} / X_0$ .

- SCYCLE – Ciclistas de cross senior del Canadà, edat, 49-77 anys (Mittleman et al. 1986).
- CANAD – Estudiantes universitarios de 18-35 años (Ward, 1988).
- COGRO – Niños de 6-18 años (Ross et al. 1980).
- MOGAP – Atletas del Proyecto Antropológico de los Juegos Olímpicos del Canadà (Carter et al. 1982).
- BUILD – Participantes en los Campeonatos Mundiales para la IFBB de 1981 en El Cairo (Borms et al. 1986).
- PANROW – Remeros de peso ligero de los Juegos Panamericanos de 1987 (DeRose et al. comunicación).

do de Escala 0 de Determinaciones Físicas (Advance 0-Scale System og Physique Assesment) de Ward et al. 1989. Esencialmente, se trata de un programa de ordenador normal que proporciona: 1) índices standard de adiposidad (suma de seis pliegues cutáneos ajustada a la estatura) y peso proporcional (ajuste geométrico del peso corporal a la estatura), y 2) una lista de valores para ocho pliegues cutáneos, diez espesores y dos anchuras de hueso, y cuatro espesores de pliegue cutáneo corregidos respecto a los percentiles 4, 50 y 96 y 3) un perfil de proporcionalidad de 25 parámetros altamente ajustado referente a hombres y mujeres tipo, definido para cada año de edad entre los 6 y los 19 años y a continuación de cinco en cinco años hasta la edad de 70. Basado en datos obtenidos de 25.000 canadienses, el Sistema de Escala 0 constituye una referencia estable para la determinación del estado físico y la monitorización de los cambios. Permite la comparación de los datos del paciente con los obtenidos en otras determinaciones anteriores, con la de cualquier otro sujeto o con los valores medios de cualquier grupo muestra. Excepto en los casos en los que se tiene seis pliegues cutáneos básicos, permite el ensamblaje parcial de los datos y tiene diversas opciones de impresión para el profesional y para el cliente.

## Opción del fraccionamiento

Desde finales de los 70 hemos estado interesados en la afirmación hecha en el clásico artículo sobre el fraccionamiento antropométrico de la masa corporal de Jinrich Matiegka (1921) que resultó en una publicación por Drinkwater y Ross (1980) una tesis doctoral por Drinkwater (1984) y más recientemente una tesis de master por Kerr (1989).

La premisa básica en el modelo de fraccionamiento de Kerr es que los indicadores antropométricos de las masas tisulares partían de un humano unisex de referencia o phantom (fantasma) así como también las masas fraccionarias definidas.

## Validez

La validez del método estaba basada en dos criterios: 1) la capacidad del método para predecir la masa corporal a partir de cinco estimados fraccionarios en hombres y mujeres, viejos y jóvenes, en buen estado físico y en mal estado físico, representando un amplio espectro de actividad física habitual y 2) concordancia con las masas tisulares obtenidas por disección bajo la dirección de J.P. Clarys de la Universidad Autónoma de Bruselas en una muestra de cadáveres de 12 hombres y 13 mujeres tal como se describe en la tesis doctoral



La premissa bàsica en el model de fraccionament de Kerr és que els indicadors antropomètrics de les masses tissulars partien d'un humà unisex de referència o *phantom* (fantasma), i també les masses fraccionàries definides.

## Validesa

La validesa del mètode es basava en dos criteris: 1) la capacitat del mètode per predir la massa corporal a partir de cinc estimacions fraccionàries en homes i dones, vells i joves, en bon i mal estat físic, representant un ampli espectre d'activitat física habitual, i 2) concordança amb les masses tissulars obtingudes per dissecció sota la direcció de J.P. Clarys de la Universitat Autònoma de Brusel·les en una mostra de cadàvers de 12 homes i 13 dones tal com es descriu a la tesi doctoral de Martin (1984) i Drinkwater (1984) de la Simon Fraser University.

Tots dos criteris es van complir bastant bé, com es mostra a les taules resumides de la comunicació de Kerr i Ross (1990). A la Taula 1 es mostra que el model va ser capaç d'explicar les masses corporals totals obtingudes en 11 mostres escollides per tal de representar la variabilitat humana. Totes les correlacions entre la massa predita a partir de la suma de les cinc fraccions i la massa obtinguda sobrepassaven 0,93, excepte per a remers de pes lleuger, en els quals es trobà una variància reduïda respecte de la mitjana (de tota manera, cal ressaltar que la mostra de remers tenia els errors més baixos de l'estàndard de l'estimació). Com es mostra a la Taula 2, quan s'aplica a la mostra de cadàvers, les estimacions de massa fraccionària derivades independentment varen ser capaces de predir els valors mitjans obtinguts de manera bastant exacta, tot i que no es van assolir nivells de predicció individual com indica el coeficient de correlació que va de 0,717 per a la massa residual estimada a 0,941 per a la massa muscular estimada.

## Discussió

Per poder afirmar una predicció individual, creiem que els coeficients de correlació haurien de sobrepassar 0,95 i l'error estàndard de l'estimació hauria de ser inferior al 5%. Alguns col·legues entusiastes al·leguen que el modelatge estàndard no resulta raonable per a la mostra de cadàvers i al·ludeixen l'elevada correlació amb la massa muscular i la capacitat del nou mètode d'haver estat capaç de predir les mitjanes de massa fraccionària dels cadàvers i justificar la massa corporal total ( $r = 0,963$ , see 4,7%).

de Martin (1984) y Drinkwater (1984) de la Simon Fraser University.

Ambos criterios fueron bastante bien satisfechos tal como se muestra en las tablas resumidas de la comunicación de Kerr y Ross (1990). En la Tabla 1 se muestra que el modelo fue capaz de explicar las masas corporales totales obtenidas en 11 muestras escogidas a fin de representar la variabilidad humana. Todas las correlaciones entre la masa predicha a partir de la suma de las cinco fracciones y la masa obtenida sobrepasaban 0,93, excepto para remeros de peso ligero, en los que se halló una varianza reducida respecto a la media (de todos modos es de resaltar que la muestra de remeros tenían los errores standard del estimado más bajos). Como se muestra en la Tabla 2, cuando se aplica a la muestra de cadáveres, los estimados de masa fraccionaria derivados independientemente fueron capaces de predecir los valores medios obtenidos de forma bastante exacta, aunque no se alcanzaron niveles de predicción individual como indica el coeficiente de correlación que va de 0,717 para la masa residual estimada a 0,941 para la masa muscular estimada.

Tejido	Predicho		Obtenido		dif	r	see	see %
X	ds	X	ds					
Piel	3,5	0,3	3,5	0,7	0,0	.752	0,45	13,4
Tejido adiposo	21,6	5,1	22,3	7,7	-0,7	.840	4,07	18,2
Musculo	21,1	6,6	21,3	6,6	-0,2	.941	2,30	10,8
Hueso	8,3	1,1	8,5	1,4	-0,2	.792	1,86	10,1
Residual	8,5	1,8	8,6	1,6	-0,1	.717	0,86	10,1
Masa corporal	63,0	10,0	64,3	10,9	-1,3	.963	3,01	4,7

**Taula 2.** Exactitud en la predicción de masas tissulares en la disección de cadáveres de 12 homes i 13 dones pel mètode Phantom de proporcionalitat.

**Tabla 2.** Exactitud en la predicción de masas tisulares en la disección de cadáveres de 12 hombres y 13 mujeres, por el método Phantom de proporcionalidad.

**Nota:** Valores en Kg excepto r i error estàndard de l'estimació, que s'expressen com a percentatge dels valors obtinguts.

**Nota:** Valores en Kg excepto r y error estándar de la estimación, que se expresan como porcentaje de los valores obtenidos.

## Discusión

Para poder afirmar una predicción individual, creemos que los coeficientes de correlación deberían sobrepassar 0,95 y el error standard del estimado debería ser menor al 5%. Algunos colegas entusiastas alegan que el modelado standard resulta irrazonable para la muestra de cadáveres y aluden a la elevada correlación con la masa muscular y a

Els estudis actuals duts a terme conjuntament per la Simon Fraser University i la Universitat de Barcelona estan enfocats a l'optimització del model de proporcionalitat derivant la massa dèrmica a partir del perímetre en comptes de fer-ho a partir de la superfície, modificant l'estimació de la massa muscular per tal de reduir els efectes extrems de la displàsia de la part superior del cos, estimant l'adipositat interna per mitjà de l'ús de perímetres protuberants i emprant el perímetre de les natges i de la cuixa com a representació deposicional regional d'adipositat.

Atès que el model de fraccionament en cinc es basa en masses tissulars definides anatòmicament com s'indica a l'Apèndix A, aquest es pot definir altra vegada per mitjà de tècniques anatòmiques quantitatives avançades, com les tècniques de visualització de ressonància magnètica. No es pot comparar directament amb els mètodes de determinació de la composició corporal definida químicament, ja que el "greix" definit químicament amb una densitat aproximada de 0,9 g/ml té aspecte d'oli d'oliva i no és idèntic al "greix" que trobem a la carn. No obstant, com que el mètode de fraccionament anatòmic comporta una antropometria no invasiva, es podria convertir en una tècnica concomitant a tots els nous mètodes, com ara el proposat per Heymesfield et al. (1990), tenint en compte, naturalment, les diferents definicions de les masses tissulars estimades i les suposicions de constància biològica, així com els criteris de validació indirecte d'aquestes últimes. Naturalment, quan s'ha d'estimar per mitjà de l'anatomia les masses tissulars, també hi ha suposicions vulnerables ja que els volums derivats de l'antropometria, per poder convertir-los a masses, han de tenir valors de densitat estimats, específics per a cada teixit, explícits en el mètode de Drinkwater (1984) i implícits en el mètode Phantom dissenyat originàriament per Ross i Wilson (1974), tal com s'utilitza en els algorismes de l'Apèndix B per al fraccionament de Kerr descrit en aquest article.

## Solucions d'ordinador

Al laboratori de cinantropometria de la Simon Fraser University es demana als estudiants que introdueixin a l'ordinador mesures triples d'un model global. El càlcul de les masses fraccionàries, la seva suma i el percentatge d'error en l'estimació de la massa corporal obtinguda és aleshores un mer acoblament d'operacions. Actualment el programa per a estudiants està sent analitzat per col·legues de la comunitat internacional. Ja se sap que se'n farà una versió comercial per a ús científic i professional.

la habilidad del nuevo método de haber sido capaz de predecir las medias de masa fraccionaria de los cadáveres y justificar la masa corporal total ( $r = 0,963$ , see 4,7%).

Estudios en marcha conjuntamente en la Simon Fraser University y la Universitat de Barcelona están enfocados a la optimización del modelo de proporcionalidad derivando la masa dérmica a partir del perímetro en lugar de hacerlo a partir de la superficie, modificando la estimación de la masa muscular a fin de reducir los efectos extremos de la displasia de la parte superior del cuerpo, estimando la adiposidad interna por medio de la utilización de perímetros protuberantes y usando el perímetro de los glúteos y del muslo como representación de la disposición regional de adiposidad.

Dado que el modelo de fraccionamiento en cinco está basado en masas tisulares definidas anatómicamente como se indica en el Apéndice A, puede ser definido nuevamente por medio de técnicas anatómicas cuantitativas avanzadas tales como las técnicas de visualización de resonancia magnética. No se puede comparar directamente a los métodos de determinación de la composición corporal definida químicamente, ya que la "grasa" definida químicamente con una densidad aproximada de 0,90 g/ml tiene aspecto de aceite de oliva y no es idéntica al tejido adiposo diseccionable definido anatómicamente que se asemeja a la "grasa" que encontramos en la carne. Sin embargo, dado que el método de fraccionamiento anatómico comporta una antropometria no invasiva, podría convertirse en una técnica concomitante a todos los nuevos métodos, tal como el propuesto por Heymesfield et al. (1990) teniendo en cuenta, por supuesto, las distintas definiciones de las masas tisulares estimadas y las suposiciones de constancia biológica así como los criterios de validación indirecta de éstas últimas. A la hora de estimar anatómicamente las masas tisulares, desde luego, hay también suposiciones vulnerables, ya que los volúmenes derivados de la antropometria, para ser convertidos en masas, deben tener valores de densidad estimados, específicos para cada tejido, explícitos en el método de Drinkwater (1984) e implícitos en el método Phantom diseñado originariamente por Ross y Wilson (1974) tal como se utiliza en los algoritmos del Apéndice B para el fraccionamiento de Kerr descrito en este artículo.

## Soluciones de Ordenador

En el laboratorio de cinantropometria de la Simon Fraser University se pide a los estudiantes que introduzcan medidas triples de un modelo global en el ordenador. El cálculo de las masas fraccionarias, la suma de éstas y el porcentaje de error en la estimación de la masa corporal obtenida es enton-

## Apèndix A: variables per a la derivació de masses fraccionàries

### 1. Massa de pell

- pes corporal.
- estatura.

### 2. Massa de teixit adipós

- plec cutani del tríceps
- plec cutani subescapular
- plec cutani supraspinal
- plec cutani abdominal
- plec cutani de la part frontal de la cuixa
- plec cutani del tou de la cama mitjà

### 3. Massa muscular

- perímetre del braç relaxat corregit per al plec cutani del tríceps
- perímetre de l'avantbraç
- perímetre de la caixa toràtica corregit per al plec cutani subescapular
- perímetre de la cuixa corregit per al plec cutani de la part frontal de la cuixa
- perímetre del tou de la cama corregit per al plec cutani del tou de la cama mitjà

### 4. Massa de l'os

- amplada biacromial
- amplada biillocristal
- amplada biepicondilar de l'húmer
- amplada bicondilar del fèmur
- perímetre del cap (el cap es prediu independent)

### 5. Massa residual

- perímetre de la cintura corregit per al plec cutani abdominal
- profunditat antero-posterior de la caixa toràtica
- amplada transversal de la caixa toràtica (Escala Phantom per a l'altura sesil)

A l'hora de construir el model a partir de mostres *in vivo*, la definició dels teixits va ser adaptada de la tesi de Martin (1984) i Drinkwater (1984). Aquestes definicions i el raonament per a la selecció de les variables esmentades abans es van fer com es descriu a continuació:

1. Pell: Massa anatómicament dissecionable de teixit connectiu, múscul lliu, una mica de teixit esstriat superficial, pell, glàndules, teixit adipós associat, nervis i vasos sanguinis amb sang coagulada. La pell definida d'aquesta manera es considera com a funció de la superfície corporal, i el gruix i la densitat de la pell. Dades obtingudes de cadàvers mostren que la superfície de la pell extreta obtinguda és major en homes que en dones respecte al que s'esperava aplicant regles geomètriques teòri-

ces un mero acoplamiento de operaciones. Actualmente el programa para estudiantes está siendo analizado por colegas de la comunidad internacional. Se sabe que se realizará una versión comercial para uso científico y profesional.

## Apèndix A: variables para la derivación de masas fraccionarias

### 1. Masa de piel

- peso corporal.
- estatura.

### 2. Masa de tejido adiposo

- pliegue cutáneo del triceps
- pliegue cutáneo subescapular
- pliegue cutáneo supraspinal
- pliegue cutáneo abdominal
- pliegue cutáneo de la parte frontal del muslo
- pliegue cutáneo de la pantorrilla

### 3. Masa muscular

- perímetro del brazo relajado corregido para el pliegue cutáneo del triceps.
- perímetro del antebrazo
- perímetro de la caja torácica corregido para el pliegue cutáneo subescapular
- perímetro del muslo corregido para el pliegue cutáneo de la parte frontal del muslo
- perímetro de la pantorrilla corregido para el pliegue cutáneo de la pantorrilla media

### 4. Masa del hueso

- anchura biacromial
- anchura biillocristal
- anchura biepicondilar del húmero
- anchura bicondilar del fémur
- perímetro de la cabeza (la cabeza se predice independientemente).

### 5. Masa residual

- perímetro de la cintura corregido para el pliegue cutáneo abdominal
- profundidad antero-posterior de la caja torácica
- anchura transversal de la caja torácica (Escala Phantom para la altura sesil)

A la hora de construir el modelo a partir de muestras *in vivo*, la definición de los tejidos fue adaptada de la tesis de Martin (1984) y Drinkwater (1984). Estas definiciones y el razonamiento para la selección de las variables arriba mencionadas fue como se describe a continuación:



ques. Es van calcular noves variables per a les relacions dimensionals de  $M^{0,725}$  i  $H^{0,725}$  en la fórmula de superfície de DuBois i DuBois (1916). El gruix de la pell es va estimar a partir de la relació de la massa de pell obtinguda respecte a la superfície de pell extreta multiplicada per la densitat de pell obtinguda. Aquesta fracció és l'única que utilitza el pes corporal obtingut. Manté similitud geomètrica, per exemple, amb la suma d'exponents  $0,425 + 3(0,725) = 2$  (que és la dimensió d'una àrea). S'està estudiant un mètode alternatiu per a la derivació de la superfície basat en valors  $z$  de Phantom.

2. Teixit adipós: Teixit separable per dissecció grollera i que inclou la major part de teixit adipós subcutani, el teixit adipós omental que rodeja els òrgans i les vísceres i una petita quantitat de teixit adipós intramuscular. No és equivalent a la massa de greix extraïble per èter químicament definida en el mètode densitomètric bicompartimental. En el model fraccionari, el teixit adipós es va basar en plecs cutanis de les extremitats i els costats del tors, reconeixent que les adipositats de les extremitats predominen entre les dones i les del tors entre els homes. Una subestimació sistemàtica en les dones i una sobreestimació sistemàtica en els homes ha fet pensar que l'ús de plecs cutanis i perímetres ossis corregits es pot utilitzar per predir aquest teixit si s'optimitza la fórmula.

3. Múscul: Tot el múscul esquelètic del cos, incloent teixit connectiu, lligaments, nervis, vasos sanguinis i sang coagulada, així com una quantitat indeterminada de teixit adipós no separable físicament del múscul. Excepte per al perímetre de l'avantbraç, s'estimà el múscul a partir de perímetres corregits per al plec cutani (és a dir, restant al perímetre  $\pi$  vegades el gruix del plec cutani adjacent en cm). En el cas del perímetre de l'avantbraç no es va fer cap correcció perquè en la major part de protocols no s'inclou la mesura del plec cutani adjacent.

4. Os: Teixit connectiu, inclòs cartílag, periòsti i múscul que no s'hagin pogut eliminar completament per mitjà de raspament, nervis, vasos sanguinis amb sang coagulada i lípids continguts en la cavitat medullar. Les amplades biacromial i bilio-cristal s'hi inclouen ja que són indicadors importants del dimorfisme entre homes i dones (Ross i Ward, 1982). Les amplades del fèmur i de l'húmer es dupliquen perquè representin les dues extremitats. Atès que els nens tenen el cap relativament ample, una escala per altures de la mesura del cap representaria de manera desproporcionada la massa òssia del nen. Per això, la massa de l'òssia del cap es va determinar independentment de la resta de la massa de l'esquelet, basant-se en l'escala Phantom de perímetres de cap i no en l'estatura.

5. Massa de teixit residual: Òrgans vitals i vísceres.

1. Piel – masa anatómicamente diseccionable de tejido conectivo, músculo liso, algo de músculo estriado superficial, pelo, glándulas, tejido adiposo asociado, nervios y vasos sanguíneos con sangre coagulada. La piel así definida, es considerada como función de la superficie corporal, y el grueso y la densidad de la piel. Datos obtenidos de cadáveres muestran que la superficie de la piel despelada obtenida es mayor en hombres que en mujeres, respecto a lo esperado aplicando reglas geométricas teóricas. Se calcularon nuevas variables para las relaciones dimensionales de  $M^{0,425}$  y  $H^{0,725}$  en la fórmula de superficie de DuBois y DuBois (1916). El grueso de la piel fue estimado a partir de la relación de la masa de la piel obtenida respecto a la superficie de piel despelada multiplicada por la densidad de piel obtenida. Esta fracción es la única que utiliza el peso corporal obtenido. Mantiene similitud geométrica, por ejemplo, con la suma de exponentes  $0,425 + 3 (0,725) = 2$  (que es la dimensión de un área). Se está estudiando un método alternativo para la derivación de la superficie basado en valores  $z$  de Phantom.

2. Tejido adiposo – tejido separable por disección grosera y que incluye la mayor parte de tejido adiposo subcutáneo, el tejido adiposo omental que rodea a los órganos y las vísceras y una pequeña cantidad de tejido adiposo intramuscular. No es equivalente a la masa de grasa extraíble por éter químicamente definida en el método densitométrico bicompartimental. En el modelo fraccionario, el tejido adiposo fue basado en pliegues cutáneos de las extremidades y los lados del torso, reconociendo que las adiposidades de las extremidades predominan en las mujeres y las del torso en los hombres. Una subestimación sistemática en las mujeres y una superestimación sistemática en los hombres ha hecho pensar que en el uso de pliegues cutáneos y perímetros óseos corregidos puede ser de utilidad para predecir este tejido, si se optimiza la fórmula.

3. Músculo – todo el músculo esquelético del cuerpo, incluyendo tejido conectivo, ligamentos, nervios, vasos sanguíneos y sangre coagulada y una capacidad indeterminada de tejido adiposo no separable físicamente del músculo. Excepto para el perímetro del antebrazo, el músculo fue estimado a partir de perímetros corregidos para el pliegue cutáneo (es decir, substrayendo al perímetro  $\pi$  veces el grueso del pliegue cutáneo adyacente en cm). En el caso del perímetro del antebrazo no se hizo ninguna corrección porque en la mayoría de protocolos no se incluye la medida del pliegue cutáneo adyacente.

4. Hueso – tejido conectivo, incluyendo cartilago, periosteó y músculo que no hayan podido ser completamente eliminados por raspado, nervios, vasos sanguíneos con sangre coagulada y lípidos contenidos en la cavidad medular. Las anchuras



res consistents en teixit connectiu, nervis, vasos sanguinis amb sang coagulada i teixit adipós que no es va poder disseccionar físicament dels òrgans del tracte gastrointestinal (amb l'exclusió de la llengua, que es considera part de la massa muscular del cap), els òrgans sexuals, romanents del mesenter, el tracte bronquial, els pulmons, el cor i els vasos majors, tots els teixits restants i els fluids no inclosos en les altres quatre fraccions. La suposició bàsica és que la massa de teixit residual omple la cavitat toràctica i, per tant, es pot determinar a partir del volum del tors. Donat que això és independent de la longitud de les extremitats, els valors z de Phantom es van relacionar amb l'alçada sesil i no amb l'estatura.

## Apèndix B

### MÈTODE ANTROPOMÈTRIC PER AL FRACCIONAMENT DEL COS EN PELL, TEIXIT ADIPÓS, MÚSCUL, OS I TEIXIT RESIDUAL (KERR, 1988)

#### 1. Predicció de la massa de pell

Per calcular la massa de pell

$$M_s = SA \times T_{sk} \times 1,05$$

en què:

$M_s$  = massa de pell en Kg

SA = superfície en  $m^2$

1,05 = densitat de la pell (dada obtinguda de cadàver)

$T_{sk}$  = gruix de la pell (dada obtinguda del cadàver), és 2,07 per als homes i 1,96 per a les dones.

Per a calcular la superfície corporal

$$SA = C_{sa} \times W^{0,425} \times H^{0,725}$$

en què:

W = massa corporal expressada com a pes en Kg

H = estatura en m

SA = superfície en  $m^2$

$C_{sa}$  = 68,308 en homes de edat > 12 anys.

73,704 en dones d'edat > 12 anys.

70,691 en homes i dones < 12 anys.

o  $C_{sa}$  mitja d'homes i dones > 12 anys.

*Fórmula general per a la predicció de masses de teixit adipós, múscul, os i teixit residual*

La tàctica de fraccionament requereix derivar

*biacromial y biillocristal están incluidas ya que son indicadores importantes del dimorfismo entre hombres y mujeres (Ross y Ward, 1982). Las anchuras del fémur y el húmero se duplican para que representen a las dos extremidades. Dado que los niños tienen una cabeza relativamente ancha, una escala por alturas de la medida de la cabeza representaría de un modo desproporcionado la masa ósea del niño. Es por esto que la masa ósea de la cabeza se determinó independientemente al resto de la masa del esqueleto, basándose en la escala Phantom de perímetros de cabeza y no en la estatura.*

*5. Masa de tejido residual – órganos vitales y vísceras consistentes en tejido conectivo, nervios, vasos sanguíneos con sangre coagulada y tejido adiposo que no pudo ser físicamente diseccionado de los órganos del tracto gastrointestinal (excluyendo la lengua que se considera parte de la masa muscular de la cabeza), los órganos sexuales, remanentes del mesenterio, el tracto bronquial, los pulmones, el corazón y los vasos mayores y todos los tejidos restantes y los fluidos no incluidos en las otras cuatro fracciones. La suposición básica es que la masa de tejido residual llena la cavidad del volumen del torso. Ya que esto es independiente de la longitud de las extremidades, los valores z de Phantom fueron relacionados a la altura sesil y no a la estatura.*

## Apéndice B

### MÉTODO ANTROPOMÉTRICO PARA EL FRACCIONAMIENTO DEL CUERPO EN PIEL, TEJIDO ADIPOSEO, MÚSCULO, HUESO Y TEJIDO RESIDUAL (KERR, 1988)

#### 1. Predicción de la masa de piel

Para calcular la masa de piel

$$M_s = SA \times T_{sk} \times 1,05$$

donde:

$M_s$  = Masa de piel en Kg

SA = superficie en  $m^2$

1,05 = densidad de la piel (dato obtenido del cadáver)

$T_{sk}$  = grueso de la piel (dato obtenido del cadáver), es 2,07 para los hombres y 1,96 para las mujeres.

Para calcular la superficie corporal

$$SA = C_{sa} \times W^{0,425} \times H^{0,725}$$

donde:

W = masa corporal expresada como peso en Kg

l'índex de proporcionalitat Phantom per a cada massa de teixit d'acord amb la fórmula següent:

$$Z = 1/s \times [V \times (C_p/C_s)^d - P]$$

en què:

- Z = valor de proporcionalitat de Phantom
- V = suma de les variables
- d = una constant dimensional igual a 1 per a longituds, amplades i perímetres, 2 per a àrees i 3 per a pes.
- C<sub>p</sub> = constant Phantom d'escalament que depèn de com s'assigni (per exemple, altura o altura sesil)
- C<sub>s</sub> = variable obtinguda per mesura per a la constant d'escalament.
- P = valor Phantom per a la variable V.
- S = desviació estàndard Phantom per a la variable V.

La suma dels valors antropomètrics per a cada subgrup de variables predictores (vegeu taula 3) s'usa per determinar un valor Phantom de proporcionalitat per a cada massa de teixit: adipós, múscul, os i residual. Es considera que la desviació del valor Phantom de proporcionalitat per a cada massa de teixit representa les característiques displàsiques de la massa de teixit. Per a calcular la massa fraccionària per a cada teixit s'utilitza la següent fórmula:

$$M = (Z \times s + P) / (C_p/C_s)^3$$

en què:

- M = qualsevol massa, per exemple: massa adiposa, massa de teixit esquelètic, massa muscular o massa residual
- Z = valor de proporcionalitat de Phantom per al subgrup de mesures associat a una determinada massa de teixit
- P = valor Phantom específic per a la massa del teixit en qüestió
- s = desviació estàndard Phantom per a la massa de teixit
- C<sub>p</sub> = constant Phantom d'escalament (generalment s'usa l'altura)
- C<sub>s</sub> = valor obtingut per a la constant d'escalament
- 3 = exponent dimensional (assumint una similitud geomètrica en què [m] = L<sup>3</sup>)

La massa esquelètica restant es prediu d'acord amb el mètode general descrit anteriorment; així doncs:

$$ZCAP = (\text{perímetre del cap} - 56,0) / 1,44$$

en què:

- 56,0 = perímetre Phantom del cap
- 1,44 = desviació estàndard Phantom per al perímetre del cap

$$HCAP \text{ (Kg)} = (ZCAP \times 0,18) + 1,20$$

- H = estatura o altura en m
- SA = superfície en m<sup>2</sup>
- CA<sub>sa</sub> = 68,308 en homes de edat > 12 anys.  
73,704 en dones de edat > 12 anys.  
70,691 en homes i dones < 12 anys.  
o C<sub>sa</sub> mitjà de homes i dones > 12 anys.

Fórmula general per a la predicció de masses de teixit adipós, músculo, hueso y tejido residual

La tática de fraccionamiento requiere derivar el índice de proporcionalidad Phantom para cada masa objeto de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Z = 1/s \times [V \times (C_p/C_s)^d - P]$$

donde:

- Z = valor de proporcionalidad de Phantom
- V = suma de las variables
- d = una constante dimensional igual a 1 para longitudes, anchuras y perímetros, 2 para áreas y 3 para peso.
- C<sub>p</sub> = constante Phantom de escalado según se asigne (por ejemplo, altura o altura sesil).
- C<sub>s</sub> = variable obtenida por media para la constante de escalado.
- P = valor Phantom para la variable V.
- S = desviación estándar Phantom para la variable V.

La suma de los valores antropométricos para cada subgrupo de variables predictoras (ver tabla 3) se utiliza para determinar un valor Phantom de proporcionalidad para cada masa de tejido: adiposo, músculo, hueso y residual. Se considera que la desviación del valor Phantom de proporcionalidad para cada masa de tejido representa las características displásicas de la masa de tejido. Para calcular la masa fraccionaria para cada tejido se utiliza la siguiente fórmula:

$$M = (Z \times s + P) / (C_p/C_s)^3$$

donde:

- M = cualquier masa, por ejemplo: masa adiposa, masa de tejido esquelético, masa muscular o masa residual
- Z = valor de proporcionalidad de Phantom para el subgrupo de medidas asociado a una determinada masa de tejido
- P = valor Phantom específico para la masa de tejido en cuestión
- s = desviación estándar Phantom para la masa de tejido
- C<sub>p</sub> = constante Phantom de escalado (generalmente se utiliza la altura)
- C<sub>s</sub> = valor obtenido para la constante de escalado

en què:

1,20 = massa òssia del cap

0,18 = desviació estàndard de la massa òssia del cap

$$\text{COS} = \text{suma} [\text{BIAC} + \text{BILL} + (2 \times \text{HUM}) + 2 \times \text{FEM}]$$

en què:

BIAC = amplada biacromial

BILL = amplada biliocrestal

HUM = amplada de l'húmer

FEM = amplada del fèmur

$$\text{ZCOS} = [(\text{SCOS} \times 170,18 / \text{HT})] - 98,88 / 5,33$$

en què:

98,88 = suma Phantom de les amplades òssies

5,33 = suma Phantom de les desviacions estàndard per a l'os

$$\text{HCOS (Kg)} = \text{ZCOS} \times 1,34 + 6,70 / (170,18 / \text{HT}^3)$$

en què:

6,70 = massa òssia corporal Phantom en Kg

1,34 = desviació estàndard Phantom

$$\text{MASSA TOTAL D'OS (Kg)} = \text{HCOS} + \text{HCAP}$$

## 2. Predicció de la massa de teixit adipós

$$\text{SGREIX} = \text{suma} (\text{TPSF} + \text{SSSF} + \text{SISF} + \text{ABSF} + \text{THSF} + \text{MCSF}) \text{ plecs cutanis}$$

$$\text{ZGREIX} = [(\text{SGREIX} \times 170,18 / \text{HT}) - 116,41] / 34,79$$

en què:

116,41 = suma Phantom dels plecs cutanis

34,79 = suma Phantom de les desviacions estàndard per als plecs cutanis

TPSF = plec cutani del triceps

SSSF = plec cutani subescapular

SISF = plec cutani supraspinal

ABSF = plec cutani abdominal

THSF = plec cutani frontal de la cuixa

MCSF = plec cutani del tou de la cama mig

$$\text{MASSA ADIPOSA (Kg)} = [(\text{ZGREIX} \times 5,85) + 25,6] / (170,18 / \text{HT}^3)$$

en què:

25,6 = massa adiposa Phantom (Kg)

5,85 = desviació estàndard Phantom per al teixit adipós

## 3. Predicció de la massa d'os

La massa d'os del cap es predirà amb la fórmula següent:

$H_z$  = valor Phantom (no escalat) per al perímetre del cap.

$s$  = desviació estàndard Phantom per al perímetre del cap.

$V$  = perímetre del cap en cm

$p$  = valor Phantom per al perímetre del cap

$H_m$  =  $H_z \times s + P$

3 = exponente dimensional (asumiendo una similaridad geométrica donde  $[m] = L^3$ )

La masa esquelética restante se predice de acuerdo con el método general antes descrito. así pues:

$$\text{ZCABEZA} = (\text{perímetro de la cabeza} - 56,0) / 1,44$$

donde:

56,0 = perímetro Phantom de la cabeza

1,44 = desviación estándar Phantom para el perímetro de la cabeza

$$\text{HCABEZA (Kg)} = (\text{ZCABEZA} \times 0,18) + 1,20$$

donde:

1,20 = masa ósea de la cabeza

0,18 = desviación estándar de la masa ósea de la cabeza

$$\text{SCUERPO} = \text{suma} [\text{BIAC} + \text{BILL} + (2 \times \text{HUM}) + 2 \times \text{FEM}]$$

donde:

BIAC = anchura biacromial

BILL = anchura biliocrestal

HUM = anchura de l'húmero

FEM = anchura del fémur

$$\text{ZCUERPO} = [(\text{SCUERPO} \times 170,18 / \text{HT})] - 98,88 / 5,33$$

donde:

98,88 = suma Phantom de las anchuras óseas

5,33 = suma Phantom de las desviaciones estándar para el hueso

$$\text{HCUERPO (Kg)} = \text{ZCUERPO} \times 1,34 + 6,70 / (170,18 / \text{HT}^3)$$

donde:

6,70 = masa ósea corporal Phantom en Kg

1,34 = desviación estándar Phantom

$$\text{MASSA TOTAL D'OS (Kg)} = \text{HCUERPO} + \text{HCABEZA}$$

## 2. Predicción de la masa de tejido adiposo

$$\text{SGRASA} = \text{suma} (\text{TPSF} + \text{SSSF} + \text{SISF} + \text{ABSF} + \text{THSF} + \text{MCSF}) \text{ pliegues cutáneos}$$

$$\text{ZGRASA} = [(\text{SGRASA} \times 170,18 / \text{HT}) - 116,41] / 34,79$$

donde:

116,41 = suma Phantom de los pliegues cutáneos

34,79 = suma Phantom de las desviaciones estándar para los pliegues cutáneos

TPSF = pliegue cutáneo del triceps

SSSF = pliegue cutáneo subescapular

SISF = pliegue cutáneo supraspinal

ABSF = pliegue cutáneo abdominal

THSF = pliegue cutáneo frontal del muslo

MCSF = pliegue cutáneo de la pantorrilla media

en què:

$H_m$  = massa del cap en Kg

$H_z$  = valor Phantom per al perímetre del cap

$S$  = desviació estàndard Phantom per a la massa del cap

$P$  = valor Phantom especificat per a la massa del cap

#### 4. Predicció del múscul

SMU = suma (CAG + FAG + CTHG + CCAG + CCHG)

$$ZMU = [(SMU \times (170,18 / HT) - 207,21 / 13,74]$$

en què:

207,21 = suma Phantom dels perímetres corregits

13,74 = suma Phantom de les desviacions estàndard per als perímetres

CAGR = perímetre del braç (relaxat) corregit per al plec cutani del tríceps

FAH = perímetre de l'avantbraç

CTHG = perímetre de la cuixa corregit per al plec cutani de la cuixa frontal

CCAG = perímetre del tou de la cama corregit per al plec cutani del tou de la cama mig

CCHG = perímetre de la caixa toràctica corregit per al plec cutani subescapular

$$MUSCUL (Kg) = \frac{[(ZMU \times 5,4) + 24,5]}{(170,18 / HT)_3}$$

en què:

24,5 = massa muscular Phantom (Kg)

5,4 = desviació estàndard Phantom per al múscul

#### 5. Predicció de la massa residual

SRES = suma (APCH + TRCH + CWAG)

en què:

APCH = amplada anteroposterior de la caixa toràctica

TRCH = amplada transversal de la caixa toràctica

CWAG = perímetre de la cintura corregida per al plec cutani abdominal

$$ZRES = [SRES \times (89,92 / SITHT) - 109,35] / 7,08$$

en què:

89,92 = altura sesil Phantom

7,08 = desviació estàndard Phantom

SITHT = altura sesil

$$RESIDUAL = \frac{(ZRES \times 1,24) + 6,10}{(89,92 : SHITHT)^1}$$

en què:

6,10 = massa residual Phantom

1,24 = desviació estàndard Phantom per a la massa residual

#### 6. Predicció de la massa corporal total

La massa corporal predita a partir de la suma de

$$MASA ADIPOSA (Kg) = \frac{[(ZGRASA \times 5,85) + 25,6]}{(170,18 / HT)^3}$$

donde:

25,6 = massa adiposa Phantom (Kg)

5,85 = desviación estándar Phantom para el tejido adiposo

#### 3. Predicción de la masa de hueso

La masa de hueso de la cabeza se predecirá con la fórmula siguiente:

$H_z$  = valor Phantom (no escalado) para el perímetro de la cabeza.

$s$  = desviación estándar Phantom para el perímetro de la cabeza.

$V$  = perímetro de la cabeza en cm

$p$  = valor Phantom para el perímetro de la cabeza

$$H_m = H_z \times s + P$$

donde:

$H_m$  = masa de la cabeza en Kg

$H_z$  = valor Phantom para el perímetro de la cabeza

$S$  = desviación estándar Phantom para la masa de la cabeza

$P$  = valor Phantom especificado para la masa de la cabeza

#### 4. Predicción del músculo

SMU = suma (CAG + FAG + CTHG + CCAG + CCHG)

$$ZMU = [(SMU \times (170,18 / HT) - 207,21 / 13,74]$$

donde:

207,21 = suma Phantom de los perímetros corregidos

13,74 = suma Phantom de las desviaciones estándar para los perímetros

CAGR = perímetro del brazo (relajado) corregido para el pliegue cutáneo del tríceps

FAH = perímetro del antebrazo

CTHG = perímetro de la pierna corregido para el pliegue cutáneo de la pierna frontal

CCAG = perímetro de la pantorrilla corregido para el pliegue cutáneo de la pantorrilla media

CCHG = perímetro de la caja torácica corregido para el pliegue cutáneo subescapular

$$MUSCULO (Kg) = \frac{[(ZMU \times 5,4) + 24,5]}{(170,18 / HT)_3}$$

donde:

24,5 = massa muscular Phantom (Kg)

5,4 = desviación estándar Phantom para el músculo

#### 5. Predicción de la masa residual

SRES = suma (APCH + TRCH + CWAG)

donde:

APCH = anchura anteroposterior de la caja torácica



les cinc masses tissulars fraccionàries.

$M_T = (\text{pell} + \text{teixit adipós} + \text{os} + \text{múscul} + \text{teixit residual})$

en què:

$M_T$  = massa corporal predita en kg

$TRCH$  = anchura transversal de la caixa toràcia  
 $CWAG$  = perímetre de la cintura corregido para el pliegue cutáneo abdominal

$$ZRES = [SRES \times (89,92 / SHTHT) - 109,35] / 7,08$$

donde:

89,92 = altura sesil Phantom

7,08 = desviación estándar Phantom

SHTHT = altura sesil

$$RESIDUAL = \frac{(ZRES \times 1,24) + 6,10}{(89,92 : SHTHT)^2}$$

donde:

6,10 = masa residual Phantom

1,24 = desviación estándar Phantom para la masa residual

## 6. Predicción de la masa corporal total

La masa corporal predecida se estima a partir de la suma de las cinco masas tisulares fraccionarias.

$M_T = (\text{piel} + \text{tejido adiposo} + \text{hueso} + \text{músculo} + \text{tejido residual})$

donde:

$M_T$  = masa corporal predecida en kg

## Bibliografía

DRINKWATER, D.T.; ROSS, W.D.: The anthropometric fractionation of body mass. In Kinanthropometry III. Beunen, G., Ostry, M. and Simon, J. (eds). University Park Press: Baltimore, p. 177-189, 1980.

DRINKWATER, D.T.: An anatomically derived method for the anthropometric estimation of human body composition. Ph. D. thesis, Simon Fraser University, 1984.

HEYMSFIELD, S.B.; LICHMAN, S.; BAUMGARTNER, R.N.; WANG, J.; KAMEN, Y.; ALIPANTIS, A.; PIERSON, R.N.: Body composition of humans: comparison of two improved four-compartment models that differ in expense, technical complexity, and radiation exposure. Am. J. Clin. Nutr. 52: 52-58, 1990.

KERR, D.A.: An anthropometric method for the fractionation of skin, adipose, muscle, bone and residual tissue masses in males and females age 6 to 77 years. M. Sc. thesis. Simon Fraser University, 1988.

MARTIN, A.D.; DRINKWATER, D.T.; CLARYS, J.P.; ROSS, W.D.: Prediction of body fat by skinfold calipers: assumptions and cadaver evidence. Int. J. Obes. 7: 17-25, 1986.

MARTIN, A.D.: An anatomical basis for assessing human body composition: evidence from 25 cadavers. Ph. D. thesis. Simon Fraser University, 1984.

MARTIN, A.D.; DRINKWATER, D.T.; CLARYS, J.P.; ROSS, W.D.: The inconstancy of the fat-free mass: a reappraisal

with implications for densitometry, In Kinanthropometry III. Reilly, T, Watson, J. and Borms, J. (eds.). E. & F.N. Spon. London. p: 92-97, 1986.

ROSS, W.D.; WILSON, N.C.: A stratagem for proportional growth assessment. In Children and Exercise. Hebbelinck, M. and Borms, J. (eds.) ACTA Paed. Belg. 28: 169-182, 1974.

ROSS, W.D.; EIBEN, O.G.; WARD, R.; MARTIN, A.D.; DRINKWATER, D.T.; CLARYS, J.P.: Alternatives for the conventional methods of body composition and physique assessment. In Perspectives in Kinanthropometry. Day, J.A.P. (eds.), Human Kinetics: Champaign, p. 203-220, 1984.

ROSS, W.D.; MARTIN, A.D.; WARD, R.: Body composition and aging: theoretical and methodological implications. Coll. Antrop. 11: 15-44, 1987.

ROSS, W.D.; CRAWFORD, S.M.; KERR, D.A.; WARD, R.; BAILEY, D.A.; MIRWALD, R.L.: The relationship of the BMI with skinfolds, girths and bone breadths in Canadian men and women age 20 to 70 years. Am. J. Phys. Antrop. 77: 2, 253-260, 1988.

WARD, R.; ROSS, W.D.; LEYLAND, A.J.; SELBIE, S.: The Advanced 0-Scale Physique Assessment System. Kine-matrix: Burnaby, 1989.

