

Centro Provincial de Medicina del Deporte
Holguín

VALIDACIÓN POR DISECCIÓN DE CADÁVERES DE 7 MÉTODOS ANTROPOMÉTRICOS PARA ESTIMAR LA MASA MUSCULAR HUMANA

Jorge Alberto Fernández Vieitez¹

RESUMEN

En un intento de validar 7 de las 10 ecuaciones antropométricas existentes para estimar la masa muscular (MM, kg), se tomaron los datos de peso corporal, estatura, circunferencias, pliegues cutáneos, alturas y MM disecadas de los 25 cadáveres humanos sometidos a disección completa en el Brussels Cadaver Study. Con los datos antropométricos se estimó la MM por las ecuaciones propuestas por *Matiegka* (1921), *Drinkwater* y *Ross* (1980), *Heysfield* y otros (1982), *Drinkwater* (1985), *Kerr* (1988) y las 2 de *Lee* y otros (2000) (*Lee-1* y *Lee-2*). Se determinó la diferencia, relación y concordancia entre la MM estimada por cada modelo y la MM disecada (criterio de referencia). Los métodos de *Matiegka* ($1,64 \pm 1,96$ kg), *Heysfield* ($3,4 \pm 4,77$ kg) y *Lee-1* ($3,02 \pm 2,88$ kg) difirieron significativamente ($p < 0,05$) del criterio de referencia. Las mayores correlaciones (r^2) y los más bajos errores estándar de estimación (EEE) correspondieron a las fórmulas de *Matiegka* ($r^2 = 0,943$; EEE = 2,52 kg), *Drinkwater* y *Ross* ($r^2 = 0,939$; EEE = 2,83 kg) y *Drinkwater* ($r^2 = 0,923$; EEE = 3,18 kg). Las divergencias entre los valores de MM disecada y estimada se incrementaron hacia los extremos de la distribución. Se concluye que las ecuaciones de *Drinkwater* y *Ross* (1980) y *Drinkwater* (1984) resultaron las más adecuadas, a pesar de lo cual solo permiten hacer estimaciones confiables en grupos de personas, no así en individuos aislados.

DeCs: ANTROPOMETRIA; COMPOSICION CORPORAL; DISECCION/métodos; CADAVER; AUTOPSIA; PESOS Y MEDIDAS CORPORALES; MUSCULOS/anatomía & histología; MEDICINA DEPORTIVA.

El estudio de la masa muscular esquelética (MM, kg) en su relación con aspectos de la salud humana como: el estado de las reservas proteicas del organismo,¹ el desempeño funcional² y las capacidades

termorregulatoria³ e inmunitaria,⁴ entre otros, ha propiciado el desarrollo y aplicación de diferentes métodos para su determinación *in vivo*. Entre ellos pueden mencionarse la tomografía axial computadorizada

¹ Investigador.

(TAC), la resonancia nuclear magnética (RNM), el análisis de activación neutrónica (AAN) y la absorciometría de fotones de doble energía (DEXA).^{5,6}

Sin embargo, la carestía de estos métodos, unido a su aplicación *in situ* y el carácter invasivo de algunos de ellos (TAC, AAN), imposibilitan su uso generalizado. En contraste, la antropometría constituye aún el método de elección en grandes estudios poblacionales y de terreno, debido a su inocuidad, bajo costo y aceptable confiabilidad.⁷

Entre las aproximaciones antropométricas ilustrativas del nivel de muscularidad se encuentran: el componente mesomórfico del somatotipo de Heath y Carter, la masa libre de grasa y las áreas musculares de miembros, todas ellas con sus limitaciones inherentes a las asunciones en que se sustentan.^{8,9} Sin embargo, resulta llamativo que existan pocas ecuaciones basadas en dimensiones corporales para estimar la MM, lo que contrasta con lo encontrado en la grasa corporal que cuenta con decenas de tales fórmulas.

Una situación más crítica constituye el hecho de la falta o inadecuada validación de los modelos existentes, aspecto que genera incertidumbre al emplear alguno de ellos.

Este trabajo tuvo como objetivo validar 7 de las 10 ecuaciones que existen para estimar la MM por medio de dimensiones antropométricas. Para ello se empleó como criterio de referencia la MM obtenida por disección completa de los cadáveres incluidos en el relevante estudio conocido como el Brussels Cadaver Study.¹⁰

MÉTODOS

Para este estudio se tomaron los datos primarios antropométricos y de MM dise-

cada de los 25 cadáveres humanos (12 hombres y 13 mujeres) empleados en el Brussels Cadaver Study, Las características de cada sujeto y de la muestra en general se ofrecen detalladamente en otra fuente.¹⁰

Dimensiones antropométricas y MM disecada. Según se describe en el informe publicado por *Clarys* y otros,¹⁰ 25 cadáveres humanos fueron sometidos a un extenso y riguroso protocolo de mediciones antropométricas antes de su completa disección. De estas dimensiones se tomaron: peso corporal (kg), estatura (cm), circunferencias (cm) cefálica, mesobraquial, antebrazo, muñeca, tórax, cintura, muslo medio, pierna y tobillo, pliegues cutáneos (mm) tricipital, subescapular, abdominal, antebrazo, muslo frontal y pierna media, así como las alturas (cm) acromial, radial, estiloidea, espinal, trocantérica y tibial. Una descripción pormenorizada de los requerimientos técnicos para estas mediciones es ofrecida por *Ross* y otros.⁹

Se tomó también la MM de cada cadáver obtenida por disección y pesaje.¹⁰ La MM disecada se empleó como criterio de referencia contra el cual se contrastan los valores de MM estimados por las 7 ecuaciones antropométricas estudiadas.

Ecuaciones antropométricas para estimar la MM. Con las dimensiones antropométricas antes mencionadas se calculó la MM mediante 7 de los 10 métodos existentes. Debe señalarse que algunos sujetos carecían de determinadas dimensiones, lo que imposibilitó estimar la MM por algunas de las fórmulas. Ello a su vez trajo consigo que se emplearan 4 tamaños de muestra diferentes para la MM disecada. Un análisis de varianza reveló que no había diferencias estadísticas entre ellas ($F=0,04$; $p=0,99$). A con-

tinuación se relacionan los modelos estudiados y entre paréntesis el tamaño de muestra (n) utilizado; los métodos se identificarán por el apellido del autor principal del trabajo que les dio origen, a saber: Matiegka-1921¹¹ (n=21), Drinkwater y Ross-1980¹² (n=19), Heymsfield y otros-1982¹³ (n=25), Drinkwater-1984 (n=16) (Drinkwater DT. An anatomically derived method for the anthropometric estimation of human body composition. [Disertación Doctoral]. British Columbia: Simon Fraser University, 1984), Kerr-1988¹⁴ (n=19) y los 2 recientemente publicados por Lee y otros-2000⁷ (Lee-1 [n=21] y Lee-2 [n=25]).

Procesamiento estadístico. Los datos descriptivos se ofrecen en media, desviación estándar. Mediante la prueba t de Student para datos pareados se determinó la significación estadística de las diferencias (kg) entre la MM disecada y la obtenida por cada modelo antropométrico. La relación entre MM disecada y MM esti-

mada se determinó por el coeficiente de determinación (r^2). Se ofrece el error estándar de estimación (EEE, kg) de cada fórmula. La concordancia de cada método con el criterio de referencia en todo el rango de la distribución se evaluó por la prueba de Bland y Altman.¹⁵ Se escogió un nivel de significación estadística del 95 % ($p < 0,05$).

RESULTADOS

Los valores de MM estimados por las 7 ecuaciones en estudio oscilaron entre $17,9 \pm 5,7$ kg (método de Heymsfield) y $22,6 \pm 5,0$ y $22,6 \pm 5,3$ (modelos de Drinkwater y Ross y Lee-1, respectivamente). Las fórmulas de Matiegka ($1,64 \pm 1,96$ kg), Heymsfield ($3,4 \pm 4,77$ kg) y Lee-1 ($3,02 \pm 2,88$ kg) subestimaron significativamente ($p < 0,05$) la MM disecada. Los restantes métodos no difirieron estadísticamente del criterio de referencia (tabla 1).

TABLA 1. Comparaciones entre la MM (kg) disecada y la estimada por las ecuaciones antropométricas

| Método | n | Media | Desviación estándar | Diferencia con MM disecada (kg) | r^2 | EEE |
|-----------------|----|-------|---------------------|---------------------------------|-------|------|
| MM disecada* | 25 | 21,3 | 6,6 | — | — | — |
| Matiegka | 21 | 19,8 | 5,8 | $1,64 \pm 1,96$ † | 0,943 | 2,52 |
| Drinkwater-Ross | 19 | 22,6 | 5,0 | $0,93 \pm 2,75$ | 0,939 | 2,83 |
| Heymsfield | 25 | 17,9 | 5,7 | $3,40 \pm 4,77$ † | 0,516 | 5,78 |
| Drinkwater | 16 | 21,6 | 5,2 | $0,52 \pm 3,24$ | 0,923 | 3,18 |
| Kerr | 19 | 22,6 | 5,4 | $0,89 \pm 3,51$ | 0,791 | 3,53 |
| Lee-1 | 21 | 18,5 | 5,3 | $3,02 \pm 2,88$ † | 0,862 | 4,13 |
| Lee-2 | 25 | 20,9 | 5,7 | $0,40 \pm 3,28$ | 0,758 | 3,24 |

n: número de sujetos; *: datos tomados de la referencia 12; †: diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$); r^2 : coeficiente de determinación; EEE: error estándar de estimación (kg).

TABLA 2. Comparabilidad en todo el rango de la distribución de los modelos antropométricos estudiados con el criterio de referencia. Prueba de Bland y Altman

| Método | r ² | Pendiente de regresión | Probabilidad |
|-----------------|----------------|------------------------|------------------------|
| Matiegka | 0,50 | 2,527 | 0,000 ³ |
| Drinkwater-Ross | 0,80 | 2,374 | 2,6 • 10 ⁻⁷ |
| Heymsfield | 0,29 | 0,743 | 0,006 |
| Drinkwater | 0,81 | 2,177 | 2,4 • 10 ⁻⁶ |
| Kerr | 0,50 | 1,470 | 0,0007 |
| Lee-1 | 0,54 | 1,785 | 0,0001 |
| Lee-2 | 0,27 | 1,047 | 0,008 |

Los valores estimados por los 7 modelos se correlacionaron significativamente con los disecados (tabla 1). Los más altos r² y los más bajos EEE correspondieron a las ecuaciones de Matiegka (r²=0,943; EEE=2,52 kg), Drinkwater y Ross (r²=0,939, EEE=2,83 kg) y Drinkwater (r²=0,923; EEE=3,18 kg).

El análisis de regresión para las diferencias entre los valores estimados y disecados con los obtenidos directamente (prueba de Bland y Altman) mostró coeficientes de correlación y pendientes de regresión estadísticamente significativos (p < 0,05) en todos los modelos antropométricos (tabla 2).

DISCUSIÓN

Pocas investigaciones han intentado validar las ecuaciones antropométricas existentes para estimar la MM humana.^{7,12-14,16,17} Algunos de los trabajos publicados han aplicado inadecuados procedimientos de validación^{12-14,17} o muestras extremadamente pequeñas y no representativas.^{16,17}

Al considerar la confiabilidad de un modelo antropométrico para estimar la composición corporal no es suficiente basarse exclusivamente en que las diferencias entre los valores promedio pertenecientes al método predictivo y la regla de oro no sean

estadísticamente significativas.¹⁸ Es por ello que también se tuvo en cuenta el r² y el EEE. De las 3 ecuaciones que no difirieron significativamente con el criterio de referencia (tabla 1), solo las de Drinkwater-Ross y la de Drinkwater alcanzaron altos r² y bajos EEE. El modelo de Lee-2 a pesar de no denotar diferencias de interés a nivel de los valores centrales, alcanzó un menor r².

Resulta curioso que los 2 modelos propuestos por Lee y otros, alcanzaron pobres resultados, pues ambos fueron validados satisfactoriamente por RNM, procedimiento que a su vez se considera regla de oro y que tiene una excelente correspondencia con los valores obtenidos por disección.⁵ Este hallazgo pone de manifiesto una vez más el carácter específico poblacional de las ecuaciones antropométricas.^{7,9,13,14,16}

La ecuación de Matiegka aunque subestimó significativamente la MM disecada, obtuvo el más bajo EEE, por lo que debe considerarse una de las más satisfactorias. Martin y otros¹⁶ informan un resultado análogo al aplicar dicho método a una muestra de 5 cadáveres del sexo masculino no embalsamados. Estos autores también encontraron que el modelo de Heymsfield subestima la MM en un mayor grado, hallazgo similar al nuestro si tenemos en cuenta que fue este método el que alcanzó los más pobres resultados (tabla 1).

La significación estadística del r^2 y la pendiente de regresión en la prueba de Bland y Altman (tabla 2) denotan que las diferencias entre los modelos predictivos y el criterio de referencia se hacen más marcadas hacia los extremos de la distribución. Ello implica que aun las mejores ecuaciones solo permiten cuantificar con exactitud la MM al estudiar grupos de sujetos y no individuos aislados.

Debe reconocerse que el presente estudio no está exento de limitaciones inherentes a la muestra utilizada, la cual no es representativa de todos los patrones de distribución muscular apreciados en el ser humano. La avanzada edad de los sujetos estudiados y el documentado exceso de tejido adiposo en muchos de ellos,¹⁰ implica que los hallazgos aquí expuestos deban ser extrapolados con cautela a individuos jóvenes, normopesos o deportistas. Por otro lado, el diseño de estudio empleado no permite dilucidar cuál de los métodos resulta más sensible al explorar los cambios en la MM provocados por determinadas intervenciones, un aspecto de suma utilidad al evaluar los

efectos sobre el tejido muscular de la desnutrición, el consumo de esteroides anabólicos, el entrenamiento físico, etc.¹⁹ Otros diseños experimentales en los que se utilicen avanzados métodos imagenológicos como la TAC y la RNM, podrían mostrar más luz sobre la validez de los modelos antropométricos para cuantificar la MM humana.

En conclusión, las ecuaciones propuestas por *Drinkwater* y *Ross*, así como la de *Drinkwater* seguidas por la de *Matiegka* resultaron las más confiables al aplicarlas a la muestra del Brussels Cadaver Study. Sin embargo, aún los mejores modelos solo funcionan adecuadamente al cuantificar la MM en grupos de sujetos, pero no en el individuo aislado.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincera gratitud al Sr. Francisco Holway, miembro de la International Society for the Advance of Kinanthropometry (ISAK), por los programas facilitados para el cálculo de la masa muscular.

SUMMARY

In an attempt to validate 7 of the 10 anthropometric equations used to estimate the muscular mass (MM, kg), data on body weight, stature, circumferences, skin folds, heights and MM dissected from 25 human cadavers subjected to complete dissection in the Brussels Cadaver Study were collected. With the anthropometric data the MM was estimated by the equations proposed by Matiegka (1921), Drinkwater and Ross (1980), Heymsfield et. al. (1982), Drinkwater (1985), Kerr (1988) and the 2 of Lee et. al. (2000) (Lee-1 and Lee-2). It was determined the difference, relationship and concordance between the MM estimated by each model and the dissected MM (reference criteria). The methods of Matiegka (1.64 ± 1.96 kg), Heymsfield (3.4 ± 4.77 kg) and Lee-1 (3.02 ± 2.88 kg) significantly differed ($p < 0.05$) from the reference criteria. The highest correlations (r^2) and the lowest standard estimation errors (SSE) corresponded to the formulas of Matiegka ($r^2 = 0.943$; SSE = 2.52 kg), Drinkwater and Ross ($r^2 = 0.939$; SSE = 2.83 kg) and Drinkwater ($r^2 = 0.923$; SSE = 3.18 kg). The divergencies between the values of dissected and estimated MM increased to the extremes of the distribution. It was concluded that the equations of Drinkwater and Ross (1980) and Drinkwater (1984) were the most adequate in spite of the fact that they only allow to make reliable estimations in groups of persons, but not in isolated individuals.

Subject headings: ANTHROPOMETRY; BODY COMPOSITIONS; DISSECTION/methods; CADAVER; AUTOPSY; BODY WEIGHTS AND MEASURES; MUSCLES/anatomy & histology; SPORTS MEDICINE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Hansen RD, Raha C, Allen BJ. Total body protein in chronic diseases and aging. *Ann N Y Acad Sci* 2000;904:345-52.
2. Visser M, Degg DJH, Lips P, Harris TB, Bouter LM. Skeletal muscle mass and muscle strength in relation to lower-extremity performance in older men and women. *J Am Geriatr Soc* 2000;48:381-6.
3. Anderson GS. Human morphology and temperature regulation. *Int J Biometeorol* 1999;43:99-109.
4. Mariani E, Ravaglia G, Forti P, Meneghetti A, Tarozzi A, Maioli F, et al. Vitamin D, thyroid hormones and muscle mass influence natural killer (NK) innate immunity in healthy nonagenarians and centenarians. *Clin Exp Immunol* 1999;116:19-27.
5. Mitsiopoulos N, Baumgartner RN, Heymsfield SB, Lyons W, Gallagher D, Ross R. Cadaver validation of skeletal muscle measurement by magnetic resonance imaging and computerized tomography. *J Appl Physiol* 1998;85:115-22.
6. Wang W, Wang Z, Faith MS, Kotler D, Shih R, Heymsfield SB. Regional skeletal muscle measurement: evaluation of a new dual-energy X-ray absorptiometry model. *J Appl Physiol* 1999;87:1163-71.
7. Lee RC, Wang Z, Heo M, Ross R, Janssen I, Heymsfield SB. Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr* 2000;72:796-803.
8. Fernández Vieitez JA, Álvarez Cuesta JA, William Wilson L. Áreas musculares del muslo y la pierna estimadas por antropometría y tomografía axial computadorizada en varones adultos. *Rev Cubana de Aliment Nutr* 2000;14:109-13.
9. Ross WD, Carr RV, Carter JEL. *Anthropometry illustrated*. Toronto: Turnpike Electronic Publications Inc., 1999; vol 1. (The human animal series) [Monografía en CD-ROM].
10. Clarys JP, Martin AD, Drunkwater DT. Gross tissue weights in the human body by cadaver dissection. *Human Biol* 1984;56:459-73.
11. Matiegka J. The testing of physical efficiency. *Am J Phys Anthropol* 1921;4:423-30.
12. Drinkwater DT, Ross WD. Anthropometric fractionation of body mass. En: Ostry M, Beunen G, Simons J, eds. *Kinanthropometry II*. Baltimore: University Park Press, 1980:178-89. (International Series of Sport Science).
13. Heymsfield SB, McManus C, Steven V, Smith J. Muscle mass: reliable indicator of protein energy malnutrition severity and outcome. *Am J Clin Nutr* 1982;35:1192-9.
14. Ross WD, Kerr DA. Fraccionamiento de la masa corporal: un noumètode per utilitzar en nutrició clínica i medicina esportiva. *Apunts* 1991;18:175-87.
15. Bland JM, Altman DG. Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986;8:307-10.
16. Martin AD, Spent LF, Drinkwater DT, Clarys JP. Anthropometric estimation of muscle mass in men. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:729-33.
17. Casajús JA, Aragonés MT. Aplicació als esportistes del fraccionament antropomètric del pes en 5 components (Mètode de Kerr). *Apunts* 1994;31:277-84.
18. Guo SS, Chumlea WC. Statistical methods for the development and testing of predictive equations. En: Roche AF, Heymsfield SB, Lohman TG, eds. *Human Body Composition*. Champaign: Human Kinetics, 1996:191-202.
19. Weiss LW, Coney HD, Clark FC. Gross measures of exercise-induced muscular hypertrophy. *J Orthop Sports Phys Ther* 2000;30:143-8.

Recibido: 23 de febrero del 2001. Aprobado: 30 de marzo del 2001.

Jorge Alberto Fernández Vieitez. Centro Provincial de Medicina del Deporte. Frexes 244 entre Máximo Gómez y Pepe Torres, Holguín, CP 80100, Cuba.