

Monograph

Evaluación de Tres Ecuaciones de Pliegues Cutáneos Utilizando BOD POD como Método de Referencia en Atletas Caucásicas

Lynn A Darby, Amy L Morgan, Jenny Fruth y David Tobar

School of Human Movement, Sport, and Leisure Studies, Bowling Green State University, Bowling Green, Ohio, Estados Unidos.

RESUMEN

El uso de ecuaciones confiables para determinar pliegues cutáneos (SF) en atletas universitarias permite a los profesionales dedicados a la fisiología del ejercicio, determinar, en un marco de campo, con exactitud y de manera sencilla los porcentajes de grasa corporal (% BF). Ha sido demostrado que el BOD POD[®] representa un método válido de medición de la composición corporal para atletas de sexo femenino cuando se compara con el pesaje hidrostático (UWW) y la absorciometría de rayos X de energía dual (DXA), pero no ha sido empleado como método de control para validar ecuaciones de regresión de pliegues cutáneos. El objetivo de esta investigación fue comparar el % de BF estimado por tres ecuaciones de regresión de pliegues cutáneos con el % BF determinado utilizando el BOD POD[®] en jugadoras de básquetbol, fútbol, softbol, natación, y voleibol. Se evaluaron setenta y cinco atletas universitarias (media \pm DS) [edad=19,3 \pm 1,2 años, talla=166,7 \pm 6,8 centímetro, masa corporal=68,5 \pm 9,4 kg]. El % BF de cada participante fue valorado mediante el BOD POD[®] y tres ecuaciones de pliegues cutáneos en base a medidas de pliegues cutáneos de tríceps, suprailíaco, abdomen, y muslo. Se observaron diferencias significativas entre todas las técnicas de composición corporal excepto en una comparación (BOD POD[®] vs. ecuación de pliegues cutáneos de la población general). Los tamaños del efecto fueron más significativos entre el BOD POD[®] y la ecuación de pliegues cutáneos para atletas femeninas basada en UWW, lo que sugeriría que esta ecuación de pliegues cutáneos subestima el % BF. Por lo tanto, las ecuaciones de pliegues cutáneos para la población general o las desarrolladas a partir del análisis DXA son las que mejor estiman el % BF de atletas universitarias cuando la medición de control es el % BF obtenido a través de BOD POD[®].

Palabras Clave: porcentaje de grasa corporal, composición corporal, absorciometría de rayos X de energía dual (DXA), pesaje hidrostático, densitometría

INTRODUCCION

La evaluación de la composición corporal es un importante indicador de aptitud y salud para los atletas (1). Usando las medidas de composición corporal es posible supervisar los cambios pre-temporada y post-temporada, y también realizar un seguimiento de la pérdida o del aumento de peso como indicadores de salud frágil o de desórdenes alimentarios (1, 2). El monitoreo de la grasa corporal es especialmente importante en atletas de sexo femenino, debido al mayor riesgo que

poseen las mismas de desarrollar la tríada de síntomas de las atletas femeninas (2, 3). En ellas, como resultado de las conductas ligadas a los desórdenes alimentarios pueden desarrollarse, amenorrea y osteoporosis a edad temprana. La identificación temprana de estos desórdenes potencialmente serios es crucial para un atleta para prevenir enfermedades o lesiones perjudiciales (2, 3).

Hay muchos métodos disponibles para medir la composición corporal. Los métodos más comunes para predecir el porcentaje (% BF) provienen de modelos de dos compartimentos que dividen al cuerpo en masa grasa (FM) y masa magra (FFM) (1).

El método óptimo para medir la composición corporal depende del fin que se busque y de las posibilidades prácticas para realizar las mediciones (4). En atletismo, los tests de estimación de % BF deben ser válidos, confiables y fácilmente accesibles para los preparadores físicos, entrenadores, o científicos relacionados al ejercicio con el fin de que puedan ser utilizados en muchos atletas en poco tiempo (5).

El pesaje hidrostático (debajo del agua) (UWW) ha sido considerado el "*gold standard*" "en la valoración de la composición corporal (6). Ha sido utilizado en numerosas investigaciones, ya sea comparándolo con otra metodología de medición de composición corporal o utilizándolo como un método de medición de control (7). A pesar de su uso extendido, el UWW tiene muchas limitaciones como por ejemplo que el equipamiento que requiere es caro, las mediciones insumen mucho tiempo (por ej., 30-60 minutos dependiendo de la medición del volumen residual), y es necesario sumergir la cabeza debajo del agua (6).

La absorciometría de rayos-X de energía dual (DXA) es otra de las metodologías utilizadas para el análisis de la composición corporal. La DXA ha sido considerada como una técnica que podría reemplazar potencialmente al UWW como "*gold standard*", debido a su capacidad para evaluar diferentes compartimentos corporales en comparación con el UWW que permite la medición de dos compartimentos (7, 8). También existen limitaciones para la utilización de este método entre las que se incluyen el elevado costo del equipo y de las evaluaciones y que solo se encuentra disponible en instituciones médicas. Además hay una falta de compatibilidad, entre las versiones disponibles de *hardware* y *software* del DXA para determinar el % BF (5, 9, 10).

La pletismografía de desplazamiento de aire es un nuevo método disponible para evaluar la composición corporal utilizando un producto disponible comercialmente, el BOD POD® (*Life Measurement, Inc., Concord, CA*). Este método es un modelo de dos compartimentos como el UWW, pero elimina muchas de las limitaciones asociadas con la evaluación a través del UWW, como por ej. sumergir la cabeza debajo del agua, el tiempo necesario para realizar el procedimiento (por ej., 5 min vs. 30-60 min), y requiere menos tiempo de entrenamiento para el técnico. Una de las mayores desventajas que posee el uso de este método es el elevado costo del equipamiento (~ \$30-40K), pero en general se considera un método ventajoso para ser utilizado en comparación con UWW y DXA (10).

El UWW, la DXA y la pletismografía de desplazamiento de aire son métodos exactos para valorar la composición corporal, pero no se encuentran disponibles habitualmente para realizar las evaluaciones en un marco de campo, debido al gran tamaño de los equipos y a que los mismos no son portátiles. La medición de los pliegues cutáneos es un método práctico y accesible para evaluar la composición corporal en un marco de campo. El uso de esta metodología también posee desventajas, lo cual incluye a la disponibilidad de diferentes tipos de calibres y la confiabilidad intra- e inter-mediciones (11). Las mediciones de los pliegues cutáneos proveen una buena estimación de la composición corporal cuando se utiliza en una ecuación adecuada para la población que se está evaluando (12, 13). Han sido previamente validados diferentes modelos de pliegues cutáneos empleando UWW y DXA como mediciones de control (1), pero hasta la fecha no hay ningún trabajo de investigación disponible que haya utilizado el BOD POD® como metodología de control.

Las ecuaciones de pliegues cutáneos confiables para las atletas universitarias permiten a los individuos tales como fisiólogos del ejercicio, preparadores físicos, y entrenadores estimar en un marco de campo, fácilmente y con exactitud el % BF de las jugadoras. La determinación exacta de la grasa corporal de las atletas femeninas posibilitará los controles pre- y post-temporada para supervisar aumentos o disminuciones en la grasa corporal. Hasta la fecha, el BOD POD® no ha sido utilizado como un método de referencia para validar las ecuaciones de regresión de pliegues cutáneos. Por lo tanto, el objetivo principal de esta investigación consistió en comparar el % BF estimado mediante tres ecuaciones de regresión de pliegues cutáneos previamente desarrolladas para atletas de sexo femenino con el % BF determinado mediante el BOD POD®.

MÉTODOS

Sujetos

En el estudio participaron 75 atletas universitarias de sexo femenino pertenecientes a la III División de la Asociación Atlética Universitaria Nacional (NCAA).

El criterio de inclusión de las participantes incluyó la participación en un deporte universitario femenino, y tener entre 18 y 24 años de edad. Las atletas fueron reclutadas a través del contacto con varios preparadores físicos de las universidades. Las participantes (n=75) practicaban básquetbol (n=17), fútbol (n=18), sóftbol (n=15), natación (n=17) y voleibol (n=8). Todas las participantes eran caucásicas y sus características se presentan en la Tabla 1. A cada participante se le proporcionó, antes de la fecha de la evaluación, una lista de condiciones que debía cumplir antes de realizar los tests (ej. no beber alcohol o cafeína, no consumir alimentos o realizar ejercicio 2 - 3 horas antes de los tests). Antes de que las participantes dieran su consentimiento informado por escrito, se les explicaron los procedimientos así como también los potenciales beneficios y riesgos. Se obtuvo la aprobación para realizar este estudio con seres humanos por parte del Comité de Revisión Institucional.

Procedimientos

BOD POD®

Al comienzo se calibró el volumen del BOD POD® en dos puntos utilizando un cilindro calibrado de 50 litros en una cámara vacía durante 20 segundos.

Además, se calibró la balanza electrónica por medio del sistema computarizado BOD POD®. Siguiendo lo establecido por Dempster y Aitkens (14), cada participante debía vestir su traje de baño y gorra de natación para comprimir el aire existente en el cabello. A continuación, las participantes debían orinar; y posteriormente a cada participante se les determinaron la talla (centímetro), a través de una balanza médica, y el peso (kg), mediante una balanza calibrada. Luego las participantes ingresaron a la cámara y permanecieron sentadas respirando normalmente durante 20 segundos. Éste fue el test inicial para determinar el volumen corporal. Al final del primer test, se realizó un segundo test para verificar la concordancia entre las mediciones. Entre los dos tests la puerta fue abierta y cerrada. Los datos fueron aceptados si las dos mediciones no diferían en más de 150 ml. Si las dos mediciones diferían en más de 150 ml, se realizaba un tercer test. El valor de la D_b (densidad corporal) fue convertido en % BF mediante la ecuación de Siri (15).

Dentro del sistema BOD POD® está incluido el valor estimado de la medición promedio del volumen de gas torácico. McCrory, Gomez, Bernauer y Mole (16) encontraron que, en promedio, el volumen de gas torácico estimado no difirió significativamente del volumen medido en hombres y mujeres de 18-56 años de edad. Debido a que el volumen de gas torácico promedio estimado no fue diferente del volumen de gas torácico medido en esta investigación, se utilizó el valor estimado. Sin embargo, es importante destacar que algunos autores han advertido que la falla en la determinación del volumen de gas torácico cuando se utiliza el software BOD POD® produciría una sobreestimación de la densidad corporal (D_b) (16). Todos los procedimientos de medición de % BF fueron realizados siguiendo las recomendaciones de los fabricantes del BOD POD® (*Life Measurement, Inc., Concord, CA*).

Medición de Pliegues Cutáneos

Los cuatro sitios de pliegues cutáneos (tríceps, abdomen, suprailíaco, muslo) fueron medidos en el lado derecho del cuerpo en orden rotativo, tres veces cada uno con una apreciación de 0,5 mm; para el análisis se utilizó el promedio de cada determinación (17). Cada pliegue cutáneo fue presionado firmemente con los dedos pulgar e índice y el calibre fue colocado en forma perpendicular al pliegue aproximadamente a un centímetro de los dedos pulgar e índice (18). La localización de los sitios de medición fue previamente descrita por Jackson y Pollock (18). Todas las mediciones de pliegues cutáneos fueron realizadas por un evaluador.

Los datos de las mediciones anteriores fueron utilizados en tres ecuaciones diferentes para pliegues cutáneos. En la primera y tercera ecuación de pliegues cutáneos, la densidad corporal (D_b) fue transformada a % BF mediante la ecuación de Siri (15). A continuación se presentan las diferentes tres ecuaciones de pliegues cutáneos empleadas en este estudio.

1. La primera ecuación utilizada (SF-UWW) fue desarrollada utilizando el UWW como método control y ha sido recomendada para atletas de sexo femenino (19, 20):

$$D_b = 1,0960950 - 0,0006952 (X) + 0,0000011 (X)^2 - 0,0000714 (\text{edad}).$$

Donde X es la suma de los pliegues cutáneos, del tríceps, abdomen, suprailíaco y del muslo expresados en mm.

2. La segunda ecuación utilizada (SF-DXA) fue desarrollada para atletas de sexo femenino utilizando la técnica DXA como método control (1):

$$FFM=8,51 + (0,809*\text{peso}) - (0,178*\text{pliegue cutáneo abdominal}) - (0,225*\text{pliegue cutáneo del muslo}).$$

3. La tercera ecuación utilizada (SF-Gen) fue desarrollada utilizando el UWW y su aplicación ha sido recomendada para mujeres entre 18 y 55 años de edad (19):

$$D_b=1,0994921 - 0,0009929 (X) + 0,0000023 (X)^2 - 0,0001392 (\text{edad}).$$

Donde X es la suma de los pliegues cutáneos de tríceps, muslo y suprailíaco, expresados en mm.

Para asegurar la exactitud en las mediciones de SF, se calcularon la validez asociada al operador y la confiabilidad intra-clase. La validez asociada al operador fue determinada comparando las mediciones de pliegues cutáneos obtenidas por un nuevo evaluador con las obtenidas por un individuo con más de 15 años de experiencia en la medición de pliegues cutáneos. En el mismo momento del día los dos evaluadores realizaron las mediciones en quince mujeres. En todos los casos el nuevo evaluador realizó las mediciones antes que el evaluador experimentado. Los coeficientes de validez entre los evaluadores para cada medición de pliegues cutáneos fueron superiores a $r=0,80$ lo que se recomienda con el objetivo de reemplazar al evaluador por el técnico experimentado (21): tríceps, $r=0,96$; suprailíaco, $r=0,94$; abdomen, $r=0,95$; muslo, $r=0,96$.

La confiabilidad intra-clase fue calculada para las tres pruebas en los cuatro sitios de medición de pliegues cutáneos, mediante el cálculo del cuadrado medio que representa la suma de las variaciones en la media y en el error (22). Esto se realizó con el fin de determinar la repetitividad o consistencia en la capacidad del evaluador para realizar las mediciones de los pliegues cutáneos. Todos las evaluaciones presentaron una alta correlación: tríceps, $r=0,99$; suprailíaco, $r=0,99$; abdomen, $r=0,99$; muslo, $r=0,99$.

El coeficiente de variación fue calculado para cada uno de los resultados de medición de pliegues cutáneos en cada sujeto, dividiendo la desviación estándar por la media y multiplicando por 100 (23).

El coeficiente de variación promedio para cada sitio reflejó una pequeña variación con respecto a la media para cada sujeto: tríceps=4,33%; suprailíaco=5,74%; abdomen=3,98%; muslo=3,41%.

Análisis Estadísticos

Antes de comenzar con la recolección de datos se evaluaron la validez asociada al operador y la confiabilidad intra-clase usando StatView para Macintosh (Abacus Concepts, Inc., Berkeley, CA) para asegurar que el investigador pudiera obtener datos reales y confiables en las mediciones de los pliegues cutáneos.

Los datos restantes fueron analizados mediante el *software* SPSS 14,0 para Windows (SPSS Inc., Chicago, IL). Para las cuatro técnicas de composición corporal se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. La variable dependiente fue el % BF estimado. En aquellos casos en que el test-F demostró que existían diferencias significativas, se realizaron comparaciones de a pares entre las medias de cada técnica mediante el test *post hoc* HSD de Tukey. El tamaño del efecto de las diferencias entre los valores medios fue calculado mediante el índice d de Cohen (24). Para predecir la estimación del % BF mediante BOD POD® se realizó un análisis de regresión lineal múltiple (MLR), y las variables de predicción incluyeron los tres valores de % BF estimados a través de los pliegues cutáneos. En todos los análisis estadísticos se consideró un alfa de $p<0,05$.

La potencia G fue utilizada para determinar cual era el tamaño de muestra necesario para realizar el estudio. Considerando los siguientes parámetros: Un tamaño del efecto grande igual a 0,80 (índice d de Cohen); un nivel de alfa de 0,05 y cuatro grupos, en nuestro estudio se estimó que para que la potencia del estudio fuera de 0,80, era necesario un tamaño de la muestra de 76 individuos (25).

RESULTADOS

El ANOVA de mediciones repetidas de una vía reveló que se había violado el supuesto de esfericidad basado en el Test de esfericidad de Mauchly. El método de Greenhouse-Geisser fue aplicado para corregir los grados de libertad con el objetivo

de determinar la significancia estadística del efecto dentro de los sujetos. En base al análisis estadístico, se observó un efecto significativo en las técnicas de composición corporal ($F_{(3,222)}=93,71$, $p<0,001$, $\eta^2=0,56$). Los resultados referentes a la composición corporal se presentan en la Tabla 2 (media \pm DS). η^2 (η^2) es la proporción de variación que se debe a la variable independiente y a la variación total (22).

Esto significa que el 56% de la variación total en el % BF puede atribuirse a las técnicas de composición corporal, y 44% de la variación total en el % BF se atribuye a otros factores (ej., genéticos, dieta, actividad física).

	Total (n = 75)
Edad (años)	19,3 \pm 1,2
Talla (cm)	166,7 \pm 6,8
Masa corporal (kg)	68,5 \pm 9,4
BMI (kg/m ²)	24,7 \pm 3,5

Tabla 1. Características generales de los sujetos expresadas como (Media \pm DS). BMI=Índice de masa corporal; DS=desviación estándar.

Metodología	Total (n=75)
SF-UWW	19,33 \pm 4,0
SF-DXA	23,03 \pm 3,50
SF-Gen	25,09 \pm 5,03
BOD POD®	24,39 \pm 6,42

Tabla 2. Resultados de las mediciones de porcentaje de grasa corporal (%BF) determinados mediante los diferentes métodos. Los resultados se expresan como (Media \pm DS). Se encontraron diferencias significativas entre todos los pares de comparaciones excepto entre SF-Gen vs. BOD POD donde no se encontró una diferencia estadísticamente significativa ($p<0,05$ [$F_{(3, 222)}=93,71$, $\eta^2=0,56$]). SF=Pliegues cutáneos; UWW=Pesaje hidrostático; DXA=Absorciometría de rayos X de energía dual; Gen=Generalizados.

El test *post hoc* HSD de Tukey reveló diferencias significativas entre todas las comparaciones de a pares, excepto entre el BOD POD® y SF-Gen. La magnitud de dichas diferencias (Índice d de Cohen) de BOD POD® versus las técnicas de pliegues cutáneos presentó valores que variaron de pequeños a grandes (Tabla 3). Cohen (24) define un efecto pequeño como igual a 0,2; un efecto moderado como igual a 0,5 y un efecto grande como igual a 0,8. Este análisis *post hoc* también mostró que se encontraron diferencias significativas en la estimación del % BF obtenido mediante las tres ecuaciones de pliegues cutáneos. Las magnitudes de estas diferencias variaron desde valores moderados a grandes y también se muestran en la Tabla 3.

	SF-DXA	SF-Gen	BOD POD®
SF-UWW	0,98*	1,27*	0,95*
SF-DXA	-----	0,48*	0,26*
SF-Gen	-----	-----	0,12

Tabla 3. Tamaños del efecto de las diferentes técnicas de pliegues cutáneos [Índice d de Cohen (23)]. * $p<0,05$; SF=Pliegues cutáneos; UWW=Pesaje hidrostático (19); DXA=Absorciometría de energía dual de rayos X ; Gen=Generalizado.

Debido a que la única diferencia entre las ecuaciones SF-UWW y SF-Gen para estimar el % BF eran los coeficientes de las ecuaciones, las dos estimaciones proporcionarían valores diferentes, pero altamente correlacionados (Tabla 4). Para tratar el problema de multicolinealidad, se realizaron dos regresiones lineales múltiples (MLR) para determinar cual de las tres estimaciones del % BF obtenidas a partir de los pliegues cutáneos podía predecir el valor del % BF estimado mediante BOD POD®. La primera regresión lineal múltiple (MLR) consideró a SF-UWW y SF-DXA como las variables de predicción, y

los resultados indicaron que había una variable de predicción significativa (SF-UWW), $r=0,819$, $r^2=0,671$, $R^2_{adj}=0,662$, $F_{(2,72)}=73,40$, $p<0,001$ Este modelo explica el 67,1% de la variación en la estimación del % BF del BOD POD®. La segunda MLR consideró a SF-Gen y SF-DXA como variables de predicción, y los resultados señalaron a (SF-Gen), como modelo para una predicción significativa, $r=0,814$, $r^2=0,662$, $r^2_{adj}=0,653$, $F_{(2,72)}=70,63$, $p<0,001$.

Este modelo explicó el 66,2% de la variación en la estimación del %BF mediante BOD POD®.

	SF-DXA	SF-Gen	BOD POD®
SF-UWW	0,849*	0,999*	0,817*
SF-DXA	-----	0,855*	0,727*
SF-Gen	-----	-----	0,811*

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson entre las diferentes técnicas de pliegues cutáneos. * $p<0,05$; SF=Pliegues cutáneos; UWW=Pesaje hidrostático (19); DXA=Absorciometría de energía dual de rayos-X (30); Gen=Generalizado (19).

DISCUSION

Porcentaje de Grasa Corporal Determinado mediante BOD POD® versus Porcentaje Determinado mediante Ecuaciones de Pliegues Cutáneos

El resultado más importante de esta investigación es que se observaron diferencias significativas en las estimaciones del %BF obtenidas con BOD POD® y las otras estimaciones, específicamente las obtenidas por las ecuaciones de regresión validadas para atletas femeninas que utilizaban la DXA y el UWW como métodos de control. Aunque las diferencias entre el BOD POD® y la ecuación de SF-DXA eran significativas desde el punto de vista estadístico, es improbable que estas diferencias hayan sido lo suficientemente grandes para sugerir una diferencia significativa, tal como lo indica el pequeño tamaño del efecto (Tablas 2 y 3). De cualquier manera la diferencia observada entre la ecuación de SF-UWW y todas las otras mediciones es importante, ya que los resultados indican que esta ecuación subestima el % BF en atletas femeninas.

Pueden sugerirse varias razones como potenciales explicaciones para las diferencias observadas entre SF-UWW y las otras medidas del % BF. Primero, en la presente investigación la muestra estaba completamente integrada por atletas de la División III, mientras que la ecuación de SF-UWW y la de SF-DXA fueron validadas en atletas de la División I.

Debido al nivel de competición, a las prácticas de entrenamiento, y a diferencias en las oportunidades para obtener becas deportivas, se sugiere que las atletas de la División I tendrían más músculo y menos grasa en el cuerpo que sus colegas de la División III, lo que potencialmente explicaría esta diferencia. Segundo, la ecuación de SF-UWW fue validada de manera cruzada en 1984, mientras que la ecuación de SF-DXA fue desarrollada en 2004. Uno podría argumentar que ha habido una transformación sustancial en la composición corporal de las atletas durante este período de 20 años, lo que probablemente torne a la ecuación SF-UWW menos precisa para las atletas de sexo femenino de la actualidad. También es posible que la ecuación de SF-UWW aporte la medida exacta, y que nuestras otras medidas sobrestimen el % BF. Sin embargo, esto es improbable ya que investigaciones previas han demostrado que el BOD POD® es comparable tanto a DXA (5, 9) como a UWW (9, 26, 27).

También es importante resaltar que no se encontraron diferencias entre en el % BF determinado entre BOD POD y la ecuación de SF-Gen, lo que indicaría que ambas metodologías son adecuadas para medir el % BF en atletas caucásicas de sexo femenino. Más aún, como se estableció anteriormente, mientras que se observó una diferencia significativa entre las mediciones de BOD POD® y SF-DXA, el tamaño del efecto indica que ésta no es una diferencia significativa, y que todas las mediciones de SF están fuertemente correlacionadas con las de BOD POD®.

Por lo tanto, se sugiere que, BOD POD®, SF-DXA, y SF-Gen son todos métodos apropiados para determinar el % BF en atletas caucásicas de sexo femenino. Debido a que todos son adecuados, la selección del método dependerá de factores como; el tiempo para realizar el test, el costo, mantenimiento del equipo, capacidad de adaptar a las personas con limitaciones, capacidad de monitorear los cambios que se producen en el tiempo, y facilidad de uso (9).

Comparación entre las Estimaciones del Porcentaje de Grasa Corporal Obtenidas por las Diferentes Ecuaciones

Cuando se compararon los % BF estimados por las ecuaciones de pliegues cutáneos, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre SF-UWW y SF-DXA, SF-UWW y SF-Gen, y SF-Gen y SF-DXA (Tabla 2). El análisis de los tamaños del efecto (Tabla 3) reveló que la diferencia entre la estimación de SF-UWW y los otros métodos basados en pliegues cutáneos (SF-DXA y SF-Gen) es significativa, mientras que la diferencia entre SF-DXA y SF-Gen tiene un efecto que va de pequeño a moderado. En esta investigación, si bien se observó que SF-DXA fue estadísticamente más baja que SF-Gen, la diferencia estuvo dentro del 2,1%. Aunque esta diferencia sea estadísticamente significativa, prácticamente puede no ser significativa, debido a que se encuentra dentro del orden del error estándar de la estimación (SEE) que se acepta cuando se trabaja con las ecuaciones de pliegues cutáneos aplicadas en este estudio (SEE: SF-UWW=3,8%, SF-DXA=1,1% y SF-Gen=3,7%). Esta pequeña diferencia también puede ser atribuida al error real de medición de aproximadamente 2-4 %BF que se produce cuando se utilizan ecuaciones de pliegues cutáneos (28). Tal como se discutiera previamente, las diferencias entre estas mediciones también pueden deberse al nivel de entrenamiento de las atletas evaluadas o a la época en la que se haya realizado la medición.

Además, las diferencias entre las estimaciones provenientes de los pliegues cutáneos pueden deberse al uso de diferentes criterios de medición y a los principios en los que éstos se basan. Los investigadores han informado que DXA y UWW están altamente correlacionados entre sí ($r=0,95$; $p<0,01$), pero el uso de diferentes modelos de compartimentalización podría contribuir a las diferencias observadas entre los métodos de pliegues cutáneos. En nuestro estudio esto se comprueba por las diferencias significativas observadas entre SF-DXA y SF-UWW, y entre SF-DXA y SF-Gen.

Muchos científicos piensan que la DXA podría reemplazar potencialmente al UWW como “*gold standard*” en las pruebas relacionadas a la determinación de la composición corporal, porque tiene en cuenta tres compartimentos del cuerpo (FM, FFM, y mineral óseo), mientras que el UWW sólo tiene en cuenta dos compartimentos (FM y FFM) (7, 8). Una de las principales diferencias entre los modelos de dos y tres compartimentos es que los modelos de tres compartimentos tienen en cuenta la variabilidad en la masa magra (FFM), mientras que los modelos de dos compartimentos asumen una densidad fija de FFM (15).

La determinación de la densidad mineral ósea (BMD) es una manera en la que la DXA considera la variabilidad en la FFM. Generalmente las atletas tienen una BMD típicamente más alta que las mujeres que no realizan actividad (1). Las diferencias en UWW y DXA cobran importancia cuando se evalúa una población de atletas cuya BMD puede alterarse a causa de la naturaleza específica de los deportes que practican (5). Los deportes como básquetbol y voleibol cargan más al hueso que los deportes como la natación. Creighton, Morgan, Boardley, y Brolinson (29) observaron que mujeres que participaban en deportes de alto o medio impacto, como el básquetbol, voleibol, fútbol y carreras de atletismo en pista, tenían mayores valores de BMD y de formación de hueso que mujeres que participaban en deportes sin impacto, como la natación. Duncan, Blimkie, y Kemp (30) observaron que mujeres que practicaban atletismo tenían una BMD sitio específica mayor que las mujeres nadadoras. En contraste con los resultados encontrados en este estudio, Hall, Houtkooper, y Myers (31) encontraron que el UWW subestimó el % BF en individuos delgados en comparación con la DXA ($p<0,05$). Ellos atribuyeron este resultado a la medición de la FFM (por ejemplo, BMD) que se apartaba de los supuestos del modelo de dos compartimentos utilizados en el UWW.

Comparaciones del Porcentaje de Grasa Corporal en Atletas de Sexo Femenino

Como se mencionó anteriormente, es importante tener precaución cuando se comparan los valores de porcentaje de grasa corporal (% BF) entre atletas, porque hay muchos niveles diferentes de competición y entrenamiento (28). Los valores de % BF observados en las atletas que integraban nuestra muestra están dentro o alrededor de los valores medios de grasa corporal informados para atletas de sexo femenino (1, 28). También es importante reconocer los intervalos de % BF saludables para las atletas femeninas. Si los métodos de referencia individuales, como el UWW, BOD POD®, o DXA están disponibles, entonces deben ser usados para estimar el % BF. Estos métodos producen un error más pequeño en la determinación de la composición corporal (1-2%) que el error que se produce con la técnica de medición de pliegues cutáneos (error 2-4%) (28). Si bien los métodos UWW, DXA y BOD POD® pueden medir el contenido de grasa corporal de manera más exacta que el método de los pliegues cutáneos, son métodos de laboratorio más caros y pueden no estar disponibles en muchas universidades para realizar las evaluaciones en los atletas (8, 26, 27). Por lo tanto, la accesibilidad y la facilidad de transporte de los calibres de pliegues cutáneos hacen que sean una importante herramienta de medición de la composición corporal y proporcionan buenas estimaciones cuando las mediciones de los pliegues son realizadas por un técnico especializado.

Este estudio tiene algunas limitaciones posibles.

Aunque se solicitó a todas las participantes que cumplieran con las instrucciones antes de las mediciones de los pliegues cutáneos y la evaluación con BOD POD®, es posible que algún participante realizara ejercicio o tuviera gas en el estómago o en el intestino, lo que podría influir en los resultados.

Todas las atletas evaluadas eran caucásicas, lo que limitaría la generalización los resultados de este estudio hacia otras razas.

Futuras Investigaciones

Si bien McCrory, Gómez, Bernauer, y Mole (32) sugieren que el uso de volúmenes pulmonares estimados en lugar de medir directamente los volúmenes pulmonares torácicos, es un procedimiento de medición válido para el BOD POD®, el uso de esta estimación podría ser una limitación. En este estudio no se midió el volumen pulmonar torácico debido al costo que significaba realizar dicha medición en un número tan elevado de participantes. Investigaciones futuras podrían realizar las evaluaciones determinando directamente el volumen pulmonar torácico de las atletas femeninas al usar BOD POD® para determinar el % BF.

Debido a que en este estudio los procedimientos de evaluación se realizaron en atletas universitarias que pertenecían a la División III de la NCAA, no fue posible conseguir atletas que integraran una gran variedad de deportes para realizar las evaluaciones.

Warner et al. (1) realizaron un estudio con atletas de la División I de la NCAA, donde consideraron muchos deportes y reunieron 101 atletas para desarrollar un modelo de pliegues cutáneos utilizando DXA como método control. Además de los deportes considerados en nuestro estudio, se incluyeron deportes como remo, campo a través, atletismo, hockey sobre césped, patinaje sobre hielo y hockey sobre hielo. Por consiguiente, deberían llevarse a cabo investigaciones adicionales que consideren a atletas de una mayor variedad de deportes.

Finalmente, debido a que los valores de % BF obtenidos utilizando la ecuación de SF-UWW eran menores que los encontrados con los otros métodos, es importante realizar la valoración con esta ecuación en una muestra más grande. Realizar comparaciones entre atletas de todas las Divisiones de NCAA ayudaría a despejar la duda de si esta ecuación todavía es apropiada para todas las atletas de sexo femenino.

Conclusiones

En conclusión, el % BF determinado a partir de dos de las tres ecuaciones de pliegues cutáneos utilizadas en este estudio fueron comparables con el método de medición utilizado como control, BOD POD®. La ecuación de pliegues cutáneos que utilizaba el UWW como método de referencia arrojó un valor de % BF significativamente más bajo que las otras ecuaciones.

Debido a que el BOD POD® no está fácilmente disponible para realizar evaluaciones en todas las dependencias deportivas, es correcto utilizar las ecuaciones de pliegues cutáneos SF-DXA o SF-Gen para estimar el porcentaje de grasa corporal en atletas caucásicas de sexo femenino.

Agradecimientos

Un especial agradecimiento a los entrenadores y a las atletas por su ayuda y participación en este estudio.

También, deseamos agradecer a Scott Swanson, Ph.D., de Ohio Northern University, Ada, OH, Estados Unidos.

REFERENCIAS

1. Warner E., Fornetti W., Jallo J., & Pivarnik J (2004). A skinfold model to predict fat-free mass in female athletes. *J Athl Train* 39(3):259-262
2. Fornetti W., Pivarnik J., Foley J., & Fiechtner J (1999). Reliability and validity of body composition measures in female athletes. *J Appl Physiol* 87(3):1114-1122
3. Beals K. A. & Meyer N. L (2007). Female athlete triad update. *Clin Sports Med* 26:69-89
4. Keys A. & Brozek J (1953). Body fat in adult man. *Rev* 33(3):245-289
5. Ballard T., Fafara L., & Vukovich M (2003). Comparison of BOD POD® and DXA in female collegiate athletes. *Med Sci Sports Exerc* 36(4):731-735
6. American College of Sports Medicine (2005). ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription. (7th Ed.). New York, NY: Lippincott, Williams & Wilkins
7. Fogelholm M. & Lichtenbelt W (1997). Comparison of body composition methods: A literature analysis. *Eur J Clin Nutr* 51: 495-503
8. Fields D., Goran M. & McCrory M (2002). Body-composition assessment via air-displacement plethysmography in adults and children: A review. *Am J Clin Nutr* 75:453-467

9. Wagner D. & Heyward V (1999). Techniques of body composition assessment: A review of laboratory and field methods. *Res Q Exerc Sport* 70(2):135-149
10. Brodie D., Moscrip V & Hutcheon R (1998). Body composition measurement: a review of hydrodensitometry, anthropometry, and impedance methods. *Nutrition* 14:296-310
11. Plowman S. & Smith D (1997). Exercise Physiology for Health, Fitness and Performance. *Needham Heights: Allyn and Bacon*
12. Kohrt W (1998). Preliminary evidence that DEXA provides an accurate assessment of body composition. *J Appl Physiol* 84(1): 372-377
13. Wilmore J. & Costill D (2004). Physiology of Sport and Exercise. (3rd Ed). *Champaign: Human Kinetics*
14. Dempster P. & Aitkens S (1995). A new air displacement method for the determination of human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 27(12):1692-1697
15. Siri W (1961). Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. In J. Brozek and A. Henschel. (Eds.). *Techniques for Measuring Body Composition (223-234)*. Washington, DC: National Academy of Sciences/National Research Council
16. McCrory M., Mole P., Gomez T., Dewey K. & Bernauer E (1998). Body composition by air-displacement plethysmography by using predicted and measured thoracic gas volumes. *J Appl Physiol* 84(4):1475-1479
17. Martorell R., Mendoza F., Mueller W. & Pawson I (1988). Which side to measure: right or left? (87-91). In T. Lohman, A. Roche & R. Martorell. (Eds.), *Anthropometric Standardization Reference Manual Champaign: Human Kinetics Books*
18. Jackson A. & Pollock M (1985). Practical assessment of body composition. *Phys Sports Med* 13(5):76-90
19. Jackson A., Pollock M., & Ward A (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 12:175-182
20. Sinning W. & Wilson J (1984). Validity of [generalized] equations for body composition analysis in women athletes. *Res Q Exerc Sport* 55(2):153-160
21. Safrit M (1986). Introduction to Measurement in Physical Education and Exercise Science. *St. Louis: Times Mirror/Mosby College Publishing*
22. Vincent W (1995). Statistics in Kinesiology. (3rd Ed). *Champaign: Human Kinetics*
23. Duffy M. & Jacobsen B (2001). Univariate descriptive statistics. In Munro, B. (Eds.), *Statistical Methods for Healthcare Research (29-62)*. Chestnut Hill: Lippincott, Williams & Wilkins
24. Cohen J (1987). Statistical power analysis for the behavioral sciences. *Hillsdale: Lawrence Erlbaum Assoc*
25. Erdfelder E., Faul F. & Buchner A (1996). GPOWER: A general power analysis program. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers* 28:1-11
26. Utter A., Goss F., Swan P., Harris G., Robertson R., & Trone G (2003). Evaluation of air displacement for assessing body composition of collegiate wrestlers. *Med Sci Sports Exerc* 35(3):500-505
27. Vescovi J., Zimmerman S., Miller W., Hildebrandt L., Hammer R., & Fernhall B (2001). Evaluation of the BOD POD® for estimating percentage body fat in a heterogeneous group of adult humans. *Eur J Appl Physiol* 85:326-332
28. Heyward V. & Wagner D (2004). Body composition and athletes. In V. Heyward & D. Wagner. (Eds.), *In Applied Body Composition Assessment (159-172)*. Champaign: Human Kinetics
29. Creighton D., Morgan A., Boardley D., & Brolinson P. G (2001). Weight-bearing exercise and markers of bone turnover in female athletes. *J Appl Physiol* 90(2):565-570
30. Duncan C., Blimkie C. & Kemp A (2002). Mid-femur geometry and biomechanical properties in 15- to 18-yr-old female athletes. *Med Sci Sports Exerc* 34:673-681
31. Hall M., Houtkooper L., & Myers B (1992). Estimation of body composition in lean females by dual-energy x-ray absorptiometry and underwater weighing. *Med Sci Sports Exerc* 24:S58
32. McCrory M., Gomez T., Bernauer E., & Mole P (1995). Evaluation of a new air displacement plethysmograph for measuring human body composition. *Med Sci Sports Exerc* 27(12):1686-1691

Cita Original

Fruth J, Morgan A, Darby L, Tobar D. Evaluación de Tres Ecuaciones de Pliegues Cutáneos Utilizando BOD POD Como Método de Referencia en Atletas Caucásicas. PubliCE (<http://www.sobrentrenamiento.com/PubliCE/Home.asp>). 12/11/08. Pid: 1053.