



universidad
de león



TRABAJO DE FIN DE GRADO EN CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Curso Académico 2014/2015

Repetitividad y reproducibilidad de los instrumentos de medida de
composición corporal

Repeatability and reproducibility of instruments for measuring body
composition

Autor/a: Gonzalo Montes Rodríguez

Tutor/a: José Antonio de Paz Fernández

Fecha:

VºBº TUTOR/A

VºBº AUTOR/A

Índice

1. Objetivos y competencias a desarrollar por el alumno.....	4
2. Introducción.....	5
• Conceptos clave	
• Modelos de composición corporal	
• Métodos de referencia para la evaluación de la composición corporal	
3. Objetivo.....	11
4. Diseño.....	12
5. Metodología.....	12
6. Resultados.....	15
7. Discusión.....	17
8. Conclusión.....	21
9. Valoración personal.....	22
10. Referencias bibliográficas.....	22

Resumen:

En el siguiente estudio pretendemos analizar la repetitividad y reproducibilidad de los diferentes métodos de medida de composición corporal. En este estudio se ha trabajado con el método antropométrico, bioimpedancia y Radioabsorciometría de rayos X, tomando este último como el método de referencia para comparar con los demás al ser este último el más fiable. Para realizar el estudio se utilizaron los datos obtenidos de 25 estudiantes del grado de Ciencias de la Actividad Física y Deporte de la Universidad de León, cuyas edades estaban comprendidas entre los 20 y 31 años. Los resultados en la masa grasa corporal mostraron una diferencia significativa de 0,05 entre el método antropométrico utilizando los pliegues cutáneos en comparación con el DXA. La bioimpedancia no mostró diferencias significativas. Por tanto la reproducibilidad de la grasa corporal fue baja. La repetitividad de ambos métodos, antropométrico y bioimpedancia, fue alta en valores absolutos, sin embargo en valores porcentuales se encontraron variaciones en el porcentaje magro en la bioimpedancia y en el porcentaje óseo en el método antropométrico, por tanto en dichas variables la repetitividad es baja.

Palabras clave: Repetitividad, reproducibilidad, composición corporal.

Abstract:

In the following study we analyze the repeatability and reproducibility of the various methods of measuring body composition. In this study we have worked with the anthropometric method , bioimpedance and Radioabsorciometría X-ray , taking the latter as the reference method to compare with the other being the latter the most reliable. For the study data from 25 students of the degree of Sciences of Physical Activity and Sport at the University of Leon, whose ages were between 20 and 31 years were used. The results in body fat mass showed a significant difference of 0.05 between the anthropometric method using skin fold compared with DXA . Bioimpedance showed no significant differences. Therefore the reproducibility of body fat was low. The repeatability of the two methods , anthropometric and bioimpedance , was high in absolute terms , but in percentages changes in bioimpedance lean percentage and bone percentage in the anthropometric method were found, both these variables is low repeatability .

Key words: Repeatability , reproducibility , body composition.

1. Objetivos y competencias a desarrollar por el alumno

El presente Trabajo de Fin de Grado tiene por objeto el realizar un estudio que permita conocer la repetitividad y la reproducibilidad de los métodos más conocidos y utilizados en el análisis de la composición corporal como son la antropometría, la bioimpedancia y el DXA. La composición corporal es un factor muy importante en varios de los aspectos en las cuales, la presente titulación cursada, que es el Grado en Ciencias de la Actividad Física y Deporte, tiene salidas profesionales, como es el ámbito del deporte competitivo, donde la composición corporal juega un papel importante como factor de rendimiento, y en el ámbito de la salud, como factor de la misma en la prevención de enfermedades primarias o secundarias relacionadas con esta: Obesidad, Sarcopenia, Osteoporosis, etc.

Los objetivos generales a desarrollar por el alumno durante el desarrollo del TFG son:

- Utilizar los contenidos desarrollados durante el Grado para desarrollar el trabajo de forma eficaz.
- Ser capaz de desarrollar la defensa del trabajo frente a un tribunal.
- Ser capaz de interpretar los resultados.
- Ser capaz de establecer conclusiones y discusiones a través de los resultados obtenidos durante el trabajo.

El alumno deberá desarrollar una serie de objetivos específicos relacionados con el presente trabajo:

- Comprender y aprender a utilizar los diferentes métodos de análisis de la composición corporal.
- Saber apreciar cuál de estos métodos es el mejor y las limitaciones y fortalezas que este pueda tener realizando un análisis de campo.
- Manejar y utilizar diferentes programas informáticos para realizar de manera eficaz estudios de estas características.

Asimismo, el alumno debe adquirir una serie de competencias gracias a la elaboración del Trabajo de Fin de Grado. Las más importantes:

- Adquirir la madurez académica que le permita acceder a estudios superiores.
- Aprender a utilizar y emplear de manera óptima las bases de datos bibliográficas que le permitan acceder a la información científica.
- Ser capaz de utilizar diferentes idiomas para incrementar sus conocimientos de su ámbito profesional.

- Ser capaz de elaborar un trabajo científico al nivel de los estudios cursados durante el grado.

2. Introducción

Conceptos clave:

Repetitividad: Precisión obtenida bajo las mismas condiciones de operación en un intervalo corto de tiempo (mismo día), por un mismo analista, en la misma muestra homogénea y en el mismo equipo.

Reproducibilidad: Capacidad que tiene un método de ser reproducido o replicado.

Modelos de composición corporal

El cuerpo humano está compuesto fundamentalmente por agua, proteínas, minerales y lípidos. El modelo de composición corporal de dos componentes (Brozek, Grande, Anderson y Keys, 1963; Siri, 1961) distingue dos componentes en el organismo: Un componente adiposo y otro componente de cuerpo libre de grasa. El cuerpo libre de grasa contiene todos los tejidos remanentes formados por agua, músculo y hueso. Este modelo de dos componentes sirvió para la creación de la hidrodensitometría (peso debajo del agua) que consistía en emplear las proporciones aceptadas para el agua, minerales y las proteínas y sus densidades respectivas en ecuaciones para convertir las densidades corporales del individuo obtenida con el peso hidrostático en una proporción relativa de grasa corporal (%GC). Sin embargo este método no puede garantizar que la composición del cuerpo libre de grasa de un individuo perteneciente a un subgrupo específico de la población concuerde con los valores de referencia. Por tanto aceptamos que no es un método válido por la inexactitud.

Para paliar las posibles deficiencias que este modelo presentaba, existen modelos multicomponentes que permiten medir con más exactitud la composición corporal de las personas. Podemos distinguir el modelo de 3 componentes que distingue entre agua, grasa y sólidos o masa seca libre de grasa. Sin embargo este aun presentaba posibles errores en la medición en individuos que tengan una pobre densidad ósea o poca masa muscular, con lo cual la medición de la grasa sería incorrecta a causa de los fallos citados anteriormente.

El modelo de 4 componentes presenta una mayor división que los citados anteriormente y por tanto una mayor exactitud. Diferencia claramente la masa grasa y la masa libre de grasa, sin embargo esta última la divide en tres subgrupos: masa celular corporal, líquido extracelular y sólidos extracelulares.

Por otra parte encontramos modelos multicomponentes de hasta 5 componentes, que actualmente se ha convertido en el modelo estándar para la evaluación de la composición corporal, ordenándolos en 5 niveles en este orden: atómico, molecular, celular, sistemas, cuerpo completo.

En el presente estudio nosotros utilizaremos el modelo de 3 componentes.

Métodos de referencia para la evaluación de la composición corporal.

En los métodos densitométricos se calcula la densidad total a partir de la relación entre la masa corporal y el volumen corporal. ($DC = MC/VC$). A continuación se detallarán en qué consisten algunos de estos métodos.

Hidrodensitometría: La hidrodensitometría es un método fiable y usado para medir la densidad corporal. Utiliza el principio de Arquímedes para calcular la densidad corporal en función del volumen de agua desplazado por el cuerpo tras sumergirse en el agua. Se calcula la densidad corporal dividiendo la masa corporal por el volumen corporal. Cuando hablamos de densidad corporal nos estamos refiriendo a la cantidad de músculo, agua, hueso y lípidos del organismo.

Pletismografía por desplazamiento de aire: Es un método que se usa para medir el volumen y la densidad corporal a través del desplazamiento de aire. Esta técnica no exige una excesiva habilidad técnica para su realización, además de ser un procedimiento rápido, que dura entre 5 y 10 minutos. El método requiere un pletismógrafo de cuerpo entero y una cámara de vidrio grande de forma ovoide que usa el desplazamiento de aire y las relaciones entre la presión y el volumen para medir el volumen corporal. El volumen corporal se calcula como la diferencia entre el volumen de la cámara con del sujeto y sin él. Este método se basa en la relación entre la presión y el volumen, aplicando la ley de Boyle: $P_1/P_2 = V_2/V_1$.

Para realizar esta prueba los sujetos se evalúan con el mínimo de ropa posible y un gorro de baño para comprimir el cabello. Se aplica una estimación de la superficie corporal obtenida a partir de la altura y el peso para corregir los efectos isotérmicos en la superficie del organismo. El volumen de los gases torácicos, es decir, el volumen de aire en los pulmones se mide de forma directa.

Antropometría

Dentro de la antropometría, para hallar la composición corporal de un sujeto se deben realizar varias mediciones previas para obtener los 3 componentes que este método proporciona que son la grasa corporal, la masa muscular y la masa ósea. Para hallar estos

componentes, se utiliza los pliegues cutáneos, la toma de perímetros y la toma de diámetros respectivamente.

Pliegues cutáneos: Este procedimiento mide en forma indirecta el espesor del tejido adiposo subcutáneo. Este procedimiento mide con precisión la grasa subcutánea, obteniendo valores similares a los obtenidos por medio de la resonancia magnética. Además, existe una relación entre la grasa subcutánea y la grasa corporal total, con lo que con el sumatorio de varios pliegues podemos calcular la masa grasa corporal en su totalidad.

Se ha observado una relación entre la sumatorio del pliegue cutáneo y densidad corporal. Esta relación es lineal en las muestras homogéneas, pero no es lo es cuando se considera una amplia variedad de densidades corporales de hombres y mujeres.

Las ecuaciones existentes para el cálculo de los pliegues cutáneos se elaboraron con modelos de regresión lineales o cuadráticos. Existen más de 100 ecuaciones específicas para la población que estiman la densidad corporal a partir de varias combinaciones de pliegues cutáneos, circunferencias y diámetros (Jackson y Pollock, 1985). Estas ecuaciones se formularon para poblaciones relativamente homogéneas y solo se consideran válidas para individuos de semejantes características. Es decir, no podemos aplicar una aplicar una misma ecuación para personas que tienen diferentes edades, sexos, o un nivel de actividad física diferente. Las ecuaciones específicas para una población tienden a tener errores en el porcentaje de grasa corporal de los sujetos, subestimando este porcentaje en los más obesos y sobrestimándolo en los más delgados.

Las ecuaciones generalizadas, aplicando el modelo cuadrático, se pueden aplicar a personas de edades muy diferentes y con distintos porcentajes de grasa corporal. Además tienen en cuenta el factor de la edad entre la distribución de la grasa subcutánea y la interna. Con estas ecuaciones, es posible usar una sola ecuación para calcular con precisión el porcentaje de grasa corporal.

Pese a que existen infinidad de ecuaciones para estimar la composición corporal, el GREC, en su documento “Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico deportivo. Documento de Consenso del Grupo Español de Cineantropometría de la Federación Española de Medicina del Deporte. (2010)” estableció una serie de ecuaciones de referencia para hallar la composición corporal mediante la antropometría.

Grupo de edad	Masa grasa	Masa ósea	Masa muscular
8-15 años	Slaughter	Rocha	Poortmans
13-18 años			
19-30 años	Durmin- Womersley	Martin	Lee
31-55 años			
56-65 años			
+65 años	Faulkner, Carter, Jackson & Pollock y Whiters	Rocha	
Deportistas			
Obesos	Weltmann	Rocha o Martin	

Las más conocidas y utilizadas en el mundo del deporte, además de la de Yuhasz, Rocha y Lee que utilizaremos en este estudio, y que aparecerán desglosadas más adelante, son las siguientes:

Faulkner (chicos): % Peso Graso = 0,153(PI Tri + PI Sub + PI Sesp + PI Abd) + 5,783*

Carter (chicos): % Peso Graso = 0,1051 (PI Tri + PI Sub + PI Sesp + PI Abd + PI MA + PI PM) + 2,58*

Jackson y Pollock: DC = 1,112 – 0,00043499 (∑ 7 pliegues) + 0,00000055*(∑ 7 pliegues)2- 0,0028826*(E)*

Siri (Calcula el porcentaje de grasa en función de la densidad corporal):

% Masa Grasa = (495/DC) - 450

PI Tri: Pliegue tricípital; PI Sub: Pliegue subescapular; PI Sesp: Pliegue supraespinal; PI Abd: Pliegue abdominal; PI MA: Pliegue medio muslo anterior; PI PM: Pliegue pierna medial; ∑ 7 pliegues: Tricípital, subescapular, supraespinal, ileocrestal, abdominal, muslo anterior, pectoral, axilar medio; E: Edad en años; DC: Densidad corporal

Es recomendable utilizar el pliegue cutáneo de varias zonas del cuerpo, para evitar errores, ya que la distribución de la grasa corporal en algunos individuos puede ser diferente.

El desarrollo de habilidad para medir el pliegue cutáneo requiere de práctica y mucho tiempo, por tanto un experto en la técnica del pliegue cutáneo presentara mayor fiabilidad que una persona que acaba de iniciarse. Dependiendo del lugar donde se tome el pliegue

cutáneo, estos presentaran más porcentaje de error siendo los más frecuentes en el abdomen y el muslo.

La toma de los pliegues debe realizarse en el lado derecho del cuerpo. El plicómetro debe elevarse un centímetro por encima del sitio donde se va a realizar la medición. El pliegue debe mantenerse elevado mientras se realiza la medición y poco a poco ir liberando la presión ejercida en las ramas. Tras 4 segundos de haber liberado la presión, tomar la medición del pliegue cutáneo. El American College of Sports Medicine recomienda esperar solo 1 o 2 segundos antes de leer el registro del plicómetro.

Se establecen una serie de recomendaciones para los técnicos en medición del pliegue cutáneo.

Se recomiendan obtener por lo menos dos medidas por pliegue cutáneo. El ACSM recomienda por lo menos la obtención de por lo menos dos mediciones en un sitio separadas por no más de 1 o 2 mm.

Los plicómetros de plástico no son tan precisos como los plicómetros de metal, ya que no ejercen una presión constante en todo el intervalo de medición.

Las mediciones del pliegue cutáneo también se pueden modificar dependiendo del nivel de hidratación del sujeto y la compresibilidad del tejido adiposo. La acumulación de líquido extracelular en el tejido subcutáneo puede aumentar el espesor del pliegue (Keys y Brozek, 1953).

El *Anthropometric Standardization Reference Manual* (Lohman, Roche, y Martorell, 1988) establecen que la toma de los pliegues cutáneos debe realizarse en el lado derecho. Así se realiza en los Estados Unidos, Europa y en todos los países de desarrollo.

Sin embargo la toma de pliegues cutáneos no es muy adecuada para calcular el porcentaje de masa grasa en individuos obesos, ya que se encuentran numerosas dificultades a la hora de tomar los pliegues.

Impedancia bioeléctrica:

Este método se considera rápido, no invasivo y relativamente económico y permite evaluar la composición corporal en situaciones de campo.

El procedimiento consiste en pasar una corriente eléctrica de bajo nivel a través del cuerpo y medir la impedancia. La impedancia la denominamos como la oposición al flujo de corriente. El fundamento de esto es que los electrolitos del agua corporal son excelentes conductores

de la electricidad, luego cuanto mayor sea el volumen de agua corporal mejor fluirá la corriente, ya que encontrará menos resistencia. Esta resistencia es mayor en individuos que presentan un alto porcentaje de grasa corporal, ya que el tejido adiposo tiene un escaso contenido de agua y por tanto es un mal conductor de la electricidad, luego a partir de la dificultad encontrada por el flujo de corriente en el cuerpo se puede realizar una estimación de la masa libre de grasa, ya que el contenido corporal de agua es bastante grande, alrededor del 73%.

Este método se puede utilizar a causa de las dimensiones y formas del cuerpo humano. Este tiene forma de cilindro perfecto y superficie transversal uniformes, aunque se ha visto como esta afirmación no es completamente cierta. Si consideramos la afirmación como cierta, que el cuerpo es un cilindro perfecto, el flujo de corriente que atraviesa el cuerpo se relaciona en forma directa con la longitud del conductor, que en este caso sería la altura y en forma inversa con la superficie transversal.

Los tejidos biológicos actúan como conductores o aisladores y el flujo de corriente que atraviesa el cuerpo sigue la vía de menor resistencia. La masa libre de grasa, que es la que contiene gran cantidad de agua y de electrolitos, es la mejor conductora mientras que la grasa, que es hidrofóbica, no conduce la corriente eléctrica. La impedancia del cuerpo es medida a una frecuencia constante de 50 kHz, refleja el volumen de los compartimentos de agua, musculo y demás componentes que componen la masa libre de grasa y el volumen de líquido extracelular.

Aunque la precisión la impedancia bioeléctrica sea la misma a del método de medición de pliegues cutáneos, es preferible realizarla por las siguientes razones: No requiere un alto grado de destreza técnica, es más cómodo y no invade la privacidad del sujeto, además de que se puede usar en individuos obesos, al contrario que la medición de pliegues cutáneos que se mostraba muy imprecisa en este apartado.

La precisión de la impedancia bioeléctrica depende del control que se haga de los factores que puede alterar la medición de la misma. Para que la impedancia bioeléctrica sea lo más precisa posible, es necesario controlar una serie de factores:

- No comer ni beber desde 4 horas antes la prueba.
- No realizar ejercicio ni moderado ni intenso desde 12 horas antes de la prueba.
- Vaciar por completo la vejiga dentro de un periodo de 30 minutos antes de la prueba.
- No consumir alcohol desde 48 horas antes de la prueba.
- No ingerir diuréticos ni cafeína antes de la prueba excepto por prescripción médica.

- Si el sujeto es femenino y se encuentra en estado menstrual, no se debe realizar la prueba ya que en este ciclo se retienen líquidos.

El factor que más puede afectar al resultado de la prueba es el nivel de hidratación. Se estima que puede producir errores entre un 3,1 y 3,9 %. Todo ello puede venir de actividades normales de la vida cotidiana pero que en el momento de la prueba se deben tener controlados como es la alimentación, las bebidas consumidas, y el ejercicio físico. Kushner, Gudivaka y Schoeller (1993) sostienen que los alimentos y las bebidas apenas alteran la impedancia dentro de la primera hora de consumo pero es probable que si la disminuyan a las 2 o 4 horas. Todo ello hace que se puede llegar a sobrestimar la masa libre de grasa. En cambio con la deshidratación ocurre el fenómeno contrario, generando un error de subestimación en la masa libre de grasa de hasta valores de 5 kg (Lukaski, 1986).

Radioabsorciometría de doble energía (DXA):

Este procedimiento permite estimar los minerales óseos, la grasa y la masa de los tejidos blandos magros. El principio básico de este procedimiento se basa en la atenuación de los rayos X con energía de fotones alta y baja que depende del espesor, la densidad y la composición química del tejido subyacente. Esta atenuación varía debido a diferencias en las densidades y las composiciones químicas. Resulta difícil evaluar la validez de estos métodos porque los tres fabricantes de estos instrumentos de medición corporal han creado sus propios modelos y soportes informáticos. Se ha solicitado una estandarización entre los distintos fabricantes para una mayor validez del método. Estas diferencias pueden variar del 1% al 3%.

Los resultados de la prueba del DXA dependen de algunos factores:

Como se mencionó anteriormente, las variaciones entre los distintos fabricantes pueden alterar levemente el resultado de la prueba. Esto es debido a diferentes factores causados por la tecnología aplicada para la medición como pueden ser diferentes generaciones de haces de energía alta y baja, geometrías de la imagen, detectores de rayos X, métodos de calibración y algoritmos.

3. Objetivos

Objetivo general: En la medición antropométrica, comparar la repetitividad de la bioimpedancia y el método antropométrico, así como la concordancia de la determinación de los principales aspectos cinenatropométricos con la DXA.

Objetivos específicos:

- Medir la repetitividad de los resultados de la bioimpedancia
- Medir la repetitividad de las medidas y resultados cineantropométricos.
- Analizar la concordancia de los resultados entre los métodos de estudio.

4. Diseño

La muestra estaba compuesta por 25 estudiantes de Ciencias de la Actividad Física y Deporte, todos varones, de edades comprendidas entre 20 y 31 años de la Universidad de León. La mayoría de los sujetos tenían un estilo de vida activo.

Para hallar su composición corporal, se utilizaron 3 métodos diferentes: Bioimpedancia, toma de pliegues cutáneos y radioabsorciometría de doble energía (DXA). La bioimpedancia fue realizada dos veces y la toma de pliegues fue realizada dos veces también mientras que el DXA fue realizado tan solo una vez.

5. Metodología

Se tomó la estatura antes de realizar las pruebas de composición corporal. La estatura fue tomada con una cinta métrica marca SECA.

Bioimpedancia

Para realizar la bioimpedancia hemos utilizado el analizador de composición corporal InBody230 que consta de una plataforma mecánica y se complementaba utilizando el software InBody para recoger los resultados. Este aparato realiza una medición segmental directa y utiliza varias frecuencias, desde 20 kHz hasta 100 kHz, para intentar lograr un análisis más exacto. Realiza una valoración a partir de los datos del paciente, no utiliza ecuaciones derivadas para poblaciones específicas. Además ofrece un amplio abanico de mediciones corporales como peso, masa muscular, grasa, masa libre de grasa y agua corporal tanto en peso como %, IMC, distribución segmental de porcentajes. El diagnóstico tarda en realizarse 35 segundos.

Se realizaban dos bioimpedancias, con un margen de tiempo entre ellas de entre 5 minutos.

Los sujetos no debían comer ni beber nada dos horas antes de la prueba, ni realizar ejercicio físico de manera intensa ya que esto podría alterar el resultado final de la prueba.

Para realizar la prueba, los sujetos se descalzaban, quitándose calzado y quedándose con los pies desnudos. También se recomendaba a los sujetos que se despojases de cualquier objeto metálico: pendientes, piercing, hebillas, gafas, para no alterar el resultado de la prueba.

Tras las indicaciones anteriores, el sujeto se subía a la plataforma colocando los pies en la zona señalada dentro de la plataforma y agarrando las asas de la plataforma, de tal manera que los dedos pulgares fueran los que conectaban con la plataforma. El sujeto debía permanecer erguido y con los brazos a más distancia que la anchura de los hombros.

Antropometría:

Pliegues cutáneos:

Para calcular el porcentaje de grasa corporal, fueron tomados los siguientes pliegues: Tricipital, subescapular, suprailiaco, pierna, muslo y abdominal. Se tomaron pliegues en dos ocasiones y en ambas los pliegues fueron tomados por el mismo sujeto. En ambas ocasiones los pliegues fueron tomados en el mismo orden y en el mismo lugar.

El material utilizado para la toma de pliegues fue un plicómetro de la marca Holtain LTD Crymych U.K.

Les pedimos a los sujetos que se quedasen en ropa interior o en pantalón corto y sin camiseta. Para tomar los pliegues de la parte superior del cuerpo, el pliegue tricipital y abdominal fueron tomados agarrando la piel de manera vertical, mientras que los pliegues suprailiaco y subescapular fueron obtenidos tomando la piel de manera diagonal. Para tomar los pliegues de la parte inferior del cuerpo: Cara medial del gemelo y parte anterior del muslo, les pedimos a los sujetos que pasasen el peso hacia el otro lado del cuerpo. El pliegue de la pierna se tomó en la cara medial, agarrando la piel en vertical, mientras que la toma del pliegue del muslo se tomó con la pierna extendida y en la zona media del muslo.

Para calcular el porcentaje de grasa corporal hemos utilizado de la fórmula de Yuhasz (1962) de 6 pliegues:

$$\% \text{ Grasa corporal} = 3,64 + (\sum \text{ Pliegues (mm)} \times 0,097)$$

Diámetros

Para calcular la densidad ósea de los sujetos hemos recogido 4 diámetros: estiloideo, bicondíleo del codo, bicondíleo del femur y bimalleolar. Los diámetros, al igual que los pliegues cutáneos fueron tomados en dos ocasiones, ambas de idéntica manera. La toma

de diámetros se ha hecho a continuación de los pliegues cutáneos, los individuos permanecían con sin ropa en la parte superior mientras que estaban en pantalón corto o ropa interior en la parte inferior.

Hemos recogido la estatura con una cinta métrica de la marca SECA, que hemos adherido a la pared. Para realizar la medición de la estatura, les hemos pedido a los sujetos que se descalzasen, y que con los pies juntos y en una posición erguida se pusieran mirando al frente.

Para tomar los diámetros hemos utilizado un pie de rey de la marca G.P.M.

Hemos usado la fórmula de Rocha (1975) para medir la densidad ósea:

$$\text{Masa ósea} = 3,02 \times (\text{Estatura}^2 \times D.\text{estiloideo} \times D.\text{Bicondileo femur} \times 400)^{0,712}$$

Perímetros:

Para el cálculo de la masa muscular hemos tomado los perímetros de las siguientes áreas: Brazo contraído, brazo relajado, pierna, muslo, abdominal y glúteo.

Para realizar la toma de perímetros se usó una cinta métrica de la marca SECA.

Hemos usado la fórmula de Lee (2000) para el cálculo de la masa muscular total:

$$MM = T \times ((0,00744 \times (Pb - 3,14 \times (t/10))^2 + (0,00088 \times (Pm - 3,14 \times (M/10))^2 + 0,0041 \times (Pp - 3,14 \times (p/10))^2 + 0,048 - (0,048 \times E) + 7,8$$

MM: Masa muscular; T: Talla en metros; Pb: Perímetro de brazo relajado; t: Pliegue del tríceps; Pm: Perímetro del muslo; M: Pliegue del muslo; Pp: Perímetro del gemelo; p: Pliegue de la pierna; E: Edad.

DXA

La radioabsorciometría de doble energía fue realizada con una máquina de la marca "General Electric" Healthcare, modelo "Lunar Prodigy Primum". Utiliza el software enCORE 2009 versión 13.20.033 .

Para la realización de la radioabsorciometría de rayos X con doble energía, le pedimos a los sujetos, tras realizar la toma de estatura y su peso, se colocó a los sujetos en la máquina de rayos X.

Como precauciones les pedimos a los sujetos que se despojasen de todo objeto metálico para que este no afectase al resultado final.

Una vez en la máquina, los sujetos se colocaron en decúbito supino sobre la camilla en sentido anteroposterior de la cabeza a los pies.

Metodología estadística

Los valores descriptivos se expresan como media y desviación típica. Para el estudio de la repetitividad se ha empleado el coeficiente de variación. Para el estudio de la concordancia se ha empleado cuando fue posible entre los tres métodos el análisis del Anova de medidas repetidas, con prueba post hoc de Bonferroni cuando fue precisa; y solo cuando solo era posible entre 2 métodos la prueba T de student para muestras relacionadas. Se ha establecido un valor de significación de $p < 0,05$.

Se empleó el paquete estadístico SPSS V 19, para Windows.

6. Resultados

	Pliegues	Bioimpedancia	DXA	Diferencia
Masa grasa	8,6 ± 3,0	14,3 ± 14,6	10,9 ± 5,1	0'05*
Masa muscular	30,7 ± 3,2	36,6 ± 4,0		0'000
Masa osea	8,3 ± 1,9		3,2 ± 0,8	0'000
Porcentaje magro		77,9 ± 15,2	80,5 ± 5,2	No
Porcentaje muscular	41,8 ± 4,2	49,4 ± 2,2		0'000
Porcentaje oseo	11,1 ± 1,4		4,6 ± 0,3	0'000

* Diferencia significativa hallada entre los pliegues cutáneos y el DXA.

Tabla 1: Medias y desviaciones típicas para hallar la composición corporal entre los distintos métodos para hallar la misma, así como las diferencias significativas que estos presentan entre sí.

La tabla 1 muestra las diferencias entre los distintos métodos para conocer la composición corporal. La masa grasa hallada por el método antropométrico presenta una diferencia respecto a la hallada con el DXA de 0,05. La bioimpedancia no presentaba diferencias significativas con ninguno de los dos métodos pero presenta una desviación muy alta, lo cual dice mucho de la alta variabilidad de los resultados en las muestras obtenidas usando este método. La masa muscular hallada por el método antropométrico y la bioimpedancia presenta una diferencia de 0,000 al igual que en el porcentaje de masa muscular. La masa ósea hallada por el método antropométrico presenta una diferencia de 0,000 respecto a la hallada en el DXA al igual que el porcentaje óseo en los mismos métodos. No se hallaron

diferencias significativas en el porcentaje magro hallado por los métodos de bioimpedancia y el DXA.

	MEDIA 1	DES.T1	MEDIA 2	DES.T1	CV %
Diámetro Bimaleolar	7,2 ±	0,4	7,2 ±	0,5	1,9
Diámetro Codo	6,4 ±	0,5	6,3 ±	0,6	3,5
Diámetro Muñeca	5,4 ±	0,4	5,4 ±	0,4	1,9
Diámetro Rodilla	9,1 ±	0,6	9,1 ±	0,7	3,3

Tabla 2: Diámetros obtenidos por el método antropométrico.

	MEDIA 1	DES.T1	MEDIA 2	DES.T1	CV %
Pliegue Abdominal	16,8 ±	7,6	16,8 ±	7,2	3,7
Pliegue Gemelo	10,7 ±	5,9	10,8 ±	5,5	11,8
Pliegue Muslo	17,1 ±	7,7	17,3 ±	7,5	7,5
Pliegue Subescapular	13,1 ±	5,0	13,3 ±	5,5	6,7
Pliegue Supraespinoso	9,1 ±	3,5	9,1 ±	3,5	8,4
Pliegue Triceps	12,7 ±	5,4	12,8 ±	5,8	11,4

Tabla 3: Pliegues cutáneos obtenidos por el método antropométrico.

	MEDIA 1	DES.T1	MEDIA 2	DES.T1	CV %
Perímetro Abdominal	78,9 ±	4,6	33,5 ±	3,2	57,2
Perímetro Brazo Relajado	29,9 ±	2,9	30,1 ±	3,1	2,2
Perímetro Pierna	36,6 ±	2,0	36,5 ±	2,0	0,7

Tabla 4: Perímetros obtenidos por el método antropométrico.

Las tablas 2, 3 y 4 muestran las diferentes variables recogidas para conocer la composición corporal mediante el método antropométrico, que fueron recogidas en 2 ocasiones para medir la variabilidad de estas. El perímetro abdominal, en la tabla 4 es la variable que más variación presenta entre una medida y otra, de un 57,2 % . Tras el perímetro abdominal las medidas que más variación presentaron fueron el pliegue del gemelo y el pliegue del tríceps, con un 11,8% y un 11,4% respectivamente.

Por otro lado, los diámetros fueron las variables que menos variación presentaron entre una medida y otra mientras que, en términos absolutos, el perímetro de la pierna fue el que menos variación presentó entre una medida y otra con 0,7%.

	MEDIA 1	DES.T1	MEDIA 2	DES.T1	CV %
Masa Magra Brazo Derecho bioimpedancia	3,7 ±	0,5	3,7 ±	0,5	1,6
Masa Magra Brazo izquierdo bioimpedancia	3,7 ±	0,5	3,7 ±	0,5	1,6
Masa magra Pierna derecha bioimpedancia	10,0 ±	1,0	9,9 ±	1,0	0,7
Masa magra pierna izquierda bioimpedancia	9,9 ±	1,0	9,9 ±	1,0	0,6
Masa Magra Triceps bioimpedancia	28,8 ±	3,1	28,8 ±	2,9	1,2

Tabla 5: Masa magra por extremidades hallada por el método de la bioimpedancia.

	MEDIA 1	DES.T1	MEDIA 2	DES.T1	CV %
Masa Muscular antropometría	30,7 ±	3,1	30,8 ±	3,9	2,9
Masa Osea antropometría	8,3 ±	1,9	8,2 ±	1,8	2,2
Masa libre grasa bioimpedancia	59,7 ±	15,9	59,6 ±	15,9	1,2
Masa Magra bioimpedancia	55,8 ±	16,1	55,8 ±	16,1	
Masa muscular Bioimpedancia	36,6 ±	4,0	36,7 ±	3,9	0,6

Tabla 6: Medidas absolutas halladas por el método antropométrico y por la bioimpedancia en términos absolutos.

En términos absolutos, la bioimpedancia es el método que más variación presenta entre una medida y otra excepto en la masa muscular mientras que el método antropométrico presenta una variación mucho menor en la masa muscular y la masa ósea obtenidas entre una medida y otra.

	MEDIA 1	DES.T1	MEDIA 2	DES.T1	CV %
Porcentaje Magro Bioimpedancia	75,2 ±	19,7	75,3 ±	20,1	20,9
Porcentaje Oseo Antropometría	11,1 ±	1,3	11,0 ±	1,3	21,7
Porcentaje Graso Antropometría	17,7 ±	14,7	11,4 ±	3,0	1,2
Porcentaje Graso Bioimpedancia	11,3 ±	3,0	17,4 ±	14,9	2,2

Tabla 7: Porcentajes obtenidos utilizando el método antropométrico y la bioimpedancia.

La bioimpedancia vuelve a presentar una alta desviación entre las dos medidas y un porcentaje de variabilidad muy alto en el porcentaje magro mientras que la antropometría en el porcentaje oseo presenta una variabilidad muy alta mientras que en la grasa presenta una variabilidad muy baja.

7. Discusión:

Tras consultar la bibliografía por la cual hemos conocido estudios realizados anteriormente que abordaban el tema tratado en este estudio, que es la reproducibilidad y repetitividad de los instrumentos de medida de composición corporal como son la bioimpedancia y el método antropométrico.

El método antropométrico parece que puede depender, en gran medida, de la experiencia y precisión del tomador de las medidas, además de otras variables como puede ser el estado de hidratación del sujeto en menor medida. En este caso, el tomador de las medidas era novel en la toma de medidas por el método antropométrico y a este factor se le pueden achacar en gran parte las grandes diferencias obtenidas en los resultados.

La variable con mayor distorsión en este método fue el perímetro abdominal con un 57,2%. Esto se ha podido producir por varias razones de las que el tomador de medidas debería

haberse percatado en el momento de realizar la medición como son: Posición erguida del sujeto ya que si este no se encuentra totalmente en posición erguida la medida se altera considerablemente ya que la lordosis lumbar se acentúa, haciendo que el perímetro de la misma se sobreestime. Otro factor que puede haber alterado la medida es que los sujetos pudieran meter la zona abdominal hacia dentro con el fin de obtener un menor perímetro abdominal, por tanto en este caso estaríamos infravalorando el perímetro abdominal.

Otras variables que presentaban grandes variaciones fueron el pliegue del gemelo y el pliegue tricípital. En este caso las diferencias pueden haber sido provocadas por la inexactitud en la zona en la que se tomó el pliegue, aunque otro posible factor que ha podido alterar el resultado es el grado de contracción-relajación que el sujeto estuviese produciendo en ese momento, ya que al ser una extremidad puede que los sujetos estuviesen realizando una contracción diferente de manera inconsciente en las dos medidas que fueron tomadas, ya que esta distorsión no se presenta en los pliegues obtenidos en el tronco.

La ecuación que este estudio ha utilizado para medir la grasa corporal ha sido la ecuación de seis pliegues cutáneos de Yuhasz (1962), lo cuales fueron: Tricípital, Suprailíaco, Subescapular, Abdominal, Zona medial del muslo anterior y gemelo. Tras obtener el porcentaje de masa grasa corporal utilizando la fórmula, se obtuvo el total de masa grasa corporal y se comparó con los resultados obtenidos en el DXA donde se veía que la fórmula de Yuhasz había infravalorado la masa grasa corporal total. Otras ecuaciones utilizadas en el método antropométrico como la Jackson y Pollock, (1978) en comparación con los resultados hallados en el DXA, mostraron resultados diferentes dependiendo de la raza del sujeto en un estudio realizado a mujeres y varones de entre 17 y 30 años, de un rango de edad muy parecido a las edades que ha utilizado este estudio, y de varias razas. La ecuación de Jackson y Pollock también había infravalorado el porcentaje de grasa corporal en los varones y mujeres de raza caucásica e hispana, al igual que los resultados obtenidos en este estudio. Sin embargo, la ecuación sobrevaloró el porcentaje de grasa corporal en varones y mujeres afroamericanas. (Jackson, Ellis, McFarlin, Sailors y Bray, 2010) Parece que hay que hacer reajustes en esta ecuación ajustándola a la raza del sujeto. Sin embargo, se manifestó como un buen método de medida de composición corporal, ya que mostró una concordancia alta con los resultados del DXA. En este estudio, los sujetos eran todos de raza caucásica, y por tanto los resultados, se asemejan con los que la ecuación de Jackson y Pollock obtuvo.

Con respecto a las ecuaciones utilizadas para obtener los resultados que se han obtenido, estas presentan varias críticas. La ecuación de Lee (2000) excluyen de sus cálculos a la población deportista, aunque sin embargo estas no puntualizan que tipo de deportista

excluyen, ya que no podemos deducir que si sus cálculos excluían a deportistas de alto nivel o a deportistas amateur. En este estudio los participantes eran en gran mayoría deportistas amateur si bien una minoría tenía un estilo de vida sedentario.

En otros estudios (Knechtle et al, 2011), que realizan una comparación de la masa muscular hallada en la bioimpedancia con la obtenida con el método antropométrico, se encontraron diferencias significativas entre el análisis antropométrico y la bioimpedancia. La ecuación que obtuvo más concordancia con la bioimpedancia fue la ecuación de Lee que aquí hemos utilizado, en comparación con la ecuación de Jansen, que mostró niveles de concordancia más bajos. Sin embargo, la bioimpedancia, sobrevaloraba la masa muscular en comparación con los resultados ofrecidos por el método antropométrico, lo cual coincide con los resultados obtenidos en este estudio.

También se realizaron pruebas en este estudio para medir la reproducibilidad del porcentaje de grasa corporal, entre la bioimpedancia y las mediciones antropométricas. Los resultados muestran que la bioimpedancia también sobreestimaba, en este caso, el porcentaje de grasa corporal, mostrando una gran diferencia ($p < 0,001$) entre ambos métodos, lo cual demuestra poca reproducibilidad entre ellos en cuanto a la masa grasa corporal. La ecuación de Ball fue la que tenía el nivel más alto de reproducibilidad con la bioimpedancia, lo cual es extraño porque esta fórmula es usada para analizar a la población general mientras que las fórmulas utilizadas para medir a los deportistas (Steward, Faulkner y Siri) mostraron niveles de reproducibilidad más bajos. Entre la ecuación de Ball y las ecuaciones para analizar a la población deportista sin embargo también se registraron diferencias significativas ($P < 0,001$).

Sin embargo en similares estudios (Hernández Ruiz de Eguilaz, M, 2010) (Martín Moreno, V. Gómez Gandoy, J.B y Antoranz González, M.J, 2001), se pueden observar resultados contradictorios. En estos estudios, podemos observar como el porcentaje de grasa obtenido mediante el método antropométrico y la bioimpedancia infravaloran el porcentaje de grasa en individuos normotipo como los utilizados en este estudio. Si bien los resultados que se han obtenido en el método antropométrico son similares, coincidiendo en que infraestiman la masa grasa corporal y su porcentaje, la masa grasa corporal es infraestimada. Nuestro estudio muestra que la bioimpedancia ha sobrestimado en gran medida la masa grasa corporal obtenida utilizando el DXA coincidiendo con otros estudios (Knechtle et al, 2011), bien estos resultados no son concluyentes por la gran variación de los resultados de la bioimpedancia. Sin embargo los resultados hallados por el método antropométrico concuerdan con los resultados de estudios similares, con lo cual sería necesario realizar la

bioimpedancia, realizando un mayor seguimiento a los sujetos para asegurar que cumplen totalmente el protocolo establecido.

Las medidas obtenidas en la bioimpedancia presentaban variaciones muy altas en las dos medidas tomadas. Estas medidas fueron tomadas en un intervalo de entre 5 y 10 minutos, lo cual puede alterar los resultados obtenidos, ya que este método puede verse alterado por el estado de hidratación del sujeto. Recordemos que la grasa no es hidrofílica, por tanto dependiendo del cambio que se haya producido en el estado de hidratación del sujeto, la medida puede haberse alterado por este motivo, ya que vemos que los cambios más significativos se han visto en el porcentaje graso y el porcentaje magro, muy relacionados entre sí. También esta medida puede verse alterada si el sujeto ha practicado ejercicio físico en horas anteriores, ya que, al factor de la variación en el estado hídrico, se une las posibles variaciones en la masa muscular y en el porcentaje graso, al no poder reponer este déficit alimentándose correctamente. Se recomienda hacer la bioimpedancia por la mañana y en ayunas ya que es cuando esta tiene una mayor precisión pero al no ser esto posible, se realizaron por la tarde. Aunque en este caso se informó debidamente a los sujetos participantes en el estudio que estos factores podían alterar el resultado. Pese a que previamente, antes de realizar las pruebas se les cuestionó sobre estos aspectos, no podemos decir que alguno de los sujetos no haya incumplido alguna de estas premisas.

En cuanto a la repetitividad de la bioimpedancia, mientras que este estudio en términos absolutos mostró una repetitividad alta, en cuanto a porcentajes hubo una variación en los resultados, especialmente en lo relacionado a la masa magra. Puede deberse a los diferentes niveles de hidratación de los sujetos en los momentos de realizar la prueba. En el estudio de Sung, Lau, Yu, Lam, y Nelson (2001), la repetitividad de la bioimpedancia registraba para un intervalo de confianza del 95%, una variación de 1,38% en el porcentaje de masa grasa corporal, en 0,68 para la masa grasa corporal total y en un 0,67 en la masa libre de grasa. En este estudio el porcentaje de variación de la masa grasa corporal fue de un 2,2%, mientras que para el porcentaje de masa magra registro un 20,1%. La concordancia de los resultados de la bioimpedancia con los del DXA, fueron favorables para que la bioimpedancia fuese considerado como un método válido para analizar la composición corporal, aunque esta última sobreestimara el porcentaje de grasa corporal.

La bioimpedancia, sin embargo, ha demostrado falta de precisión en sujetos obesos, donde el DXA fue mucho más preciso para predecir la masa libre de grasa. En la bioimpedancia la ecuación más fiable demostró ser la de Gray (1989), sin embargo, esta con un nivel de 63% de precisión, todavía no cumple los estándares de precisión requeridos para medir a sujetos con obesidad, aunque realizando varios ajustes parece ser que una nueva ecuación puede

obtener más fiabilidad, sin embargo, se requieren más estudios para asegurar esto con certeza. (Hofsteenge, Chinapaw, Weijs, 2015)

Otros medidores de composición corporal como Tanita SC-240 han registrado unos resultados que los acreditan como métodos aceptables para valorar la composición corporal en trabajos de campo. Este estudio (Barreira, Staiano, Katzmarzyk, 2013) registro un error absoluto de media global de 3,9 %, cercano al error esperado para mediciones de pliegues cutáneos, los cuales han registrado un error absoluto en otros estudios de un $\pm 3,3\%$. Sin embargo este medidor registró pequeñas diferencias en varones y mujeres caucásicas a la hora de estimar el porcentaje de grasa corporal en comparación con los resultados obtenidos en el DXA. Sin embargo no se encontraron diferencias significativas en varones y mujeres de raza afroamericana en la medición del porcentaje de grasa corporal.

8. Conclusión

A la vista de los resultados obtenidos podemos concluir que:

La concordancia entre los métodos antropométrico y DXA fue baja para la masa grasa corporal. La bioimpedancia no presentó diferencias significativas con ninguno de los dos métodos sin embargo tiene una variación muy alta, por tanto no podemos afirmar que haya reproducido los resultados obtenidos en el DXA.

Hubo concordancia entre el DXA y la bioimpedancia en cuanto al porcentaje magro.

También fueron encontrados bajos niveles de concordancia entre la masa muscular y el porcentaje muscular hallado por la bioimpedancia y el método antropométrico.

El porcentaje oseo y la masa osea hallados por los métodos DXA y antropométrico también mostró diferencias significativas por tanto la concordancia de sus resultados es baja.

La repetitividad del método antropométrico fue alta en valores absolutos de: diámetro del codo, bimalleolar, muñeca y rodilla; pliegue abdominal, suprailiaco, subescapular y muslo; perímetros del brazo relajado y la pierna. Sin embargo es baja para las determinaciones de los pliegues del gemelo y del tríceps y perímetro abdominal, el método antropométrico mostró una repetitividad alta para el porcentaje graso mientras que es bajo para el porcentaje oseo.

La repetitividad de la bioimpedancia en términos absolutos de: masa magra de la pierna izquierda y derecha; masa magra brazo derecho e izquierdo; y masa magra del triceps fue

alta, al igual que en el porcentaje de grasa corporal. Sin embargo, en el porcentaje magro, la repetitividad fue baja.

9. Valoración personal

El motivo principal que me impulso a realizar este trabajo es mi interés en la composición corporal y el análisis y estudio de la misma. Me parece que la composición corporal de las personas, tanto en el deporte, como factor de rendimiento, y en el ámbito de la salud, como factor de la misma, es muy importante. Por tanto, conocer los diferentes instrumentos para obtener la misma y la eficacia de estos, es algo que es muy importante conocer y por tanto, como futura herramienta de trabajo en el futuro y para ampliar los conocimientos obtenidos en el grado, me he decidido por esta temática de trabajo. He de reconocer que, al ser mi primera experiencia realizando un estudio de estas características, me he sentido perdido en algunos momentos en la realización del trabajo de fin de grado, pero con la ayuda de los docentes de la Universidad de León y al tutor de este trabajo, que me han ayudado en la elaboración del mismo, he podido aprender más cosas e ir adquiriendo una experiencia muy valiosa de cara al futuro.

Por otro lado, la realización del mismo, aparte de ayudarme a incorporar nuevos conocimientos totalmente necesarios y ampliar los ya obtenidos, me ha ayudado a darme cuenta de lo que aun ignoro y he de seguir aprendiendo por medio de una continua formación a lo largo de mi vida laboral.

Para concluir esta valoración personal del trabajo, he de decir que, aludiendo a lo que he expuesto anteriormente, sería necesario que los alumnos realizaran o tuvieran experiencia previa en este estudios de este tipo, ya sea participando o realizando los mismos en los 4 años que dura el grado, ya que demorarlo hasta el último año, hace que el alumno tenga que adquirir a marchas forzadas, una metodología de trabajo que se debería de haber adquirido en años anteriores, durante la realización del grado.

10. Referencias bibliográficas

- Ballard R. J., Dewanti R.A., Sayuti S., y Umar N. (2014). Correlation between sum of 8 skinfolds to predicted % body fat range as a reliable measure of body composition assessment for well-trained athletes. *Asian Social Science*; 10(5).
- Barreira. T.V., Staiano, A.E., y Katzmarzyk, P.T. (2013). Validity assessment of a portable bioimpedance scale to estimate body fat percentage in white and african american children and adolescents. *Pediatr Obes. April*, 8(2), e29–e32.
- Brozek, J., Grande, E., Anderson, J.T., y Keys, A. (1963). Densiometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Annals of the Ney York Academy of Sciences* 110, 113-140.
- Esparza, F., (1993) *Manual de Cineantropometría*. Pamplona (G.R.E.C) FEMEDE
- Garrido Chamorro, R.P., González Lorenzo, M. Expósito Coll, I., y Garnes Ros, A.F. (2005) Valoración de la proporcionalidad mediante el método combinado. Estudio realizado con 873 futbolistas. En: *Lecturas: Educación física y deportes*, ISSN 1514-3465, 81.
- Gray, D.S., Bray,G.A., Gemayel, N., y Kaplan, K. (1989). Effect of obesity on bioelectrical impedance. *AmJClin Nuir*, 50, 25S-60.
- Hernández Ruiz de Eguilaz, M, Martínez de Morentín, B. Pérez-Diez,S. Navas-Carretero, S. y Martínez, J. A. (2010). Estudio comparativo de medidas de composición corporal por absorciometría dual de rayos X, bioimpedancia y pliegues cutáneos en mujeres. *An. R. Acad. Nac. Farm*, 76(2), 209-222.
- Heyward, V.H. (2006). *Evaluación de la aptitud física y prescripción del ejercicio*, Madrid, España, Editorial Médica Panamericana.
- Hofsteenge, G.H., Chinapaw, M.J.M., y Weijs. P.J.M. (2015) Fat-free mass prediction equations forbioelectric impedance analysis compared to dual energy X-ray absorptiometry in obese adolescents: a validation study. *BMC Pediatrics* 15, 158.
- Jackson, A.S., y Pollock, M.L. (1978) Generalized equations for predicting body density of men. *Br. J. Nufr.* 40, 497-504.
- Jackson, A.S., y Pollock, M.L. (1985). Practical assessment of body composition. *The Physician and Sportsmedicine* 13, 76-90.

- Jackson, A.S., Ellis, K.J., McFarlin, B.K., Sailors, M.H., y Bray, M.S. (2009). Cross-validation of generalised body composition equations with diverse young men and women: the Training Intervention and Genetics of Exercise Response (TIGER) Study. *Br J Nutr*, 101(6), 871–878.
- Kenneth J.E. (2000). Human Body Composition *Physiological Reviews*. 80(2), 649-680.
- Keys, A., y Brozek, J. (1953). Body fat in adult man. *Physiological Reviews* 33, 245-325.
- Knechtle.B., Wirth, A., Knechtle, P., Rosemann, T., Rüst, C. A., y Bescós, R., (2011). A comparison of fat mass and skeletal muscle mass estimation in male ultra-endurance athletes using bioelectrical impedance analysis and different anthropometric methods. *Nutr Hosp*, 26(6), 1420-1427.
- Kushner, R.E., Gudivaka, R., y Schoeller, D.A. (1996). Clinical characteristics influencing bioelectrical impedance analysis measurements. *American Journal of Clinical Nutrition*, 64, 423S-427S.
- Lee, R.C., Wang, Z., Heo, M., Ross, R., Janssen, I., y Heymsfield S.B. (2000) Total-body skeletal muscle mass: development and cross-validation of anthropometric prediction models. *Am J Clin Nutr*, 72(3), 796-803. Erratum in: *Am J Clin Nutr* 73(5), 995.
- Lohman, T.G., Roche, A.F., y Martorell, R. (1988), *Anthropometric standarization reference manual*, Champaing, IL: Human Kinetics.
- Lukaski, H.C. (1986). Use of the tetrapolar bioelectrical impedance method to assess human body composition. In human body composition and fat patterning, ed. N.G. Norman, *Euronut*, 143-158.
- Martín Moreno, V., Gómez Gandoy, J.B., y Antoranz González, M.J. (2001). Medición de la grasa corporal mediante impedancia bioeléctrica, pliegues cutáneos y ecuaciones a partir de medidas antropométricas. Análisis comparativo. *Rev Esp Salud Pública*, 75(3), 221-236.
- Rocha, M.S.L. (1975). Peso ósseo do brasileiro de ambos os sexos de 17 a 25 años. *Arquivos de Anatomía e Antropología*, 1, 445-451.
- Siri, W.E. (1961), *Body composition from fluid space and density*. In *Techniques for measuring body composition*, ed. J. Brozek and A. Henschel, 223-224. Washington, D.C.: National Academy of Sciences.
- Sung, R.Y.T., Lau, P., Yu,C.W., Lam, P.K.W., y Nelson, E.A.S. (2001). Measurement of body fat using leg to leg bioimpedance. *Arch Dis Child*, 85, 263–267.

Yuhasz, M.S. (1962). The effects of sports training on body fat in man with prediction of optimal body weight. (Unpublished Doctoral Thesis), University of Illinois, United States.