

Revisión Analítica Sobre la Utilización de los Pliegues Cutáneos en la Cineantropometría. Las Formulas Bi-Compartimentales de División Corporal Basadas en la Medida del Panículo Adiposo

Paulo Sáez Madain¹.

¹Universidad Nacional Andrés Bello y Universidad Bernardo O'higgins, Chile.

RESUMEN

El tema de la composición corporal, dentro de los ámbitos operacionales de la antropometría, tiene ribetes controversiales cuando se la ve desde el prisma de la búsqueda de la exactitud en sus resultados de predicción de masas fraccionales. Esto se da, según la presente revisión bibliográfica, por cuatro grandes razones: mal manejo de los conceptos relacionados con la composición corporal, cuestionamiento al método de validación (densitometría por inmersión), el uso de la medida del pliegue cutáneo como técnica predictora de la composición corporal y, por último, algunos inconvenientes o desconsideraciones que se pudieran dar en el ejercicio de la utilización de la técnica de medición de pliegues cutáneos

Palabras Clave: panículo adiposo, densidad corporal, tejido adiposo, plicómetro

INTRODUCCION

El estudio de la composición corporal a sido de gran ayuda a la hora de poder cuantificar la influencia que ejerce en los distintos elementos estructurales del cuerpo humano estímulos como: un plan dietario o hábitos alimenticios específicos, así como también, poder cuantificar el efecto de un plan de entrenamiento, la monitorización de estados de desnutrición, establecer un diagnóstico y clasificación de niveles de obesidad, etc.

Dentro de una gran gama de métodos orientados a la determinación de la composición corporal, los basados en la medición de los pliegues cutáneos, que dividen al cuerpo en dos (modelos bi-compartimentales), para la determinación del contenido de grasa en el cuerpo, son los que gozan de mayor popularidad debido a su bajo costo, en comparación a otros métodos que exigen de instrumental más costoso, además resultan sencillos de usar y no requieren de un tiempo muy prolongado para su aplicación.

Con el objetivo de economizar tiempo y por factores de comodidad se ha vuelto común el uso de diversas tablas, como por ejemplo la tabla 1, en las cuales con sólo sumar el resultado obtenido en cada medición de pliegues, estipulados por la fórmula que se desee aplicar, se puede obtener en forma automática el porcentaje de grasa sin tener que hacer intrincados cálculos. La comodidad y la rapidez que se consigue al trabajar con las mencionadas tablas hace que muchas veces se obvien los procedimientos y fundamentos sobre los cuales ha sido elaborada una fórmula determinada.

Suma de pliegues cutáneos (mm)	Hombres (edad en años)				Mujeres (edad en años)			
	17-29	30-39	40-49	>49	16-29	30-39	40-49	>49
15	4.8	--	--	--	10.5	--	--	--
20	8.1	12.2	12.2	12.6	14.1	17	19.8	21.4
25	10.5	14.2	15	15.6	16.8	19.4	22.2	24
30	12.9	16.2	17.7	18.6	19.5	21.8	24.5	26.6
35	14.7	17.7	19.6	20.8	21.5	23.7	26.4	28.5
40	16.4	19.2	21.4	22.9	23.4	25.5	28.2	30.3
45	17.7	20.4	23	24.7	25	26.9	29.6	31.9
50	19	21.5	24.6	26.5	26.5	28.2	31	33.4
55	20.1	22.5	25.9	27.9	27.8	29.4	32.1	34.6
60	21.2	23.5	27.1	29.2	29.1	30.6	33.2	35.7
65	22.2	24.3	28.2	30.4	30.2	31.6	34.1	36.7
70	23.1	25.1	29.3	31.6	31.2	32.5	35	37.7
75	24	25.9	30.3	32.7	32.2	33.4	35.9	38.7
80	24.8	26.6	31.2	33.8	33.1	34.3	36.7	39.4
85	25.5	27.2	32.1	34.8	34	35.1	37.5	40.4
90	26.2	27.8	33	35.8	34.8	35.8	38.3	41.2
95	26.9	28.4	33.7	36.6	35.6	36.5	39	41.9
100	27.6	29	34.4	37.4	36.4	37.2	39.7	42.6
105	28.2	29.6	35.1	38.2	37.1	37.9	40.4	43.3
110	28.8	30.1	35.8	39	37.8	38.6	41.	43.9
115	29.4	30.6	36.4	39.7	38.4	39.1	41.5	44.5
120	30	31.1	37	40.4	39	39.6	42	45.1
125	30.5	31.5	37.6	41.1	39.6	40.1	42.5	45.7
130	31	31.9	38.2	41.8	40.2	40.6	43	46.2
135	31.5	32.3	38.7	42.4	40.8	41.1	43.5	46.7
140	32	32.7	39.2	43	41.3	41.6	44	47.2
145	32.5	33.1	39.7	43.6	41.8	42.1	44.5	47.7
150	32.9	33.5	40.2	44.1	42.3	42.6	45	48.2
155	33.3	33.9	40.7	44.6	42.8	43.1	45.4	48.7
160	33.7	34.4	41.2	45.1	43.3	43.6	45.8	49.2
165	34.1	34.6	41.6	45.6	43.7	44	46.2	49.6
170	34.5	34.8	42	46.1	44.1	44.4	46.6	50
175	34.9	--	--	--	--	44.8	47	50.4
180	35.3	--	--	--	--	45.2	47.4	50.8
185	35.6	--	--	--	--	45.6	47.8	51.2
190	35.9	--	--	--	--	45.9	48.2	51.6
195	--	--	--	--	--	46.2	48.5	52
200	--	--	--	--	--	46.5	48.8	52.4
205	--	--	--	--	--	--	49.1	52.7
210	--	--	--	--	--	--	49.4	53

Tabla 1. Sumatoria de pliegues y su correspondiente porcentaje de grasa según fórmula diseñada por Durnin y Womersley (1974).

La presente revisión bibliográfica pretende llegar al origen de la concepción de las fórmulas bi-compartimentales que utilizan a los pliegues cutáneos como herramientas de medida, además de mencionar las dificultades que debe enfrentar el evaluador al momento de aplicar una determinada fórmula, con el objetivo de dilucidar y

fundamentar la cuestionada exactitud de sus resultados de predicción.

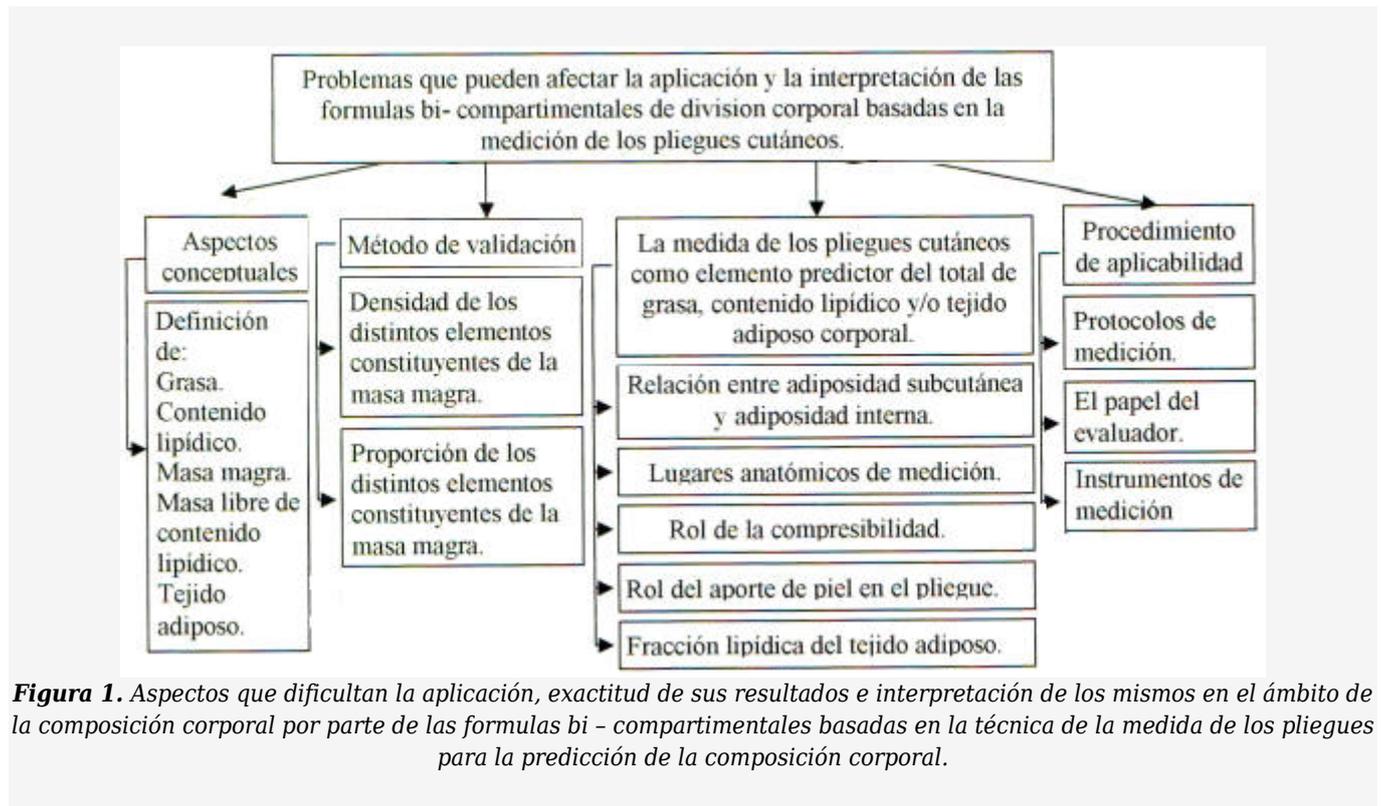


Figura 1. Aspectos que dificultan la aplicación, exactitud de sus resultados e interpretación de los mismos en el ámbito de la composición corporal por parte de las fórmulas bi-compartimentales basadas en la técnica de la medida de los pliegues para la predicción de la composición corporal.

Cada uno de los puntos considerados en la figura 1 son aspectos que pueden crear problemas de aplicabilidad y de interpretación que son comunes en cualquier evaluación antropométrica.

El término bi-compartimental se refiere a que el cuerpo se divide en dos compartimentos, en este caso, masa grasa y masa magra. Hay que señalar que existen otras fórmulas que hacen un número mayor de divisiones del cuerpo a nivel anatómico, por ejemplo la de Jindrich Matiegka (1921) cuyo interés era el estudio de la eficiencia física y más específicamente, obtener una relación entre la fuerza y la cantidad de masa muscular de un individuo. Su método divide al cuerpo en 4 componentes: masa adiposa, masa muscular, masa ósea y resto (masa visceral principalmente).

Para situar a los modelos bi-compartimentales en el contexto de la medición de la composición corporal, hay que señalar que existe una amplia variedad de otros métodos que también persiguen el mismo objetivo, estos pueden ser divididos en 3 niveles según Martín y Drinkwater (1991):

1. Métodos directos: Es un método que se basa en el procedimiento de disección de cadáveres. Es el único absolutamente válido y que no depende de supuestos teóricos.
2. Métodos indirectos: Llamados "in vivo". Se han considerado así porque para calcular cualquier parámetro lo hacen a partir de la medida de otro, como por ejemplo la densidad corporal total, presuponiendo una teórica y constante relación cuantitativa entre ambas variables (masa grasa / masa magra).
3. Métodos doblemente indirectos. Resultan de ecuaciones derivadas de algún método indirecto, densitometría por inmersión en su mayoría, en la cual se encuentran las fórmulas bi-compartimentales basadas en la medición de los pliegues cutáneos para estimar el tejido adiposo corporal total.

Dentro del gran universo de fórmulas bi-compartimentales basadas en la medición de pliegues cutáneos (más de 100 han sido reportadas), la de Durnin y Womersley de 1974 es una de las más utilizadas populares debido a que surgió de un universo heterogéneo de personas, lo que no quiere decir que se trate de una población inespecífica y puede aplicarse a un gran universo de personas ya que no es específica a un grupo de población determinado con características en común. En realidad la gama de población en este estudio es amplia pero de

ninguna manera inespecífica. Para utilizarla se deben hacer estudios cruzados en la población a la que va a aplicarse para saber si realmente la ecuación se “acomoda” a la población nueva en estudio. Probablemente su uso masificado en Chile se deba a que en una comunicación de Apud y colaboradores de la Universidad de Concepción (1977) se concluyó que las ecuaciones de regresión de Durnin y Womersley para estimar la composición corporal son perfectamente válidas para hombres chilenos.

Los estudios, para la elaboración de las formulas, fueron hechos sobre 209 varones de entre 17 y 72 años de edad y 227 mujeres de entre 16 y 68 años edad en Escocia, el conjunto de la muestra fue separado en 5 grupos 16 a 19 (17 a 19 en los hombres); 20 a 29; 40 a 49; y 50 años y más. El grupo étnico no está especificado. Los sujetos fueron deliberadamente seleccionados para representar una variedad de tipos corporales con niveles diferentes de actividad física (voluntarios de una clínica de obesidad, clubes locales de salud, organizaciones deportivas, compañías de ballet y otras fuentes). El calibre utilizado para llevar a cabo el estudio fue un Harpenden (Durnin, J., Womersley, J., 1974).

Esta fórmula considera la medición de 4 pliegues cutáneos, que por designación de los autores son señalados como pliegues: bicipital, tricipital, subescapular y suprailíaco; dicha designación puede constituir la primera fuente de error en el ejercicio de su aplicación práctica debido a que la toma del pliegue suprailíaco tiene como referencia anatómica el borde superior de la cresta iliaca a nivel de la línea axilar media, según los protocolos de medición impuestos por la ISAK, ese pliegue tiene el nombre de pliegue de cresta iliaca iliocristale, en tanto que, la referencia anatómica del suprailíaco, denominado originalmente por Heath y Carter en 1967, correspondería a la intersección de la línea imaginaria que va desde la espina iliaca antero superior al borde axilar anterior con la proyección del borde superior de la cresta iliaca. . Creo que este párrafo suma a la confusión inicial. En la fórmula discutida el “suprailíaco” es el pliegue denominado (actualmente) “iliocristale”, que durante mucho tiempo se denominó “suprailíaco”. El del somatotipo de Heath y Carter se denomina actualmente “ilioespinal”. Actualmente este pliegue es conocido como supraespinal ilioespinal (Carter, L., Heath, B., 1990) Probablemente halla sido cambiado su nombre original como forma de evitar confusiones. Está de más decir que confundir las referencias anatómicas de los pliegues puede arrojar profundas diferencias en los resultados, uno de los requisitos fundamentales, por lo tanto, si se va a medir o si se quiere llevar a cabo una investigación antropométrica es contar con un protocolo que detalle en forma precisa las referencias anatómicas a considerar al momento de evaluar y ser riguroso en seguir sus indicaciones en el ejercicio de la recogida de datos.

La fórmula de Durnin y Womersley de 1974 (tabla 2) y la correspondiente tabla que de ella se deriva (tabla 1) son expuestos en el presente texto a modo de ejemplo.

Densidad en hombres	Densidad en mujeres
Edad (años)	Edad (años)
17 - 19 = 1.1620 - 0.0630 por log. Suma 4 pliegues.	16 - 19 = 1.1549 - 0.0678 por log. Suma 4 pliegues
20 - 29 = 1.1631 - 0.0632 por loq. Suma 4 pliegues	20 - 29 = 1.1599 - 0.0717 por loq. Suma 4 pliegues
30 - 39 = 1.1422 - 0.0544 por loq. Suma 4 pliegues	30 - 39 = 1.1599 - 0.0717 por loq. Suma 4 pliegues
40 - 49 = 1.1620 - 0.0700 por loq. Suma 4 pliegues	40 - 49 = 1.1333 - 0.0612 por loq. Suma 4 pliegues
> 49 = 1.1715 - 0.0779 por loq. Suma 4 pliegues	> 49 = 1.1339 - 0.0645 por loq. Suma 4 pliegues

Tabla 2. Formula de Durnin y Womersley (1974) para el cálculo de densidad corporal.

Con sólo observar la tabla 1 se pueden plantear varias interrogantes tales como:

- ¿Qué justifica un mayor porcentaje de grasa en las mujeres ante el mismo resultado en la suma de los cuatro pliegues con relación a los hombres?
- ¿Por qué la formula considera a los hombres desde los 17 años y a las mujeres desde los 16 años?
- ¿Por qué a medida que se avanza en edad la formula arroja mayores porcentajes de grasa ante el mismo resultado en la suma de los cuatro pliegues, tanto en hombres como en mujeres?
- ¿Es la suma de estos cuatro pliegues cutáneos, considerados por esta formula, representativo de la cantidad de grasa corporal total?

- Debajo de este párrafo yo sugiero que se den las respuestas a estos interrogantes. Por ejemplo un mayor % de grasa en las mujeres está justificado a partir de las diferencias hormonales que se verifican durante la adolescencia entre los géneros, etc.

Para ir dilucidando cada una de ellas se hace necesario empezar a analizar cada uno de sus fundamentos sobre los cuales se ha construido. Como primera medida hay que mencionar que la presente tabla es el resultado de dos procesos previos:

- La estimación de la densidad corporal, que es lo que realmente desarrollaron Durnin y Womersley con su fórmula (tabla 2) y
- la transformación de densidad corporal a porcentaje de grasa. En este caso se usó la fórmula de Siri de 1961 expuesta en la tabla 9.

Ambos pasos se basan sobre supuestos que intentan validar sus resultados.

Para poder analizar cada uno de los supuestos vamos a partir desde la base sobre la cual se sostiene gran parte de estas fórmulas y que constituye su método de validación, el pesado en inmersión. Pero antes se hace imprescindible aclarar ciertos conceptos para poder hacer un mejor análisis de estas fórmulas que dividen al cuerpo en distintos componentes y a distintos niveles para esto existe un sistema de clasificación de la composición del cuerpo humano según el nivel de complejidad química - anatómica que nos puede ayudar a entender que pretenden medir las fórmulas que se sustentan en la medición de los pliegues cutáneos y el método de pesado en inmersión.

Sistema de clasificación de la composición del cuerpo (Wang et al., 1992):

- Nivel 1: Atómico. Hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, carbono, minerales.
- Nivel 2: Molecular. Agua, proteínas, lípidos, hidróxido - apatito.
- Nivel 3: Celular. Intracelular, extracelular.
- Nivel 4: Anatómico. Tejidos muscular, adiposo, óseo, piel, órganos y vísceras.
- Nivel 5: Cuerpo entero: Masa corporal, volumen corporal, densidad corporal.

PROBLEMA DE CONCEPTOS

Conceptos de Grasa, Contenido Lipídico y Tejido Adiposo

Antes de seguir adelante es necesario aclarar ciertos términos para saber de mejor forma que está midiendo cada método, errores de semántica muchas veces acarrearán no solo problemas en la interpretación de los datos sino que también en la forma en que se plantea una investigación o se erige una fórmula determinada.

Por ejemplo la diferencia entre masa grasa y tejido adiposo, es que este último está compuesto por lípidos, agua, proteínas y electrolitos, en tanto, la grasa está compuesta únicamente por triglicéridos (un lípido). La grasa es un componente a nivel molecular, que no debe ser confundida con células grasas o tejido adiposo, que son componentes celulares y tisulares de la composición corporal respectivamente. En tanto que, en el caso de lípido y grasa, son términos que generalmente son confundidos e intercambiados inapropiadamente (Heymsfield, Wang, 1993) la designación de "grasa" a todos los lípidos presentes en el cuerpo hace que estos sean considerados con las mismas propiedades, en cuanto a densidad, que los triglicéridos. Los triglicéridos son el principal acúmulo lipídico en los humanos y comprenden el fragmento más grande del compartimiento lipídico total. Por ejemplo el hombre de referencia tiene 13,5 kilos de contenido lipídico de los cuales 12 kilos, o sea, el 89 % son "grasa" (De Girolami, D., 2003). Se debe considerar por tanto, que la grasa, como triglicérido, es un elemento más dentro del conjunto de lípidos presentes en el cuerpo que no poseen una densidad común entre ellos, por lo tanto, es más apropiado hablar de contenido lipídico.

No se tiene claro si las fórmulas bi- compartimentales lo que en realidad estiman es el porcentaje de grasa o el contenido lipídico corporal total. Probablemente lo que se produce es que la densidad de la masa grasa es

atribuida al contenido lipídico corporal total que está mayormente compuesto por triglicéridos. Pero se debe tener en cuenta que los lípidos que conforman la llamada "masa grasa" de otras partes del organismo son más heterogéneos y además de triglicéridos pueden contener fosfolípidos, ésteres y derivados lipídicos como el colesterol. Esto tiende a generalizar el concepto de grasa hacia el resto de los lípidos, pasando por alto, por ejemplo, que el lípido del cerebro está compuesto de un 25 % de triglicéridos, un 50 % de fosfolípidos (1.035 g/cm³) y un 25 % de colesterol (1.067 g/cm³). Con una densidad global del lípido del cerebro de 1.005; esta diferencia sistemática de la supuesta constancia del total de lípido en el cuerpo resultaría en un error muy pequeño, si se considera como valor de densidad 0,9 g/cm³ a los lípidos en general, esto sucede así no por aparentes diferencias mínimas entre los valores de densidad del total de lípidos del sistema nervioso y los triglicéridos, cosa que no es cierta ya que esas diferencias, en términos de densidad, son bastante amplias, sino que, la respuesta estaría dada por aportes porcentuales, ya que el contenido lipídico del sistema nervioso no representa más de 200 g (Forbes et al., 1991), esto se cumple a excepción de los sujetos muy delgados en los cuales este aspecto representa un aporte porcentual más significativo que el resto de la población, por lo tanto, su papel es de mayor importancia en el cálculo final de la densidad corporal total. Por tanto, la suposición de que los lípidos presentes en el cuerpo tienen una densidad constante de 0.9 g/cm³ se refiere solamente a los triglicéridos y no tiene en cuenta los fosfolípidos ni el colesterol del sistema nervioso (Ross, W., Kerr, D., 1998).

Como el cuerpo teórico de muchas de las formulas antropométricas bi - compartimentales no establecen con claridad si lo que tratan de estimar es contenido lipídico o grasa, se optara por el termino grasa en el transcurso del presente texto, respetando la designación de los autores

Probablemente el hecho de que no se le a dado importancia a estos errores conceptuales es debido a que las variaciones en el calculo de densidad corporal, cuando se trabaja con el supuesto de densidades constantes para los distintos elementos constituyentes del cuerpo, están más sujetos a las variaciones de densidad y proporción de los distintos tejidos que forman parte de la masa libre de contenido lipídico, en comparación a la masa lipídica, que tiene un papel menos relevante en los errores de estimación de la densidad corporal total.

En relación al tejido adiposo, cabe señalar que es la masa diseccionable que incluye al tejido adiposo subcutáneo y el visceral, además de una limitada cantidad intramuscular (Esparza, F., 1993). Está formado por:

- Lípidos. Con una variabilidad entre, según articulo publicado por Garn y Gorman (1956), 5.2 y 94.1 % del total del tejido adiposo, 42.4 y 94.1 según Martin (1984) o entre el orden del 60 y el 85 % según Shephard (1991).

Cuanto más obeso sea un individuo, mayor será su porcentaje de contenido lipídico, principalmente grasa, en el tejido adiposo, acompañado de una disminución en el contenido de agua, estableciéndose una relación inversamente proporcional entre contenido lipídico y contenido de agua.

- Agua. Con una variabilidad de 14 al 34 % (Martin et al., 1984) ó 4.4 al 53 % (Esparza, F., 1993)
- Tejido vascular y nervioso.

Una de las causas que pueden provocar el mal uso que se le da a los conceptos de masa grasa y tejido adiposo es producto de que un método que hace una valoración de la composición del cuerpo midiéndolo a nivel anatómico, a través de la medida del panículo adiposo, se lo pretende validar mediante otro método que hace una división del cuerpo a nivel molecular (método densitométrico). Lo que mide el plicómetro es el grosor del tejido adiposo, sin embargo, lo que estiman las fórmulas bi- compartimentales es porcentaje de grasa. Este hecho en particular supondría necesariamente una fracción lipídica constante del tejido adiposo, como también, un contenido constante e inalterable de los distintos elementos químicos que conforman los tejidos del cuerpo.

Entonces, en conclusión, existen tres términos diferentes que muchas veces son tratados como sinónimos, pero que en la realidad no lo son, tejido adiposo, contenido lipídico corporal, masa grasa.

Conceptos de masa libre de grasa, masa libre de contenido lipídico y masa magra

Los lípidos presentes en el cuerpo no sólo se almacenan en el tejido adiposo subcutáneo, sino también en el tuétano de los huesos, además del corazón, los pulmones, el hígado, el bazo, los riñones, los intestinos, los músculos y por todo el sistema nervioso central. Este contenido lipídico es denominado por Behnke (1974) como "grasa esencial" ya que supone el funcionamiento fisiológico normal del ser humano. En el caso de las mujeres,

en la llamada “grasa esencial” se incluye la existente en los pechos y órganos reproductivos y se la designa como “grasa específica del sexo”.

Behnke estimó que esta “grasa esencial” debería estar en un 3 % para varones y un 12 % en mujeres, valores debajo de los cuales no sería compatible la vida. Este porcentaje de contenido lipídico fue incluido dentro de la masa magra ya que forma parte de órganos y huesos. El concepto de masa magra, luego de esta breve explicación, pareciera que pudiera quedar mejor establecido, sin embargo, sigue resultando problemático desde el punto de vista de su valoración, como poder determinar cuales son los lípidos esenciales y cuales no, lo que evidencia que el cimiento de esta teoría se basa en supuestos, en los cuales se establecen, sin mucha ciencia, rangos definidos para cada sexo. La masa libre de contenido lipídico y el peso magro todavía son términos equívocos, y es posible ver distintas publicaciones que indican, por ejemplo, que la densitometría mide, para algunos, el peso magro (Nichols, B.L., Sheng, H.P., 1992; Roubenoff, R., Kehaias, J.J., 1991), o, en forma textual: “la masa libre de grasa” (masa libre de contenido lipídico) (Hietmann, 1991; Lohman, 1986; Lukaski, 1987). Para otros autores (Forbes, 1987) ambos términos son sinónimos. Para evitar esto, Lohman (1986) recomienda que todos los investigadores adopten el concepto de “masa libre de grasa”.

Por tanto, la diferencia entre ambos conceptos, peso magro y peso de la masa libre de contenido lipídico, estriba en que el primero incluye los lípidos constituyentes de las membranas celulares y el sistema nervioso (Nichols, B.L., Sheng, H.P., 1992; Roubenoff, R., Kehaias, J.J., 1991), en tanto el segundo incluye todos los componentes no lipídicos del organismo (Heitmann, 1991).

División del cuerpo a nivel molecular		División del cuerpo a nivel anatómico	
Proteínas	Lípidos	Tej. Muscular	Tejido adiposo
Minerales		Tej. Óseo	
Carbohidratos		Vísceras	
	Piel		

Tabla 3. Esquema de una correcta división corporal según niveles de división corporal.

En el caso específico de las mujeres, Behnke y Wilmore (1974) consideraron que el peso mínimo sería el peso magro que tendrían si fueran varones más el agregado de la llamada “grasa específica del sexo” que se acumularía en las glándulas mamarias, la zona pélvica y el contenido lipídico subcutáneo situado en caderas, glúteos y muslos, es decir, este modelo teórico pasaría por alto las diferencias en cuanto a densidad de tejidos constituyentes del cuerpo entre los sexos, aspecto que va a ser tratado más adelante.

Haciendo un desglose de esta “grasa específica del sexo”, que constituye entre un 5 a un 9 % más de contenido por concepto de “grasa esencial” en comparación al hombre, Behnke (1974) señala, en su mujer de referencia, un aporte de los senos de no más del 12.5 % en ese concepto, suponiendo una cantidad estándar de contenido lipídico en esa zona anatómica específica, es decir, como todo modelo teórico, pasa por alto las diferencias interindividuales en ese aspecto. Según estos preceptos, los depósitos de contenido lipídico sustanciales específicos del sexo en la mujer lo constituyen las regiones pélvicas y de los muslos.

Se ha relacionado que los lípidos adicionales en la “grasa esencial” en las mujeres son biológicamente importante para el embarazo y otras funciones relacionadas con las hormonas.

La suposición de una relación directa entre la “grasa específica del sexo” y la normal función reproductora de las mujeres dio a luz a uno de los estudios más populares referentes al tema que fue llevado a cabo por Frisch (1980) en bailarinas de ballet, determinando umbrales de porcentaje de grasa en los cuales se presentaban problemas hormonales. Estableció la cifra de un 17 % de grasa corporal como “nivel crítico” para el comienzo de la menstruación (menarquia) y de un 22 % de grasa como el nivel mínimo requerido para mantener un ciclo normal.

Estudios posteriores observaron que atletas que se encuentran por debajo de los límites señalados por la teoría

de Frisch poseen ciclos normales, mientras que mujeres que están sobre estos umbrales pueden presentar irregularidades menstruales tales como amenorrea, oligomenorrea, etc. Esto hizo que estudios posteriores se orientaran hacia otros aspectos tales como factores psicológicos, principalmente orientado al estrés psicológico producido por la competencia deportiva (Bonen, A., et al, 1981; Martin, B.J., 1982; Shangol, M., 1980; Shangol, M., 1981).

	Hombre de Referencia	Mujer de Referencia
Edad:	20 - 24	20 - 24
Altura:	180 centímetros	165 centímetros.
Peso:	69.3 kilos.	56.25 kilos.
Grasa total:	10.4 kilos (15.0 %)	15.2 kilos (27.0 %)
Grasa de almacenamiento:	8.3 kilos (12.0 %)	8.46 kilos (15 %)
Grasa esencial:	2 kilos (3.0 %)	6.75 kilos (12.0 %)
Músculo:	31 kilos (44.8 %)	20.25 kilos (36.0 %)
Hueso:	10.35 kilos (14.9 %)	Hueso: 6.75 kilos (12.0 %)
Resto:	17.5 kilos (25.3 %)	Resto: 14 kilos (25.0 %)
Peso corporal magro:	61.2 kilos	Peso mínimo: 48.15 kilos
a. Grasa esencial:	1.845 kilos (3 %)	6.75 kilos (14 %)
b. Músculo:	30.6 kilos (50 %)	20.25 kilos (42 %)
c. Hueso:	10.35 kilos (17 %)	6.75 kilos (14 %)

Tabla 4. Modelo teórico de Behnke y Wilmore de un hombre y mujer de referencia (1974). Nota: Los conceptos, a pesar de las aclaraciones, se mantuvieron textuales de acuerdo a la designación del autor.

METODO DE VALIDACION

Análisis Histórico del Pesado en Inmersión

La densitometría por inmersión fue postulada como el método patrón por excelencia, esto significa, que todos los demás métodos deberían buscar su validación científica en este método. Esta afirmación llevó a Wilmore (1983) a designar a este método como el "gold estándar".

La densitometría está basada en el concepto o modelo de "2 componentes o división bi - compartimental del cuerpo": la masa grasa y la masa libre de grasa.

En la década de los 40 un académico de las fuerzas armadas de Estados Unidos llamado Albert Behnke, se involucro en el estudio de la densidad corporal humana impulsado por dos hechos en particular:

- La preocupación por la forma en la cual se elegían a quienes estaban aptos para ingresar a las filas del ejército. Observó que algunos postulantes eran rechazados por presentar sobrepeso producto de poseer, a vista del observador, una estructura muscular importante (esto ocurría principalmente en jugadores de fútbol americano).
- Además necesitaba de un método para diferenciar la composición del cuerpo ya que los buzos de la marina con mucho tejido adiposo corrían el riesgo de padecer trastornos debido a que el nitrógeno es soluble en lípidos del cuerpo. Producto de esto, y al hecho en concreto del hundimiento de un submarino a gran profundidad, Behnke se dedicó a investigar la composición corporal popularizando el modelo de dos componentes moleculares por medio de la determinación de la densidad corporal, el fundamento por el cual se apoya el uso de la densidad como factor predictivo de composición corporal es que los lípidos observados (triglicéridos fundamentalmente) poseen una densidad menor que el tejido libre de grasa, por tanto, una persona con una mayor proporción de masa grasa corporal, en comparación a una persona magra, tendrá una densidad corporal menor.

Los trabajos de Behnke entre los años 1932 y 1939 versaban sobre la difusión del nitrógeno gaseoso (N₂) en el organismo humano, estudios que se mostraron determinantes en el rescate del submarino norteamericano "Squalus" que se hundió en el año 1939 a 150 metros de profundidad.

Para esto se utilizó el principio de Arquímedes que establece que el volumen de un objeto es igual a la cantidad de agua que desplaza al ser sumergido. Debido a que la densidad de un objeto se define como su peso por unidad de volumen, entonces la densidad corporal (D_c) se puede determinar si se conoce el peso del sujeto en el aire y cuando está completamente sumergido en el agua.

Si el grado de flotabilidad de un individuo refleja relativamente su cantidad de masa grasa en relación al peso total y a la masa magra, se hace evidente que, y siempre según el modelo de "2 componentes" existe una relación directa entre la densidad del cuerpo humano y su contenido de masa grasa.

El reto que supuso para la época la realización de trabajos a tal profundidad, implicó el cálculo de nuevas mezclas respiratorias para los buzos. Para ello fue necesario estimar su composición corporal; ya que se comprobó que su mayor o menor afinidad a la peligrosa narcosis del nitrógeno dependía en gran medida de la cantidad y distribución del tejido adiposo (Welham, W.C., Behnke, A., 1942).

En los estudios iniciales de buzos realizados por Behnke, 64 sujetos fueron divididos en dos grupos basados en su densidad corporal. La diferencia media en el peso corporal y el volumen corporal entre los grupos era 12.4 kg y 13.29 litros respectivamente. La razón de estas diferencias medias (diferencia de masa / diferencia de volumen), era de 0.933 g/cm³, un valor dentro de la gama densitométrica de 0.92 a 0.96 g/cm³ para el tejido adiposo humano. Por lo tanto, la diferencia entre los grupos de densidad alta y baja era equivalente a la densidad del tejido adiposo. Cuando se determinó la densidad de un grupo de jugadores profesionales de fútbol americano que estaban por sobre los estándares de peso corporal considerado como ideal para ingresar al ejército (17 de entre 25 jugadores presentaban una masa corporal excesiva, siendo considerados como obesos), presentaron una densidad media de 1.080 g/cm³ y una masa magra media que era 20 kg más alto que el de los buzos. Como declaró Behnke (1974) "de hecho, aquí estaba la presunta demostración de que la grasa podría separarse del hueso y del músculo in vivo". Las conclusiones de estas observaciones derivó en que, a través de un artículo en el JAMA (1942) (Journal of the American Medical Association), alertara sobre lo inadecuado que puede resultar la utilización del índice de masa corporal (masa corporal en kilos / talla al cuadrado en metros) como criterio del grado de obesidad de una persona.

El Volumen Residual, un Aspecto a tener en cuenta en el Protocolo de Medición del Pesado en Inmersión

Existen algunas consideraciones metodológicas a tener en cuenta al momento de evaluar la densidad corporal con el método de pesado en inmersión, aspectos metodológicos que si no se toman en cuenta pueden provocar variaciones en los resultados finales, es por esto que existe un protocolo bien definido a seguir que hace que el ejercicio de esta forma de valoración de la densidad no sea del todo cómoda y demande un costo de tiempo importante en comparación a la técnica de medición de los panículos adiposos. No se especificara el protocolo completo de medición de esta técnica en particular sino más bien se señalara un aspecto que resulta fundamental en el cálculo de densidad corporal, el volumen residual.

El volumen residual es la cantidad de aire que queda atrapado en los pulmones después de una espiración máxima.

Debido a que este volumen contribuye a que el cuerpo flote, habrá que corregir el volumen residual del volumen total antes de calcular la densidad corporal.

El volumen residual se mide generalmente empleando técnicas de dilución de helio, de desecho de nitrógeno o de dilución del oxígeno. Si no se dispone del equipo necesario para medir el volumen residual, se puede estimar el mismo empleando las ecuaciones de la tabla 5 teniendo en cuenta la edad, la altura y el sexo. No obstante, hay que tener en cuenta que los volúmenes residuales incrementan sustancialmente los errores de medición (+ 2.8 al 3.7 %) asociados a la valoración del porcentaje de grasa a partir de la densidad corporal (Morrow, J.R. et al, 1986) Por tanto, son cuestionables las prácticas que utilizan un presunto valor medio para todos los sujetos o pronostican el volumen residual en base a otros parámetros, como por ejemplo la capacidad vital. Un error de

500 a 1000 ml en el volumen residual, teniendo en cuenta que el volumen residual puede oscilar entre 1 y 2 litros (Going, S.B., 1996), tiene como resultado unos valores de porcentaje de grasa con un error de entre el 2.0 y el 5.5 %.

Se recomienda medir el volumen residual pulmonar al mismo tiempo que se efectúa la pesada hidrostática (Akers, R., Buskirk, E.R., 1969; Going, S.B., 1996). Si el volumen residual pulmonar se mide fuera del agua se comete un pequeño error debido a que el volumen residual en inmersión es ligeramente inferior al volumen residual en el aire, pues la caja torácica experimenta una pequeña compresión en inmersión por acción de la presión hidrostática (Going, S.B., 1996).

Existe también un volumen de aire atrapado en el aparato digestivo, el volumen de aire intestinal, que se estima como fijo en 100 ml, según Buskirk (1961).

Autor	Sexo de los individuos	Historial sobre el hábito de fumar	Número de la muestra	Ecuaciones para determinar el volumen residual (VR)
Boren et al. (1966)	Varones	Mixto	422	$VR = 0.0115 (e) + 0.019 (A) - 2.24$ $R = 0.57$ SEE = 0.53 L
O'Brien y Drizd (1983)	Mujeres	No fumadores	926	$VR = 0.03 (e) + 0.0387 (A) - 0.73$ (ASC) - 4.78 $R = 0.66$ SEE = 0.49 L
Black, Offord y Hyatt (1974)	Varones y mujeres	Mixto	110	$VR = 0.021 (e) + 0.023 (A) - 2.978$ $R = 0.70$ SEE = 0.46 L

Tabla 5. Ecuaciones para la determinación del volumen residual. Mixto indica que la muestra incluye tanto a fumadores como a no fumadores. Para cada ecuación, edad en años (e); Altura en centímetros (A); área de superficie corporal en metros cuadrados (ASC).

$$DC = \frac{\text{Peso del cuerpo en el aire (gr)} - \text{Peso del cuerpo en el agua (gr)}}{\text{Densidad del agua}} - \text{Volumen residual}$$

Tabla 6. Calculo de densidad corporal con la técnica de pesado en inmersión.

Temperatura del agua	Densidad del agua	Temperatura del agua	Densidad del agua
23° C	0.997569	30° C	0.995678
24° C	0.997327	31° C	0.995372
25° C	0.997075	32° C	0.995057
26° C	0.996814	33° C	0.994734
27° C	0.996544	34° C	0.994403
28° C	0.996264	35° C	0.994063
29° C	0.995976	36° C	0.993716

Tabla 7. Correcciones de la temperatura para la densidad del agua.

Si bien, muchas de las formulas antropométricas bi - compartimentales poseen una raíz en común que es el método de validación que las sostiene, el protocolo llevado a cabo en ese método en particular (pesado en inmersión) podría explicar en parte, las diferencias detectadas en los resultados obtenidos entre las distintas

formulas a pesar de que tratan de estimar lo mismo.

Pesado en Inmersión ¿Gold estándar?

Existen distintas ecuaciones para estimar el porcentaje de masa grasa a partir de la densidad corporal. Estas ecuaciones han sido construidas gracias a investigaciones previas que han utilizado cadáveres para calcular las densidades y las proporciones relativas de los componentes químicos de los distintos tejidos corporales. Entre las más conocidas están:

Siri (1961)	Brozek (1963)
Porcentaje de grasa = $\frac{(4.95 - 4.50) \times 100}{Dc}$	Porcentaje de grasa = $\frac{(4.57 - 4.142) \times 100}{Dc}$

Tabla 8. Formulas de Siri (1961) y de Brozek (1963) para el cálculo del porcentaje de grasa a través de la densidad corporal.

La más popular es la de William Siri de 1961, que supone que la densidad de la masa magra y masa grasa son de 1.1 y 0.901 g/cm³, respectivamente, en tanto que los valores asignados a estos componentes según la formula de Brozek es de 1.1033 g/cm³ para la masa magra y de 0.88876 gr./cm³ para la masa grasa. Estas dos formulas de conversión de densidad corporal a porcentaje de grasa producen estimaciones similares (entre 0.5 y 1.0 en el porcentaje de grasa) en un rango de entre 1.0300 a 1.0900 g/cm³.

Las formulas para estimar composición corporal mediante la densitometría por inmersión hacen una división bi-compartimental del cuerpo a un nivel molecular por un lado, con la determinación de la cantidad de grasa corporal y a nivel anatómico por otro al determinar que el resto de la masa corporal total corresponde a masa magra.

El valor de densidad de 0.9 g/cm³ para la grasa fue obtenida de estudios de Rathbun y Pace (1945) sobre el análisis químico de unos 50 cerdos de la India eviscerados y afeitados, en donde se les extrajo los lípidos mediante éter, en tanto que, el valor de 1.1 g/cm³ para la masa magra salio por operación matemática. Si bien fue Behnke quien en 1942 introdujo el concepto de división del peso corporal en dos componentes: la "masa grasa" y "la masa magra", fueron Rathbun y Pace, en 1945, quienes desarrollaron la primera ecuación para determinar el porcentaje de grasa.

$$\text{Rathbun y Pace (1945) Porcentaje de grasa} = ((5.548 / \text{densidad corporal}) - 5.044) \times 100$$

Estudios posteriores realizados en el análisis químico de sólo tres cadáveres masculinos de 25, 35 y 46 años de edad, arrojaron, igualmente, una densidad para la masa magra de 1.1 g/cm³ (Brozek y col. 1963), esto constituyo, por algunos años, un referente para la consideración de la densidad de la masa magra independiente de la edad, sexo, raza, dote genética y grado de entrenamiento de los sujetos.

Densidad de los Distintos Elementos dentro de la Masa Libre de Contenido Lipídico

La densidad de la masa adiposa varía poco entre los seres humanos de distinta población, el problema se presenta en la variabilidad interindividual de la masa libre de contenido lipídico, tanto en la densidad, como en la proporción de los elementos que la constituyen.

Aqua (36° C)	0.9937 g/ml
Proteínas	1.34 g/ml
Minerales	3.038 g/ml
Grasa	0.901 g/ml

Tabla 9. Densidad de los distintos componentes del cuerpo a nivel molecular.

De acuerdo a la tabla 9, la densidad de cada tejido es dependiente de la cantidad de cada uno de los elementos que la constituyen, presentándose diferencias significativas, por este concepto, entre distintos individuos.

La densidad de la masa libre de contenido lipídico no es constante para todos los subgrupos poblacionales, debido a las fluctuaciones en el contenido de agua y mineral óseo principalmente. Un ejemplo de esto lo constituyen las mujeres, cuya densidad de la masa magra se ha estimado como 1.095 g/cm^3 debido a que la cantidad total de agua de su cuerpo es ligeramente superior (74.4 %) y a que el contenido mineral óseo es algo inferior (6.1 %) al del hombre de referencia (Heyward, V., 1996) Si al valorar la composición corporal de las mujeres y de los niños se hiciese comparándola con la del hombre de referencia, se produciría sistemáticamente una estimación excesiva de grasa corporal relativa (Heyward, V., 1996).

Martin, A.D., et al. (1986) estimaron que la variación en la densidad del hueso era responsable de un 2 % de la variación en la densidad de la masa magra. A simple vista pareciera una cifra insignificante y que se estuviera empeñado en buscar los mínimos detalles en pos de la búsqueda de la precisión, sin embargo, dicha cifra es significativa en valores de densidad corporal y resulta determinante cuando se transforma a porcentaje de grasa. De esta forma se explica que el valor del porcentaje de grasa corporal pueda resultar negativo cuando los valores de densidad están por encima de 1.10 g/cm^3 o que se hayan encontrado valores absurdamente bajos de grasa corporal en deportistas (menos del 4 %) (Martin, A.D., et al, 1986)

En un estudio comparativo de composición ósea en hombres deportistas (10 futbolistas profesionales) y sedentarios (15 individuos con baja actividad física) (Lieberman, C., López, M., Carreño, R., 1998), el grupo de deportistas presentó valores significativamente mayores que el grupo de sedentarios en volumen óseo (2846 ± 11 vs. $2302 \pm 241 \text{ cm}^3$, $p < 0.001$), en masa ósea 83812 ± 282 vs. $2719 \pm 410 \text{ g}$; $p < 0.001$) y densidad ósea (1.34 ± 0.08 vs. $1.17 \pm 0.08 \text{ g/cm}^3$; $p < 0.001$). Se concluyó, debido a las cifras presentadas, que el aumento de densidad ósea en los deportistas se debió a un mayor incremento relativo de la masa que del volumen óseo (28.7 % vs. 19.1 %)

En el "Brussels cadáver study" (1979-80) la mayor densidad ósea fue detectada en el cubito ($1.395 \pm 0.078 \text{ g/cm}^3$), mientras que la menos fue hallada en la pelvis ($1.164 \pm 0.037 \text{ g/cm}^3$). En el esqueleto en su totalidad, el valor más bajo fue de 1.15 g/cm^3 , mientras que la mayor fue de 1.33 g/cm^3 . (Martin, A., et al., 1993)

En cuanto al papel del agua en la masa magra, aquellas mujeres que experimentan grandes fluctuaciones de peso corporal durante sus ciclos menstruales, pueden tener estimaciones significativamente diferentes de densidad corporal, por lo tanto, también en la valoración de su porcentaje de grasa corporal cuando se utiliza el pesaje hidrostático. Bunt et al. (1989), dieron cuenta de cambios en el total de agua corporal por causa de la retención de dicho elemento durante el ciclo menstrual lo que puede explicar, en parte, las diferencias de peso y de densidad corporal durante un ciclo menstrual. En promedio, la masa grasa corporal de las mujeres fue del 24.8 % en sus pesos corporales más bajos, comparadas con un promedio del 27.6 % de grasa corporal cuando los pesos corporales llegaban al punto máximo de su ciclo menstrual. Otro fenómeno que dice relación a los niveles de agua es la hiperhidratación, en la cual el agua formará parte de la masa magra, reduciéndose así su densidad ya que la densidad del agua es menor al resto de sus elementos constituyentes (Esparza, F., 1993). Al calcular el porcentaje de masa grasa utilizando la fórmula de Siri, el descenso de densidad producirá una sobreestimación de dicha masa grasa. Al contrario, en un estado de deshidratación, la densidad de la masa magra puede aumentar por encima del valor de 1.10 g/cm^3 (Esparza, F., 1993) Cambios tan pequeños como de 1 a un 3 % en el contenido de agua corporal pueden ocasionar desviaciones en torno a 2 unidades del valor del porcentaje de grasa corporal (Lohman, T., 1981)

En términos globales, el error que puede resultar de usar un valor constante para todo tipo de población en general puede ser bastante grande. Así, si un sujeto tiene una densidad corporal total de 1.08 g/cm^3 y consideramos que su masa magra es de 1.10 g/cm^3 , aplicando la fórmula de Siri, su porcentaje de masa grasa será igual a 8.33 %. Pero si tomamos un valor de masa magra de 1.120 g/cm^3 , es decir, una diferencia de tan solo 0.02 g/ml , su porcentaje de grasa pasará a ser de 16 %, casi el doble (Esparza, F., 1993). Este ejemplo no es tan antojadizo puesto que en adultos de raza negra se han encontrado valores medios para la masa magra de 1.113 g/cm^3 (Shutte et al., 1984).

Producto de la diferencia en el aporte de los distintos componentes que constituyen cada tejido corporal, se ha tratado de estimar el porcentaje de grasa corporal utilizando modificaciones de la ecuación de Siri derivada de la estimación de composición de la masa magra en la población que se desea evaluar. Esto a dado pie a la creación de numerosos cuerpos de referencia que se traducen en una gran cantidad de fórmulas que pretenden ser representativas de una población específica en sustitución del hombre de referencia que no tiene en cuenta la edad del individuo, el sexo, la raza, grupo étnico y nivel de actividad física. (Heyward, V., 1996), utilizando estimaciones promedio de agua y fracciones minerales de la masa magra para una edad determinada y población determinada. A modo de ejemplo, Lohman (1989) ha derivado en ecuaciones de dos componentes para uso en niños y adolescentes. Esas ecuaciones hacen posible utilizar la densitometría como método de referencia en ese grupo de población en particular. Sin embargo, es importante mencionar que los niños y adolescentes del mismo sexo, difieren en alguna medida en el promedio de agua y fracción de mineral de la masa magra que presentan, en el transcurso de las distintas edades, un carácter mas dinámico en comparación a los adultos, conduciendo a errores en la estimación del porcentaje de grasa cuando son utilizados los valores de ese grupo específico, es por esto que las fórmulas elaboradas para niños y adolescentes consideran rangos de edad menores en comparación a las hechas para adultos. Al asumir que la densidad de la masa magra en niños es la misma que presentan los adultos, puede provocar una sobrestimación del porcentaje de grasa del 3 al 6 % (Boileau, R., Lohman, T., Slaughter, M., 1985).

Edad (años)	Contenido de Agua en la Masa Libre de Grasa	
	Hombres	Mujeres
1	79.0 %	78.8 %
1 - 2	78.6 %	78.5 %
3 - 5	77.8 %	78.3 %
5 - 6	77.0 %	78.0 %
7 - 8	76.8 %	77.6 %
9 - 10	76.2 %	77.0 %
11 - 12	75.4 %	76.6 %
13 - 14	74.7 %	75.5 %
15 - 16	74.2 %	75.0 %
17 - 20	73.8 %	74.5 %

Tabla 10. Contenido de agua de la masa magra en niños y adolescentes (Lohman, T., 1989).

Además, y sumando argumentos a la dificultad de la estimación de la composición corporal en niños y adolescentes, se puede señalar que aunque se pretendiera crear cuerpos de referencias específicos para cada edad como el de la tabla 11, existen importantes diferencias en el proceso de crecimiento y maduración en las poblaciones infantiles de diferentes etnias, culturas y status socioeconómicos, lo que limita aún más la validez de estas ecuaciones.

Se puede observar en la tabla 11, que el grupo de los adultos (20 a 50 años) se mantiene la ecuación de Siri de 1961 con la salvedad de que es aplicable solo a los varones, en tanto que, las damas presentan una ecuación modificada.

Edad	Sexo	Porcentaje de grasa corporal	Densidad de la masa libre de contenido lipídico
7 - 8	M	(5.38 / densidad corporal) - 4.97	1.081 g.ml ⁻¹
	F	(5.43 / densidad corporal) - 5.03	1.079 g.ml ⁻¹
9 - 10	M	(5.30 / densidad corporal) - 4.89	1.084 g.ml ⁻¹
	F	(5.35 / densidad corporal) - 4.95	1.082 g.ml ⁻¹
11 - 12	M	(5.23 / densidad corporal) - 4.81	1.087 g.ml ⁻¹
	F	(5.25 / densidad corporal) - 4.84	1.086 g.ml ⁻¹
13 - 14	M	(5.07 / densidad corporal) - 4.64	1.094 g.ml ⁻¹
	F	(5.12 / densidad corporal) - 4.69	1.092 g.ml ⁻¹
15 - 16	M	(5.03 / densidad corporal) - 4.59	1.096 g.ml ⁻¹
	F	(5.07 / densidad corporal) - 4.64	1.094 g.ml ⁻¹
17 - 19	M	(4.98 / densidad corporal) - 4.53	1.0985 g.ml ⁻¹
	F	(5.05 / densidad corporal) - 4.62	1.095 g.ml ⁻¹
20 - 50	M	(4.95 / densidad corporal) - 4.50	1.100 g.ml ⁻¹
	F	(5.03 / densidad corporal) - 4.59	1.096 g.ml ⁻¹

Tabla 11. Ecuaciones de edad - sexo para la conversión de la densidad corporal total en porcentaje de grasa corporal (Lohman, 1986).

Estas ecuaciones son aplicables a varones y mujeres blancos. El autor recomienda que en el caso de los negros se reste 1.9 y 1.0 en el porcentaje de grasa en los varones y mujeres respectivamente (Lohman, T., 1989).

La densidad del componente magro corporal de la tabla 11 se ha obtenido usando un modelo de múltiples componentes que tiene en cuenta las fluctuaciones del total de agua corporal y de mineral óseo según los grupos de edad.

Hasta acá, se le ha prestado bastante atención al carácter dinámico del tejido óseo y al contenido de agua en el cuerpo como determinantes principales de la gran variación interindividual en la densidad del tejido magro. Sin embargo, cuando, además se postula al tejido muscular dentro de los factores a ser considerados a la hora de determinar las causas de estas diferencias interindividuales detectadas en la densidad del tejido magro, este factor se transforma en un elemento de discordia como vamos a ver más adelante.

Volviendo al estudio hecho en cadáveres ("*Brussels cadáver study*") El coeficiente de variación de la densidad muscular fue sólo del 1 % aproximadamente, pero la densidad de la masa ósea varió considerablemente dentro y entre individuos (Ross, W., et al, 1984), por lo que se le ha prestado mayor atención a la densidad ósea a la hora de justificar los errores en la estimación de la densidad corporal total, claro que hay que considerar las características de la población considerada en este estudio (ancianos).

En el caso específico de la búsqueda de un método o fórmula que estime la densidad corporal en la población deportista, han existido posiciones antagónicas producto de la variable considerada como determinante en la diferenciación entre los deportistas y los que no lo son. Por un lado a sido la mayor densidad de los tejidos muscular y óseo el factor principal y por otro lado a sido el aporte porcentual de cada tejido en el cuerpo, principalmente un mayor aporte del tejido muscular.

En estudios de Adams y colaboradores (1982) se reportado que en jugadores de fútbol americano de raza afro - americana que poseen un gran desarrollo muscular y bajos niveles de tejido adiposo, han tenido densidades corporales superiores a 1.1 g/cm³, io sea que el porcentaje de grasa corporal dio valores negativos! Por otro lado, y en contraposición a los hallazgos de Adams y colaboradores, considerando que la densidad muscular tiene un valor medio de 1.066 g/cm³ (Allen. T., Krzywicki, H., Roberts, J., 1959), han demostrado que los sujetos con gran desarrollo muscular presentan una densidad de la masa magra menor a 1.1 g/cm³. Por ejemplo, Modlesky y colaboradores (1996) observaron una densidad de la masa magra en practicantes de halterofilia con gran desarrollo muscular de 1.089 g/cm³. El autor señala que esta densidad, inferior al valor esperado, es debida al alto contenido de agua en la musculatura y a que el desarrollo muscular es muy superior al aumento de la masa ósea, lo que también contribuye a disminuir la densidad de la masa magra en los practicantes de halterofilia

(Modlesky. C., et al. 1996). En los culturistas pasa algo parecido, es decir, la densidad de la masa magra es inferior al valor asumido por el modelo bicompartimental (Whithers, R., et al., 1997). Resultados similares a los anteriores han sido comunicados en un estudio de Prior y colaboradores (2001), observaron que mientras la densidad de la masa magra en las personas sedentarias se halla próxima a los 1.1 g/cm³ establecida por el modelo bicompartimental, en gimnastas, nadadores y jugadores de fútbol americano, los valores reales de densidad de la masa magra son inferiores (Prior, B., et al., 2001). Al asumir el valor de 1.1 g/cm³ se produjo una sobreestimación de un 2 a un 5 % en el porcentaje de grasa corporal (Prior, B., et al., 2001).

Proporción de los distintos Elementos dentro de la Masa Magra

El estudio más importante y significativo de disección anatómica en el ámbito de la cineantropometría, ha sido el "Brussels cadáver study" realizado en la Universidad de Vrije - Bélgica - por Clarys, Drinkwater, Martín y Ross desde el mes de octubre de 1979 hasta junio de 1980.

En dicho trabajo se midieron antropométricamente y se disecaron completamente 25 cadáveres comprendidos entre los 55 y 94 años de edad. A pesar de algunas lógicas limitaciones como es la avanzada edad de los sujetos, los datos que de él se han derivado, han contribuido sin duda alguna, tanto conceptualmente como en la aplicación práctica de los distintos métodos antropométricos, a un mejor conocimiento de la valoración de la composición corporal. En este punto en particular, sus conclusiones, resultan de mucha importancia.

Como se puede observar en la Tabla 12, a pesar de que el grupo que constituyó la muestra es bastante homogéneo en cuanto a la edad, raza y lugar geográfico, se observan diferencias bastante grandes entre los aportes de cada tejido en la constitución del cuerpo y si además se asume que cada constituyente de la masa libre de tejido adiposo posee una densidad propia, por lo tanto, la densidad de la masa magra no solo se va a ver alterada por las diferencias individuales en la densidad de los distintos tejidos que la constituyen, sino también por el aporte porcentual de cada uno de ellos.

Peso del Tejido Libre de Tejido Adiposo		
Tejido	Proporción	
	Hombres	Mujeres
Muscular	45.3 - 59.4 %	41.9 - 54.8 %
Óseo	16.3 - 24.8 %	17.4 - 25.7 %
Piel	6.1 - 9.1 %	7.9 - 11.4 %
Residual	16.3 - 24.6 %	18.7 - 24 %

Tabla 12. Aporte porcentual de los distintos tejidos constituyentes de la masa libre de tejido adiposo. (Martin, A., et al., 1993).

FUNDAMENTACION

El Pliegue Cutáneo como Variable Predictora de Tejido Adiposo Corporal Total

Los primeros en relacionar los pliegues cutáneos y la densidad corporal fueron Brozek y Keys (1951), quienes estimaron la composición de la masa corporal basados en el modelo simple de dos componentes (masa magra y masa grasa). Según De Rose (1980, 1984), sus ecuaciones constituyen los fundamentos de la composición corporal, a partir de las cuales se desenvuelven todos los métodos utilizados hoy para el fraccionamiento de la masa (De Rose, E., Guimaraes, A., 1980; De Rose, E., 1984).

Existen algunas presunciones sobre las cuales se justifica el uso de los pliegues cutáneos como elemento predictor del total de tejido adiposo presente en el cuerpo entre las que se cuentan:

- La proporción entre contenido lipídico subcutáneo e interno posee una relación constante.
- Los sitios anatómicos considerados para medir el panículo adiposo son representativos del total de contenido lipídico corporal.
- El pliegue y el tejido adiposo corporal total posee una fracción de lípidos constantes.
- Los cambios producidos en los sitios anatómicos elegidos para medir el panículo adiposo resultan precisos a la hora de medir el impacto de hábitos dietarios y/o actividad física en la composición corporal.
- La lectura del pliegue representa la cantidad de tejido adiposo de esa zona anatómica en particular.

Relación entre adiposidad subcutánea y adiposidad interna

Como primer aspecto, la relación entre la suma de los panículos adiposos y la densidad total del cuerpo es curvilínea y no lineal como se habría supuesto en la mayoría de las ecuaciones de regresión múltiple originales (Pollock, M., Jackson, A., 1984). Las ecuaciones que tienen presente este factor minimizan los grandes errores de pronóstico que se producen con las ecuaciones lineales en los extremos de la distribución de la densidad del cuerpo (Pollock, M., Jackson, A., 1984).

En el desarrollo de ecuaciones de regresión para la determinación de la densidad corporal, contenido lipídico o del porcentaje de tejido adiposo, se debe considerar la relación que existe entre tejido adiposo subcutáneo y tejido adiposo interno o la relación entre contenido lipídico localizado a nivel subcutáneo y el interno, pues el objetivo de dichas ecuaciones es la valoración del tejido adiposo, contenido lipídico y/o porcentaje de grasa total mediante la estimación del tejido adiposo subcutáneo a través de la medición del grosor del pliegue. Existen discrepancias sobre las relaciones antes mencionadas, mientras Brozek (1960) da como valores estándar que el 50 % del tejido adiposo corporal total es subcutáneo, Lohman (1981) indica que la proporción de tejido adiposo subcutáneo varía entre el 20 y el 70 % del contenido adiposo total. Martín, Ross, Drinkwater y Clarys (1985) indican que por cada kilogramo de tejido adiposo subcutáneo que se acumula, se acumulan 200 gramos de tejido adiposo interno, y que el punto de intersección de la recta de regresión que relaciona el tejido adiposo subcutáneo y el interno indica que si desapareciera todo el tejido adiposo subcutáneo el tejido adiposo interno que habría sería de 667 gramos en varones y - 373 gramos en mujeres, por lo que, la relación sería de casi un 80 % de tejido adiposo subcutáneo respecto a la cantidad de adiposidad total. En tanto que, otros autores niegan la posibilidad de relacionar la proporción de tejido adiposo interno y tejido adiposo subcutáneo, encontrando que la correlación de tejido adiposo subcutáneo e interno era de 0.05 en varones y de -0.01 en mujeres, lo cual indica que la variabilidad en la proporción de tejido adiposo subcutáneo e interno es muy alta. (Davies, P., Jones, P., Norman, N., 1986).

¿Cuáles son los lugares anatómicos que deben servir de referencia para la medición del panículo adiposo?

Distintas son las propuestas que se establecen para escoger las zonas anatómicas del cuerpo en donde medir el panículo adiposo, así también, distintos son los criterios sobre las cuales se basan estas propuestas tales como la mayor utilización de medidas específicas por parte de la población, mejores predictores del total del contenido de grasa corporal, factores de salud, mejor respuesta a la compresibilidad por parte del panículo como vamos a ver más adelante en forma detallada.

Brozek (1963) indica que los pliegues del tríceps y subescapular son los estimados como idóneos, pues son los que se miden más frecuentemente, aunque no sean los que dan una mejor precisión. Pollock, M. y colaboradores (1976) indican que la mejor estimación proviene de la utilización conjunta de las medidas del panículo adiposo, perímetros y diámetros. Posteriormente Pollock y Jackson (1984), en estudios basados en densitometría por inmersión, afirmaron que la suma de varios panículos adiposos proporciona la estimación más representativa del contenido de grasa total; llegando a la conclusión de que este valor tiene una mayor correlación con la densidad corporal que con las lecturas de lugares individuales. En consecuencia, recomendaron que se emplease la suma de tres o más panículos ubicados en zonas anatómicas diferentes del cuerpo para estimar la densidad corporal (Pollock, M., Jackson, A., 1984).

En cuanto a zonas específicas que correlacionan mejor con la cantidad de tejido adiposo total, Lohman (1981) señala a los pliegues abdominal, tricípital y el pliegue anterior del muslo. Por otro lado, Martín y colaboradores (1984) cita que las correlaciones más elevadas es para los panículos adiposos ubicados en el tren inferior.

El problema principal entre quienes buscan lugares anatómicos que sean los más representativos del contenido de grasa total radica en las diferencias existentes en la forma en la cual se distribuye el tejido adiposo que presenta diferencias interindividuales producto de diversos motivos. Un ejemplo de esto es la diferencia encontrada entre quienes presentan mayor o menor práctica de actividad física, estableciéndose diferencias, mayormente, en los pliegues abdominal, suprailíaco y del muslo (Lopez Calbet, J., 1993; Lopez Calbet J. et al., 1997), sobre este mismo punto, se ha verificado que, para un mismo nivel de adiposidad, los sujetos con un patrón de tejido adiposo centrípeto (abdominal o androide según la clasificación de Jean Vague de 1947) se caracterizan por niveles de condición física inferiores (Mueller, W., 1986).

En aspectos de salud, cuando el objetivo se centra en el establecimiento de factores de riesgo, algunos investigadores recomiendan medir el pliegue abdominal ya que estudios epidemiológicos han demostrado que el patrón de distribución de la adiposidad tiende a ser de tipo centrípeto en los sujetos sedentarios. Este patrón se asocia a un riesgo cardiovascular aumentado (Baumgartner, R. et al., 1987; Haines, A., Imeson, J. Meade, T., 1987; Sardinha, L., et al., 2000).

La Distribución del Tejido Adiposo, un Aspecto a tener en Consideración

Uno de los elementos más importantes en la distribución del tejido adiposo es el sexo, las diferencias entre sexos, con respecto a la cantidad y distribución del tejido adiposo, se da durante la pubertad en donde la cantidad total de tejido adiposo es mucho mayor en las mujeres que en los hombres, variando también su distribución, la causa del mayor porcentaje de tejido adiposo esta dado por la "grasa específica del sexo" (Wells, C., 1992).

En la niñez, la cantidad de tejido adiposo subcutáneo que recubre los miembros es considerablemente mayor que la que recubre el tronco. Durante la pubertad, los chicos pierden tejido adiposo en los miembros, pero la ganan en el tronco, lo mismo se observó en un estudio longitudinal en deportistas jóvenes (Aragones, M., Casajus, J., 1991) cuya distribución del tejido adiposo vario de un 46 y 53 % a los 14 años a 51 y 48 % en el profesional, en tronco y extremidades respectivamente. En las chicas la pérdida de tejido adiposo en los miembros es menos pronunciada, y se acumula alrededor de los hombros, las caderas y las nalgas (Wells, C., 1992). Esta característica se sigue manteniendo aún tratándose de mujeres con una práctica de actividad física incrementada (atletas) en las cuales el pliegue del muslo es el que presenta los mayores valores en comparación a otros pliegues (Pacheco del Cerro, J., 1996) Por lo tanto, los pliegues que pueden resultar representativos del tejido adiposo total en un sexo en particular, puede que no lo sea para el otro sexo.

Los esteroides sexuales están implicados en la distribución del tejido adiposo. Las hormonas reproductivas influyen directamente en el tamaño y número de adipositos humanos. La diferenciación sexual de la distribución del tejido adiposo en la pubertad aparece mediada, al menos en parte, por los esteroides sexuales. El dimorfismo sexual de la distribución de tejido adiposo en adultos, parece estar directamente mantenido por efectos regionales específicos de las hormonas reproductivas sobre los adipositos (Daniel, M., Martin, A., Fainman, C., 1992). Esto podría explicar en parte la menor disminución, producto de un plan de entrenamiento, observada en panículos adiposos ubicados en el tren inferior en mujeres.

Después de la menopausia, las mujeres asemejan su distribución de tejido adiposo al de los hombres, es decir, acumulan tejido adiposo en la zona abdominal, esto es concomitante con el incremento relativo de los niveles de andrógenos sobre los estrógenos (Daniel, M., Martin, A., Fainman, C., 1992).

Sitio	Hombres	Mujeres
Cabeza	3.0 %	2.3 %
Tórax externo	28.6 %	30.1 %
Tórax interno	18.6 %	13.6 %
Miembros superiores	4.5 %	4.7 %
Miembros inferiores	20.0 %	22.0 %

Tabla 13. Distribución de tejido adiposo en cadáveres (Martin, A., 1984).

Localización del contenido lipídico	Hombres	Mujeres
"Grasa esencial" (médula ósea, sistema nervioso central, glándulas mamarias y otros órganos)	2.1 k	4.9 k
Contenido de grasa (depósito)	8.2 k	10.4 k
• Subcutáneo	3.1 k	5.1 k
• Intermuscular	3.3 k	3.5 k
• Intramuscular	0.8 k	0.6 k
• Otros (adiposidad de cavidad torácica y abdominal)	1.0 k	1.2 k
Total de masa grasa	10.3 k	15.3 k
Peso corporal	70.0 k	56.8 k
Porcentaje de grasa	14.7 %	26.9 %

Tabla 14. Distribución de grasa en el hombre y mujer de referencia (Lohman, T., 1981).

El papel que adquiere la distribución del tejido adiposo, como vimos anteriormente, resulta crucial cuando se pretende señalar puntos anatómicos de medición del panículo adiposo como elementos representativos del contenido de grasa corporal total o simplemente como representativos del tejido adiposo subcutáneo ya que no sólo existe la diferenciación sexual en este aspecto, sino que también en el grado de actividad física, cantidad de tejido adiposo, tabaquismo, grado de maduración, etc.

En una evaluación antropométrica a 15 jugadores de balonmano de primera división (entrenados) y a 18 sujetos, estudiantes de medicina, no practicantes habituales de ejercicio físico (controles) (Alvero, J., et al., 1992), se apreciaron, en el grupo control, correlaciones directas, estadísticamente significativas entre todos los pliegues considerados (tríceps, subescapular, suprailíaco, medial de la pierna, abdominal), indicando ello, que el depósito de tejido adiposo subcutáneo se produce de forma regular en toda la superficie corporal tanto en el tronco como en las extremidades. En cambio, en el grupo de los entrenados, se observa un patrón diferente de almacenaje del tejido adiposo subcutáneo, de una forma no proporcional. En el único que se halla una correlación estadísticamente muy significativa es entre el pliegue abdominal y el suprailíaco.

Con respecto al tabaquismo, en un estudio llevado a cabo en fumadoras y no fumadoras, los resultados sugieren que en mujeres premenopáusicas, el hábito de fumar cigarrillos promueve la adiposidad en la zona abdominal y disminuye los depósitos de tejido adiposo femoral, vía efectos interactivos con los esteroides sexuales (Daniel, M., Martin, A., Fainman, C., 1992)

La Utilización de la Medida del o los Panículos Adiposos para establecer Cambios en la Composición Corporal Producto de Hábitos Dietarios y/o la Práctica de Actividad Física

Se puede deducir, después de haber citado algunos estudios que evidencian diferencias entre sujetos entrenados y sedentarios, que no todos los pliegues cutáneos responden de la misma forma al ejercicio. En estudios realizados por Kissebah y Krakower se observó que la lipólisis durante el ejercicio o inducida por la dieta no afecta por igual a todos los depósitos lipídicos. Por ejemplo, en los hombres, cualquier cambio en el porcentaje de tejido adiposo se puede detectar mucho antes si se efectúa un análisis específico de la composición corporal de la región del tronco (Kissebah, A., Krakower, G., 1994; López Calbet, J., 1993). Viceversa, cuando el balance calórico es positivo, aumenta el tejido adiposo en múltiples localizaciones, pero especialmente en la zona abdominal en los hombres y la glútea en las mujeres (Kissebah, A., Krakower, G., 1994). Siguiendo con el tema, es preciso señalar que Bjorntorp ha clasificado al tejido adiposo de acuerdo a su nivel metabólico en tres grupos (1991):

- Tipo I: Tejido adiposo metabólicamente lento: femoroglúteo.

- Tipo II: Tejidos adiposos intermedios: subcutáneo abdominal, mamario, retroperitoneal, etc.
- Tipo III: Tejido adiposo altamente metabólico: Intraabdominal o visceroperitoneal.

En un estudio llevado a cabo en 12 corredores de maratón con una práctica mínima de 5 años y un grado de entrenamiento de alrededor de 100 km. semanales, se les midió los pliegues antes y después de una carrera de maratón no encontrando diferencias significativas entre antes y después, es más, 3 de los 6 pliegues considerados en la evaluación experimentaron un incremento que entran dentro del margen de error calculado a partir de la utilización de los métodos indirectos de medición (Ruiz, C., Galiano, D., Gutiérrez, J., 1985)

Probablemente, el ritmo metabólico del tejido adiposo interno y del tejido adiposo subcutáneo sea diferente o los cambios experimentados en ellos, producto de una mayor utilización de los ácidos grasos libres, se manifiesten en forma más inmediata en el tejido adiposo interno. Otra explicación a este fenómeno puede ser la incapacidad que posee la técnica de medida de pliegues (falta de sensibilidad) de detectar cambios específicos en el tejido adiposo subcutáneo como pueden ser la redistribución de los líquidos corporales tanto a nivel celular como a nivel tisular y la utilización del contenido lipídico del tejido adiposo subcutáneo como fuente de energía.

Según Wilcox y colaboradores (1981) que realizaron un estudio sobre la dimensión de la célula adiposa en corredores de larga distancia antes y después de 23 millas de carrera, las muestras de depósito tejido adiposo subcutáneo, no aportan contribuciones mayores a los ácidos grasos libres por el ejercicio, ya que, a pesar de la movilización de los mismos hacia el flujo de la sangre, el diámetro de la célula adiposa en las zonas abdominal y gluteal, después de la prueba, es mayor. Esto vendría a formar parte del argumento del por que no hay consenso en cuanto a la relación entre el tejido adiposo subcutáneo y el interno, así como también, dar pie a la especulación de ritmos metabólicos diferentes de ambos tejidos y, por lo tanto, de un carácter dinámico en cuanto a su relación porcentual dentro del total de tejido adiposo corporal.

Cuando se mide el impacto que tienen programas de entrenamiento a mediano plazo (1 a 3 meses) en variables antropométricas, los cambios en el tejido adiposo subcutáneo resultan más evidentes y así como existe una diferenciación del tejido adiposo en cuanto a su ritmo metabólico, en los distintos panículos adiposos se presenta una dispar disminución en su grosor que podría ser producto, también, de un ritmo metabólico diferente entre ellos.

En dos estudios realizados en Chile (Lailhacar, C., Marín, M., Godoy, J., 1994; Espinoza, C., 1995) se observó los cambios en la composición corporal antes y después de un entrenamiento con sobrecarga en mujeres y los resultados fueron los siguientes:

Pliegue	Estudio 1			Estudio 2		
	Antes Prom. DS	Después Prom. DS	Cambio %	Antes Prom. DS	Después Prom. DS	Cambio %
Bíceps	9.2 (5.3)	6.3 (3.1)	31.5 %	8.0 (3.4)	7.0 (2.5)	12.5 %
Tríceps	18.0 (5.5)	16.6 (6.2)	7.8 %	16.6 (3.2)	14.4 (3.1)	13.3 %
Subescapular	21.8 (6.9)	14.9 (4.2)	31.6 %	13.9 (4.9)	12.3 (4.3)	11.5 %
Supraíliaco (según Durnin)	23.3 (7.0)	14.7 (8.4)	36.9 %	11.9 (4.6)	9.9 (6.6)	16.9 %
Abdominal	17.5 (6.1)	16.9 (10.1)	3.4 %			
Muslo	22.3 (2.3)	21.3 (2.3)	4.5 %			
Sural	17.8 (4.3)	16.1 (5.4)	9.6 %			
Porcentaje de grasa*	31.1 (4.3)	26.3 (5.2)		26.1 (4.2)	24.4 (4.1)	

Tabla 15. Efectos de dos programas de entrenamiento con sobrecarga sobre la composición corporal de mujeres jóvenes. (Lailhacar, C., Marín, M., Godoy, J., 1994; Espinoza, C., 1995). * El porcentaje de grasa fue estimado con la fórmula de Durnin y Womersley de 1974.

Estudio 1 (Lailhacar, C., Marín, M., Godoy, J., 1994): Se trata de un entrenamiento con sobrecarga de dos veces por semana en las cuales se hizo una división del grupo de acuerdo a su porcentaje de asistencia a los

entrenamientos, en la tabla se consideró al grupo que asistió entre un 77 y el 100% (4 mujeres). El programa duró 4 meses y se trataba de mujeres que cursaban enseñanza media (208 ± 6.4 meses de edad).

Estudio 2 (Espinoza, C., 1995): Se trata de un entrenamiento con sobrecarga de tres veces por semana que abarco un total de 11 semanas y en el cual participaron 14 estudiantes universitarias (19 a 26 años de edad).

Ambos estudios demuestran lo dispar que puede ser la disminución de cada pliegue considerado en forma independiente. En el caso del estudio 1, observamos que existe una notoria diferencia entre los pliegues del tren superior y los del tren inferior en cuanto a su disminución porcentual producto de un plan de entrenamiento, por lo que, si consideráramos solamente la sumatoria de pliegues, existiría menor diferencia si incluyésemos los pliegues de tren inferior a que si solo tuviéramos en cuenta los pliegues de tren superior. Esto se traduce en que cada fórmula basada en la medición de los pliegues cutáneos podrán arrojar mayores o menores cambios en el porcentaje de grasa total de acuerdo a que si los puntos anatómicos considerados responden rápida o lentamente al estímulo físico, por tanto, la pérdida de un 2 % en la masa grasa según la fórmula de Durnin y Womersley de 1974 (tabla 1) puede no ser lo mismo que en la fórmula de Jackson y Pollock u otra fórmula bi- compartimental basada en la medición de los pliegues cutáneos.

Por tanto, se descarta de plano, el establecer comparaciones entre distintas formulas bi - compartimentales aún cuando pretendan estimar lo mismo, debido a dos motivos fundamentales ya antes mencionados:

- a. la distribución del tejido adiposo no se presenta de forma homogénea en los sujetos y
- b. el carácter independiente que presentan los distintos pliegues cutáneos ante situaciones como aumento o disminución del tejido adiposo.

Estos factores son críticos ya que los resultados de las distintas formulas bi - compartimentales de división corporal se encuentran supeditada a los lugares anatómicos que consideran como referencia para sus medidas.

También merece una crítica, por lo anteriormente visto, aquellas fórmulas o clasificaciones como tipo o grado de obesidad que consideran la medida de un solo pliegue.

Hasta acá, se podría postular a la medición de los distintos panículos adiposos solo como un método cuantificador del tejido adiposo subcutáneo, considerando, por ejemplo, a la sumatoria de pliegues como un elemento más relevante de considerar, en reemplazo de las cifras de porcentaje de grasa que arrojan las fórmulas bi- compartimentales de división corporal, ahorrándose todos los problemas que han sido analizados en los puntos anteriores y que dicen relación al sustento teórico sobre los cuales se han erigido. Sin embargo, aunque se pretendiera acortar el alcance que tiene el método basado en la medición del panículo adiposo a solo predecir el tejido adiposo subcutáneo y no al tejido adiposo corporal o al contenido de grasa total, aún le quedan problemas por enfrentar, no en lo teórico sino en lo meramente práctico. En el estudio sobre cadáveres realizado en Bruselas se observaron dos hechos fundamentales en la toma de las medidas de pliegues:

1. Que la compresibilidad no es constante y
2. que el espesor de piel en una variable significativa porcentualmente en la lectura del espesor de pliegue y que no es constante para todos los pliegues.

El rol de la Compresibilidad en la Medición del Panículo Adiposo

Con respecto al primer punto, es necesario señalar, que el número que arroja el calibre representa el grosor de una doble capa de piel y al tejido adiposo subcutáneo comprimido, que debiera coincidir con la medición de una doble capa de tejido adiposo no comprimido. Lamentablemente para las pretensiones de quienes ocupan el calibre como instrumento de medida para la estimación del grosor del pliegue de tejido adiposo subcutáneo, este tiene la cualidad de presentar un gran dinamismo al ser comprimido. Es por esto que se a de estandarizado la forma en que se dará lectura a la cifra que arroja el calibre, el protocolo de la ISAK, por ejemplo, señala que la medición se registra dos segundos después de haber aplicado la presión total de los calibres, aunque la aguja se siga moviendo.

Debido al carácter dinámico que presenta la compresibilidad de los distintos pliegues, es que se recomienda en algunos casos que la segunda medición no se realice en forma inmediata, ya que lo más probable es que arroje

valores más pequeños en comparación a la primera evaluación, esto es más común en individuos obesos.

La compresibilidad se la puede dividir en:

Dinámica: se produce al aplicar el plicómetro al momento de la medición del pliegue y se muestra con una disminución constante en la cifra del grosor durante los primeros segundos de aplicación (Martín, A.; Ross, W.; Drinkwater, D.; Clarys, J., 1985).

Estática: se debe fundamentalmente a las diferencias en el tejido adiposo subcutáneo, que varía con la edad, el sexo, nivel de hidratación o el pliegue elegido (Brodie, D., 1988).

En el estudio con cadáveres (Martín, A., 1984), la compresibilidad fue estudiada midiendo en forma directa el tejido adiposo subcutáneo en los lugares señalados por protocolos estandarizados, marcándolos y luego haciendo una incisión para medir la capa correspondiente al mencionado tejido.

Sitio	Media	Desviación estándar
Supraespinal	64.9	(9.0)
Bíceps	63.8	(11.3)
Tórax	63.4	(14.0)
Abdominal	61.3	(10.2)
Subescapular	58.3	(11.7)
Cintura	55.9	(16.0)
Antebrazo	54.0	(11.6)
Rotuliano	53.9	(15.3)
Muslo medio	50.7	(13.0)
Tríceps	48.7	(14.7)
Pectoral	48.0	(15.1)
Muslo posterior	45.7	(17.2)
Pantorrilla medial	34.4	(11.6)
Muslo frontal	33.6	(17.0)

Tabla 16. Porcentaje de compresibilidad de los pliegues cutáneos (Martín, A.; Ross, W.; Drinkwater, D.; Clarys, J., 1985). Las medidas fueron obtenidas en el lado derecho. La compresibilidad fue medida de la siguiente manera:
$$\text{Compresibilidad} = 100 \times (\text{grosor por incisión} - \frac{1}{2} \text{lectura del calibre}) / \text{Grosor por incisión}.$$

El pliegue de muslo frontal y el de pantorrilla medial fueron los mejores predictores de la masa adiposa ubicada en la zona que consideran, es necesario recalcar esto para no confundirlos como los sitios más representativos del tejido adiposo total (Martín, A.; Ross, W.; Drinkwater, D.; Clarys, J., 1985) o del contenido de grasa total. Debido a esto es que los autores concluyen que el pliegue de muslo frontal debería estar presente en todas las ecuaciones de regresión que se formulen (Martín, A.; Ross, W.; Drinkwater, D.; Clarys, J., 1985)

El estudio presentado en la tabla no hizo distinciones entre sexos ya que no encontró diferencias significativas debidas al sexo, pero si las hubo entre los individuos.

El notorio desvío estándar entre los valores de compresibilidad de los distintos pliegues cutáneos considerados puede traducirse en un gran escollo a la hora de hacer comparaciones entre sujetos en cuanto al contenido de tejido adiposo subcutáneo de cada uno de ellos.

En poblaciones más jóvenes, los resultados muestran, también, diferentes correlaciones y variaciones del porcentaje de compresibilidad según la localización anatómica del pliegue. En una investigación cuyo grupo de estudio fueron estudiantes de educación física con un promedio de edad de 21 años (Sanchis, C., et al., 1994), se han encontrado adecuados índices de sensibilidad y bajos de especificidad de la prueba. Y escasa probabilidad de obtener una clasificación similar de los sujetos con las dos técnicas de medición, en este caso plicometría y

ecografía (modo B). Motivo por el que la medición del tejido adiposo subcutáneo con plicómetro aparece como una técnica sensible, adecuada para la valoración de poblaciones amplias, pero escasamente específica e inadecuada para evaluar, con precisión, las pequeñas modificaciones del tejido adiposo subcutáneo.

Los pliegues cutáneos y espesores de tejido adiposo subcutáneo que mejor correlacionan, según este estudio, corresponden a los pliegues de los miembros, tanto en hombres como en mujeres.

En algunas variables, el índice de compresibilidad fue negativo (Sanchis, C., et al., 1994), por lo que, la interpretación de dicho índice ha supuesto algunas dificultades para su interpretación. En teoría la compresibilidad debería ser cero, en ese caso el espesor medido ecográficamente sería igual a la mitad del pliegue cutáneo. Un resultado positivo evidencia un mayor espesor ecográfico que el obtenido por el plicómetro, mientras que un índice negativo, por el contrario, refleja un mayor espesor en la medición del plicómetro.

Se podría especular que la compresibilidad positiva es debido a la dificultad para incluir, en el doble pliegue cutáneo, al tejido adiposo adherido a la fascia muscular contigua. Mientras que la compresibilidad negativa sería producto de un aumento en el espesor de la piel, una menor elasticidad del tejido celular subcutáneo o incluso en la posibilidad de incluir entre los brazos del plicómetro pequeños vientres musculares (Sanchis, C., et al., 1994).

Las diferencias en la compresibilidad de los distintos pliegues significa, a modo de ejemplo, que dos personas a las cuales se les mide el tejido adiposo subcutáneo en los mismos lugares anatómicos y presentan la misma sumatoria de pliegues, una puede tener, de forma significativa, un mayor o menor porcentaje de tejido adiposo subcutáneo en comparación a la otra persona.

El rol del grosor de la piel en la medición del panículo adiposo

Toda medición de panículo adiposo incluye una doble capa de piel, cuyo grosor influye en forma directa en la lectura final de la cifra que arroja el calibre (Martín, A.; Ross, W.; Drinkwater, D.; Clarys, J., 1985). Constituyendo un porcentaje en la lectura de esta que puede llegar a ser mayormente significativa en individuos magros.

Teniendo en consideración al grosor de la piel como un elemento influyente en la medición del panículo adiposo, se puede concluir que los sitios en donde la relación grosor del pliegue y grosor de piel es pequeña, deberían resultar mejores predictores de adiposidad. Obviamente, puede ser así en la medida en que no se consideren los puntos antes señalados.

Sitio	Media estándar	Desviación
Subescapular	28.1	(8.8)
Cintura	21.0	(9.8)
Supraespinal	20.4	(12.3)
Rotuliano	18.3	(9.3)
Bíceps	17.9	(12.5)
Pectoral	17.9	(6.2)
Muslo posterior	17.9	(11.6)
Antebrazo	16.4	(7.5)
Tórax	15.6	(8.8)
Tríceps	13.2	(5.5)
Abdominal	12.9	(6.9)
Pantorrilla medial	12.7	(6.9)
Muslo frontal	11.5	(8.1)
Muslo medial	8.2	(4.8)

Tabla 17. Grosor de la piel (en porcentaje de la lectura del calibre) (Martín, A.; Ross, W.; Drinkwater, D.; Clarys, J., 1985)

A pesar de que en la presente tabla no se hicieron distinciones entre sexos, los autores señalaron que las diferencias

en cuanto al aporte de la piel en el grosor del pliegue que fue mayor en hombres que en mujeres (Martín, A.; Ross, W.; Drinkwater, D.; Clarys, J., 1985).

Diferencias entre Fórmulas Basadas en la medición de Pliegues Cutáneos

Muchos de los aspectos mencionados como por ejemplo la población estudiada, los pliegues considerados, criterio de los autores de las fórmulas, etc. Han derivado en que exista un sin número de tablas que clasifican a la población según su cantidad de grasa.

Las diferencias entre los valores que arrojan las distintas formulas bi - compartimentales basadas en la medida de los pliegues, se ve reflejada en las diferencias que se observan en los cuadros (tabla 18 y 19), es decir, no es lo mismo un 20 % de grasa en un varón joven según la formula de Durnin y Womersley de 1974 que un 20 % según la fórmula de 7 pliegues de Jackson y Pollock de 1978 en el mismo individuo.

Por ejemplo, en un estudio que comparó los valores obtenidos en el calculo de porcentaje de contenido lipídico por medio de dos ecuaciones diferentes, basadas en la medida de los pliegues cutáneos, aplicándolo a deportistas masculinos y femeninos, se encontraron diferencias, en las damas (en los varones no hubo diferencias significativas) de casi un 5 % entre una formula y otra (Cebeiro, F., Fernández, J., Samanes, A., 1986). Se pueden montar un gran número de estudios que hagan comparaciones entre distintas fórmulas basadas en pliegues cutáneos, sin embargo, llevar a cabo este tipo de trabajos no merece mayor comentario.

Valores estándar para el porcentaje de grasa corporal					
Clasificación	Edad en años				
	20 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	> 60
<i>Hombres</i>					
Excelente	< 11	< 12	< 14	< 15	< 16
Buena	11 - 13	12 - 14	14 - 16	15 - 17	16 - 18
Media	14 - 20	15 - 21	17 - 23	18 - 24	19 - 25
Regular	21 - 23	22 - 24	24 - 26	25 - 27	26 - 28
Insuficiente	> 23	> 24	> 26	> 27	> 28
<i>Mujeres</i>					
Excelente	< 16	< 17	< 18	< 19	< 20
Buena	16 - 19	17 - 20	18 - 21	19 - 22	20 - 23
Media	20 - 28	21 - 29	22 - 30	23 - 31	24 - 32
Regular	29 - 31	30 - 32	31 - 33	32 - 34	33 - 35
Insuficiente	> 31	> 32	> 33	> 34	> 35

Tabla 18. Según la fórmula de Jackson y Pollock (ecuación desarrollada para hombres, 1978) y de Jackson, Pollock y Ward (ecuación desarrollada para mujeres, 1980) (American Collage of Sports Medecine, 2000).

Valores estándar para el porcentaje de grasa corporal		
Clasificación	Hombres	Mujeres
Grasa esencial	3 - 5 %	11 - 14 %
Deportistas	5 - 13 %	12 - 22 %
Fitness	12 - 18 %	16 - 25 %
Riesgo potencial	19 - 24 %	26 - 31 %
Obesidad	25 % ó más	32 % ó más

Tabla 19. Adaptado por Edward Howley y Don Franks de Doxey, Fairbanks, Housh, Jonson, Datch, Lohman. *Body Composition Roundtable. Part 1. Scientific considerations. National Stregh and Conditioning Association Journal 9.* (Doxey, G., et al., 1987).

En el caso específico de la fórmula desarrollada por Kerr (1988) en la cual se hace una división del cuerpo en cinco compartimientos (masa ósea, masa muscular, masa adiposa, masa de piel y masa residual), hay que señalar, que si bien se trata de un método antropométrico que se vale, entre otras medidas, del grosor de algunos pliegues para la estimación de la masa adiposa, sus resultados no pueden compararse al resto de las fórmulas bi-compartimentales basadas en la medida de los pliegues para la estimación de la composición del cuerpo y no sólo por poseer un número mayor de compartimientos, sino porque su método de validación fueron estudios cadavéricos que se centraron en las masas correspondientes a cada tejido, es decir, fueron determinados anatómicamente y lo que estima esta fórmula es tejido adiposo y no contenido lipídico y/o grasa, definiendo al tejido adiposo como: tejido separable por disección grosera y que incluye la mayor parte de tejido adiposo subcutáneo, el tejido adiposo omental que rodea a los órganos y las vísceras y una pequeña cantidad de tejido adiposo intramuscular.

Los resultados obtenidos entre la fórmula de Kerr, en cuanto a tejido adiposo, y el conjunto de fórmulas bi-compartimentales basadas en la medida de los pliegues, en cuanto a contenido de grasa, tienden a ser mucho más elevados, por lo que se requiere que tanto el evaluador como el evaluado sepan distinguir entre grasa y tejido adiposo.

PROCEDIMIENTOS DE APLICABILIDAD

Protocolos de Medición

Uno de los máximos desafíos de la antropometría actual a sido la construcción de un cuerpo teórico que especifique de forma detallada los protocolos de medición y su posterior difusión, debido a la falta de consenso con respecto al tema. Como ejemplo de esto, se puede citar a Behnke y Wilmore (1974) que sugirieron medir los pliegues cutáneos en el abdomen empleando un pliegue horizontal adyacente al ombligo, mientras que Jackson y Pollock (1978) recomendaron la medición de un pliegue vertical tomado a 2 cm del lado derecho del ombligo. Esta observación constituye una de tantas formas diferentes de medir una variable designada con el mismo nombre, lo mismo ocurre con un sin número de otras variables antropométricas, lo que hace imposible la comparación entre distintos estudios que intentan estimar lo mismo.

Aún, cuando se descartara la comparación entre valores obtenidos por dos o más formulas bi - compartimentales y se opte por hacer comparaciones entre medición de pliegues o la sumatoria de ellos, de nada sirve sino se cuenta con una especificación detallada de los puntos anatómicos para poder saber si son coincidentes. Esto ha provocado que la cineantropometría se este reinventando continuamente y que cada vez que renace, todo estudio cineantropométrico que viene detrás de ese renacer es sometido a análisis y termina siendo rechazado por falta de una homogeneización estandarizada sobre las técnicas de medición, lo que representa un factor limitante, ya que la heterogeneidad de las formas de medir impiden tener confiabilidad en los resultados obtenidos.

Para poder entender el problema de la búsqueda de una homogeneización en los protocolos de evaluación en antropometría hay que remontarse al primer intento de estandarizar los protocolos de mediciones que data de 1880 en el Acuerdo de Frankfurt, luego los congresos de Mónaco en 1902, donde se describen técnicas para 49 variables. En los sesentas el Internacional Biological Program (IBP) impulsado por Inglaterra establece normas de medición sobre el lado izquierdo del cuerpo (Weiner, Lourie, 1969), a diferencia de los norteamericanos que utilizaban el lado derecho (Holway, F., 2003)

El término kinanthropometrie - cineantropometría -, derivado de las raíces griegas kinein (moverse), anthropos (especie humana) y metrien (medir), se describe por primera vez en un artículo de William Ross en 1972 incluido en la revista belga llamada Kinanthropologie.

Algunos establecen el inicio formal de la antropometría en 1976 en la celebración del congreso científico olímpico celebrado en Québec en 1976 con motivo de los juegos olímpicos de Montreal, hecho que impulso el surgimiento de una vasta gama de profesionales dedicados al tema, este fenómeno trajo aparejado una gran cantidad de ecuaciones para estimar los componentes del cuerpo humano (Esparza, F., 1993), dicho evento constituyo el primer simposio internacional de cineantropometría. En 1982 y 1991 Ross y Marfell - Jones describen los

protocolos actualizados del IWGK (International Working Group on Kinanthropometry) en Physiological Testing of Elite Athletes, basándose en técnicas antropológicas clásicas de los alemanes Martín y Saller. El 20 de julio de 1986, coincidiendo con el tercer congreso de cineantropometría celebrado en Glasgow, un grupo de 34 investigadores decidieron crear una nueva organización independiente que se denominó ISAK (International Society of the Advancement of Kineanthropometry) (Esparza, F., 1993) En 1988 tiene lugar la conferencia de Arlie, Virginia Estados Unidos, liderada por Lohman y Martorell (los exponentes de las técnicas norteamericanas) y publican (aún sin el consentimiento de los miembros de la IWGK - que tuvieron una participación parcial y restringida) el Anthropometric Standardization Reference Manual. En Australia el Laboratorio de Estándares y Medidas del Australian Institute of Sport decide estandarizar la técnica y conocimientos de antropometría como parte del proyecto nacional de salud y deportes y crea, bajo el mando del doctor Chris Gore y con la técnica de Deborah Kerr lo que deriva en los cuatro niveles de acreditación por parte de ISAK (Internacional Standards for Anthropometric Assessment). El protocolo de mediciones se publica en el libro Antropométrica (1996) y luego se corrige y mejora en la publicación de ISAK del 2001 (Holway, F., 2003).

Es necesario aclarar, con el fin de evaluar e interpretar de mejor forma la técnica de estimación de la composición corporal mediante la medida de los pliegues, que muchas de las fórmulas bi- compartimentales anteceden o no se rigen por la ISAK, lo que significa que poseen protocolos de medición diferentes y que sus sustentos teóricos no son coincidentes, es por esto, que la ISAK solo engloba una parte del cuerpo teórico-práctico de la determinación de la composición corporal, es decir, al resto de las fórmulas de división corporal se les debe respetar sus protocolos de medición, aún cuando, muchas de sus referencias anatómicas para las medidas a tomar no correspondan con las especificaciones de la ISAK y, para llevar de mejor forma el ejercicio de la interpretación y análisis de los resultados, se debe investigar su sustento teórico, principalmente referido al proceso de validación llevado a cabo.

El Papel del Evaluador

En un estudio cuyo objetivo fue cuantificar la variabilidad entre investigadores experimentados en mediciones antropométricas de las diferentes medidas necesarias para obtener la composición corporal, las mayores variabilidades fueron observadas en la medición de los pliegues cutáneos que en otras medidas, especialmente entre las mujeres (Riera, J., et al., 1992). El pliegue de la pantorrilla, el suprailíaco y el abdominal son los que presentaron mayor coeficiente de variación (tabla 20).

Pliegues Cutáneos	Mujeres		Hombres	
	Promedio	Desviación estándar	Promedio	Desviación estándar
Tríceps	10.29	(5.2)	10.13	(5.3)
Subescapular	10.37	(5.5)	5.63	(3.2)
Suprailíaco	11.94	(7.2)	12.35	(6.5)
Abdominal	12.61	(8.3)	7.5	(7.8)
Pantorrilla	18.31	(9.1)	12.88	(7.5)

Tabla 20. Coeficiente de variabilidad en la medida del pliegue. El grupo estudiado contemplo 20 hombres y 21 mujeres que fueron evaluados por 3 personas experimentadas en la técnica de medición antropométricas.

Se concluyo que la variabilidad del método de composición corporal utilizado es, globalmente, bajo siempre y cuando se sea lo suficientemente estricto en la metodología y los investigadores tengan amplia experiencia en la técnica, pero surge la pregunta: ¿cómo puedo saber que tan bien puede medir un evaluador en antropometría?

Este tema es uno de los desafíos más importante que se a impuesto la ISAK, impulsando la estrategia de la certificación internacional de antropometrista, que se a masificado por el resto del mundo, considerando de suma importancia, además, la estandarización de la técnica de medición y el uso de herramientas, para poder comparar datos y asociarlos a otras variables de rendimiento y salud.

Al ejercicio profesional del antropometrista se le exigen cuatro aspectos básicos en pos de minimizar los errores de medición e interpretación: precisión, confiabilidad, exactitud y validez.

- **Precisión:** Es la variabilidad observada en mediciones repetidas llevadas a cabo en el mismo sujeto.
- **Confiabilidad:** Es, por lo general, coeficientes de correlación y, por lo tanto, no tienen unidades.
- **Exactitud:** Es el grado al cual el valor medido se corresponde con el valor real, este valor real es el obtenido por algún antropometrista altamente entrenado y experimentado (antropometristas de nivel 3 ó 4)
- **Validez:** Es el grado por el cual una evaluación mide realmente una característica. En los 3 aspectos anteriores se trata de aspectos técnicos en la ejecución práctica del método antropométrico, en tanto que en este último punto, se da importancia al manejo teórico del antropometrista.

Variable de Precisión (ETM)

Para poder estimar la precisión del antropometrista se ha propuesto al ETM que es el error técnico de medición, definido como el desvío estándar de mediciones repetidas, tomadas independientemente unas de otras, en el mismo sujeto (Norton, K., Olds, T., 2000).

El ETM se utiliza para valorar series repetidas de diferentes variables antropométricas realizadas por uno o varios antropometristas (Guillen, M., Linares, D., 2002).

Se expresa como la raíz cuadrada de la suma de las diferencias de las medidas al cuadrado dividido por el doble de los pares estudiados.

Para comparar el ETM entre distintos investigadores se calcula el porcentaje del ETM dividiéndolo por la media de todas las medidas realizadas. Esto permite comparar en porcentajes el ETM entre diferentes observadores (Guillen, M., Linares, D., 2002)

$$\% \text{ ETM} = (\text{ETM} / \text{Media}) \times 100$$

Los cuatro niveles de acreditación (ISAK) (Norton, K., Olds, T., 2000)

Nivel 1 (técnico - perfil restringido): una persona que puede demostrar precisión técnica adecuada para medir algunos elementos antropométricos contemplados en el perfil restringido.

Nivel 2 (técnico - perfil completo): una persona que puede demostrar precisión técnica adecuada en todas las mediciones antropométricas que contempla la ISAK.

Nivel 3 (instructor): Además de la competencia técnica, dos años mínimos de desempeño como antropometrista (al menos 100 perfiles completos), una persona de nivel 3 tiene el conocimiento teórico adecuado sobre antropometría para poder enseñar y acreditar a antropometristas de nivel 1 y 2.

Nivel 4 (antropometrista de criterio): un antropometrista de criterio tiene muchos años de experiencia llevando a cabo mediciones, un alto nivel de conocimiento teórico, ha estado involucrado en varios proyectos antropométricos de gran dimensión y tiene antecedentes de publicaciones en antropometría.

		Nivel 1		Nivel 2		Nivel 3	
		Post - curso	Post - perfiles	Post - curso	Post - perfiles	Post - curso	Post - perfiles
Inter. - evaluador	Plieques cutáneos	12.5	10.0	10.0	7.5	10.0	7.5
	Otros	2.5	2.0	2.0	1.5	2.0	1.5
Intra - evaluador	Plieques cutáneos	10.0	7.5	7.5	5.0	7.5	5.0
	Otros	2.0	1.5	1.5	1.0	1.5	1.0

Tabla 21. ETM "target" propuestos para comparaciones Inter. - evaluador e intra - evaluador para los tres niveles de acreditación (Norton, K., Olds, T., 2000). Post - curso: luego del curso de entrenamiento. Post - perfiles: luego de la finalización de 20 perfiles repetidos.

Instrumentos de Medición

La comparación de instrumentos de alta calidad, tales como los plicómetros de los pliegues cutáneos Harpenden, Holtain y Lange, ofrecen generalmente mediciones similares (Pollock, M., Jackson, A., 1984; Sloan, A., Shapiro, M., 1972). Estos plicómetros proporcionan una presión constante (10 g/mm²) a lo largo del abanico de medición (2 a 60 mm) (Heyward, V., 1996) Sin embargo, otros investigadores han hallado que los pliegues cutáneos medidos con plicómetro Harpenden, McGraw, Slim - Guide y Skyndex eran significativamente menores que los medidos con plicómetros Lange (Burgert, S., Anderson, C., 1979; Gruber, J., et al., 1990; Hawkins, J., 1983; Zando, K., Robertson, R., 1987) Por este motivo, Pollock y Jackson (1984) recomiendan el empleo del mismo tipo de plicómetro que se usó para desarrollar la ecuación que se pretende utilizar para el pronóstico del porcentaje de grasa y/o de tejido adiposo.

El plicómetro Harpenden tiene una escala de precisión mejor (0.2 mm) que la del plicómetro Lange (1 mm).

Los distintos estudios que están dirigidos a establecer comparaciones entre e intra modelos distintos de plicómetros se orientan a un aspectos esencial, las características del instrumento, como por ejemplo: exactitud del dial, área de las ramas, caras, del plicómetro que hacen contacto con la piel en el momento de medir el pliegue y de la fuerza o presión ejercida por las caras de las ramas. En la mayoría de estos estudios, el procedimiento que se utiliza generalmente es medir pliegues en distintas zonas anatómicas de los sujetos considerados. Cuando las diferencias se comparan de este modo, las dificultades producto de la compresibilidad y de la técnica del evaluador, temas ya antes tratados, pueden enmascarar fácilmente diferencias verdaderas entre los distintos plicómetros.

Las conclusiones que se llevaron a cabo en un estudio de Schmidt y Carter (1990), que tienen el valor de utilizar distintos grosores de goma espuma, entre otros elementos, para hacer comparaciones de la fuerza de presión y las lecturas obtenidas de los distintos modelos de calibres, substrayéndose de los problemas antes mencionados, lo que le otorga una mayor calidad al estudio. Compararon 38 plicómetros de 5 modelos diferentes (10 Harpenden, 9 Lange, 12 Slim Guide 1985, 4 Skyndex y 3 Lafayette) en cuanto a exactitud de sus medidas, la presión que ejercían y como variaba esta última de acuerdo a las aberturas de sus ramas a 10, 20, 30, 40 y 50 milímetros. Las medidas de la compresibilidad dinámica fueron hechas en 4 trozos de espuma de distinto grosor con el fin de prescindir de utilizar la medida de pliegues cutáneos y así eliminar la dificultad impuesta tanto por la compresibilidad disímil de las distintas referencias anatómicas, como por la técnica del evaluador.

La variación observada, en cuanto a los valores arrojados en cada apertura de las ramas (tabla 22), comparando los plicómetros del mismo modelo, era pequeña y constante a través de las distintas aperturas para la exactitud del dial y para el valor del grosor comprimido de la espuma. En tanto que, las presiones, comparando los plicómetros de distintos modelos, se diferenciaron ($p < 0.01$), los plicómetros Lange y Harpenden presentaban las presiones más altas y similares entre ellos, por otro lado, los plicómetros de modelo Skyndex, Slim Guide 1985 y Lafayette tuvieron las presiones más bajas y similares entre ellos.

Cabe señalar que en ninguna de las medidas observadas en los distintos modelos sometidos a distintas aperturas de sus ramas se obtuvo una presión de 10 g/mm² como se estipula en los protocolos establecidos al instrumento de evaluación de la ISAK.

Además, las presiones observadas a distintas aperturas de las ramas de los plicómetros, debido al diseño, características y disposición del resorte del plicómetro, no se manifestaron en forma constante en algunos modelos.

Apertura del dial	Modelo de plicómetro		Fuerza (q)	Presión (q/mm ²)
10 mm	Lafayette	10.60 + 0.10	241.7 + 14.43	8.05 + 0.48
	Lange	10.25 ± 0.49	250.6 ± 5.83	8.35 ± 0.19
	Slim Guide 1985	9.93 + 0.08	644.2 + 21.51	7.08 + 0.24
	Skyndex	9.95 ± 0.41	737.5 ± 14.43	7.23 ± 0.14
	Harpندن	9.97 + 0.14	747.0 + 14.90	8.30 + 0.16
20 mm	Lafayette	20.45 + 0.05	241.7 + 14.43	8.05 + 0.48
	Lange	20.31 ± 0.44	250.0 ± 6.61	8.33 ± 0.22
	Slim Guide 1985	20.07 + 0.17	667.1 + 20.72	7.33 + 0.23
	Skyndex	20.06 + 0.13	731.3 + 23.94	7.17 + 0.23
	Harpندن	19.89 ± 0.14	757.0 ± 7.89	8.40 ± 0.89
30 mm	Lafayette	30.02 + 0.16	216.7 + 15.28	7.22 + 0.51
	Lange	30.22 + 0.24	249.4 + 5.83	8.31 + 0.19
	Slim Guide 1985	30.27 ± 0.17	690.4 ± 22.61	7.59 ± 0.25
	Skyndex	30.55 + 1.09	738.8 + 13.15	7.24 + 0.13
	Harpندن	29.80 ± 0.22	749.5 ± 12.57	8.33 ± 0.14
Apertura del dial	Modelo de plicómetro		Fuerza (q)	Presión (q/mm ²)
40 mm	Lafayette	40.23 + 0.28	213.3 + 11.55	7.11 + 0.38
	Lange	40.30 ± 0.44	252.8 ± 6.18	8.43 ± 0.21
	Slim Guide 1985	40.34 + 0.15	703.3 + 26.31	7.73 + 0.29
	Skyndex	40.80 + 2.05	756.3 + 14.93	7.45 + 0.15
	Harpندن	39.68 ± 0.30	743.0 ± 13.37	8.25 ± 0.15
50 mm	Lafayette	50.02 + 0.13	213.3 + 11.55	7.11 + 0.38
	Lange	50.36 + 0.61	250.6 + 6.82	8.39 + 0.19
	Slim Guide 1985	50.35 ± 0.27	713.3 ± 27.08	7.85 ± 0.30
	Skyndex	50.28 + 1.70	740.0 + 12.24	7.40 + 0.12
	Harpندن	49.57 + 0.44	720.0 + 15.63	8.00 + 0.17

Tabla 22. Presiones observadas a distintas aperturas de las ramas de los plicómetros (Schmidt, P., Carter, L., 1990).

En cuanto a los valores observados en la compresibilidad de los distintos grosores de espuma, los plicómetros modelo Lafayette y Lange (los cuales difieren mutuamente) presentaron los resultados más altos.

Grosor descomprimido	Modelo de plicómetro	N	Grosor comprimido (mm)				
			Valor	Desviación estandar	Error estandar	Mínimo	Máximo
35 mm	Harpenden	10	3.93	0.28	0.09	3.53	4.33
	Slim Guide 1985	12	4.29	0.31	0.09	4.00	5.00
	Skyndex	4	4.70	0.00	0.00	4.70	4.70
	Lange	9	8.24	0.83	0.28	7.40	10.00
	Lafayette	3	14.47	1.29	0.74	13.00	15.40
58 mm	Harpenden	10	12.85	0.46	0.15	12.30	13.50
	Slim Guide 1985	12	14.11	0.64	0.19	13.30	15.70
	Skyndex	4	14.58	0.10	0.05	14.50	14.70
	Lange	9	27.51	1.26	0.42	26.00	29.40
	Lafayette	3	37.27	0.55	0.32	36.70	37.80
74 mm	Harpenden	10	24.85	1.47	0.46	23.10	27.30
	Slim Guide 1985	12	29.34	0.78	0.22	28.20	31.30
	Skyndex	4	31.73	1.09	0.55	30.30	32.80
	Lange	9	43.23	0.92	0.31	41.30	44.20
	Lafayette	3	54.23	0.86	0.50	53.30	55.00
93 mm	Harpenden	10	41.95	0.92	0.29	40.60	43.50
	Slim Guide 1985	12	42.56	0.73	0.21	41.50	43.80
	Skyndex	4	42.73	0.10	0.05	42.60	42.80
	Lange	9	58.63	1.95	0.65	55.70	61.10
	Lafayette	3	74.50	1.50	0.87	73.00	76.00

Tabla 23. Valores del grosor de goma espuma comprimido por diversos modelos de calibre (Schmidt, P., Carter, L., 1990).

Por ultimo, se concluyó que hay diferencias estáticas y dinámicas entre los 5 modelos de plicómetros. Los modelos Harpenden, Slim Guide 1985 y Skyndex son similares el uno del otro, pero ellos dan valores mucho menores en cuanto a compresibilidad de los distintos grosores de espuma (50 - 100%) que los plicómetros Lafayette y Lange, los cuales arrojan resultados similares entre ellos. Estas diferencias tendrán efectos diferentes al momento de hacer estimaciones de composición corporal dependiendo del número, grosor y compresibilidad de los distintos pliegues cutáneos considerados y las ecuaciones usadas para las estimaciones.

Por los estudios presentados se puede señalar que los puntos a considerar para la elección y estandarización de un determinado diseño de plicómetro esta dado por:

- El valor del área de la superficie de contacto del plicómetro con el pliegue. La presión ejercida por la fuerza del resorte del plicómetro sobre el área de contacto de las palas con la piel, es la relación entre la magnitud de la fuerza del resorte y el valor del área de contacto con la piel.
- La disposición espacial del resorte en el plicómetro. Al ser un resorte el que va a determinar, en parte, la fuerza de prensión al pliegue, esta regido por la ley de Hooke, que dice que, a mayor grado de deformación de un resorte mayor fuerza de tensión, por lo tanto, la disposición espacial del resorte en el plicómetro debiera estar de un modo tal que no experimentara deformación. Este aspecto puede explicar el fenómeno observado, con respecto a la fuerza a distintas aperturas de rama del picómetro (tabla 22), que en el modelo Slim - Guide 1985 se observara que a medida que su apertura de ramas aumentaba su fuerza y presión también lo hacían, hay que decir que la disposición del resorte en este modelo en particular es vertical con respecto al plicómetro, por lo que, en comparación a los otros modelos, experimenta mayor deformación (figura 2).



Figura 2. Comparación de la disposición espacial del resorte en dos modelos diferentes de plicómetros (izquierda: Slim Guide; derecha: Gaucho Pro)

Con respecto al mismo tema, Lohman, T. y colaboradores (1984) señalan que los plicómetros plásticos, comparados con los plicómetros de alta calidad, tienen:

- Una escala de precisión menor (2 mm)
- Una presión irregular a lo largo del abanico de la medición.
- Una menor escala de medición (40 mm). Es importante señalar, en contraposición a lo mencionado, que el modelol SlimGuide es plástico y su escala llega a 80mm.
- Menor fiabilidad (consistencia) cuando es usado por técnicos inexpertos en la medición de los pliegues cutáneos

CONCLUSIONES

Tanto en la elección de uno u otro método o ecuación para la valoración de la composición corporal basada en la medición de los pliegues cutáneos, como para el emprendimiento de un estudio en dicha área, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Saber exactamente lo que estamos intentando medir o estimar, para evitar problemas conceptuales. Por ejemplo, la composición corporal la vamos a medir a nivel químico o anatómico. Saber esto evita errores de procedimiento al intentar dar una estimación de la variable a la que queremos medir.
- Basándonos en dicha consideración, resulta evidente que la utilización de uno u otro término: grasa, contenido lipídico o tejido adiposo, dependerá del método utilizado.
- Adoptar un protocolo estricto que guíe las mediciones. Cuando no se especifica en forma detallada el protocolo llevado a cabo para medir las distintas variables, se hace imposible la comparación entre diferentes estudios y, además, la falta de ceñimiento a los protocolos de medición, independiente de la escuela, estrictez? en los procedimientos hace atentan a que estos no sean perfectamente reproducibles un estudio.
- Resulta inútil tratar de buscar la validez de una formula mediante un método indirecto o una formula doblemente indirecta, debido que los supuestos sobre los cuales se sustentan no son del todo precisos, por lo que, a los errores del método que se intenta validar habrá que sumar los errores propios del método de validación. Esto también vale para aquellos estudios que pretenden hacer comparaciones entre distintos métodos indirectos y doblemente indirectos para la valoración de la composición corporal.
- Especificar los instrumentos utilizados para las mediciones. Como ya se vio, existen diferencias entre los distintos plicómetros a la hora de medir los pliegues cutáneos.
- Investigar de donde proceden las formulas que vamos a utilizar para evaluar la composición corporal, que población fue estudiada, que instrumentos se usaron en el estudio y cual fue el método que se utilizó para validarla.
- Utilizar siempre la misma formula. Las distintas formulas que existen basadas en la medición de pliegues cutáneos para establecer el porcentaje de grasa, contenido lipidico y/o tejido adiposo no son comparables entre sí, por lo tanto, si se quiere utilizar una de ellas, debe ser especificada en el estudio u hoja de evaluación y siempre se debe usar la misma si se quieren realizar estudios o comparaciones.
- Evitar ser tan concluyente en la interpretación de los datos que arrojan las formulas bi - compartimentales de división corporal debido a que se basan en supuestos, tanto en el método de validación como en su propio fundamento, que distan de la realidad, es decir, sirven como datos de referencia, pero en ningún caso para

hacer juicios de valor pensando en que los resultados reflejan exactitud en sus datos.

- Debido a las notables diferencias que existen entre los distintos pliegues a la respuesta al ejercicio y a planes nutricionales y teniendo en consideración que no existe un patrón homogéneo en la distribución del tejido adiposo en el cuerpo es que se recomienda medir pliegues en tronco y extremidades superiores e inferiores.
- Es necesario que en estudios antropométricos se incluya el error técnico de medición del evaluador para poder estimar el grado de precisión de sus medidas. Esto le otorgara fiabilidad a la prueba.

REFERENCIAS

1. (1992). *Correlaciones cineantropométricas entre sujetos deportistas y sedentarios*. Revista Apuntes, vol. XXIX
2. American College of Sports Medicine (2000). *Manual para el control y la prescripción de ejercicio*. Editorial Paidotribo
3. (1991). *Modificaciones antropométricas debidas al entrenamiento. Estudios longitudinales*. Archivos de Medicina del Deporte, vol. VIII, n 32
4. (1986). *Porcentual de grasa corporal. Comparación de dos ecuaciones para su cálculo*. Archivos de Medicina del Deporte, vol. III, n 12
5. Daniel, M., Martin, A., Fainman (1992). *Hormonas sexuales y distribución del tejido adiposo en mujeres fumadoras pre y menopausicas*. Actualización en Ciencias del Deporte, vol. 1, n 4
6. De Girolami, Daniel (2003). *Fundamentos de valoración nutricional y composición corporal*. Editorial El Ateneo
7. Durnin, J., Womersley, J (1977). *Medición de la grasa corporal por densitometría corporal total y su estimación por medición del grosor de pliegues cutáneos*. Revista de Medicina del Deporte Chile, volumen 22
8. Esparza, F. (coordinador) (1993). *Manual de cineantropometría*. Colección de monografías de medicina del deporte FEMEDE
9. Espinoza, C (1995). *Composición corporal, antropometría, tensión muscular y acondicionamiento cardiovascular con aplicación de un programa en máquinas de resistencia en damas*. Revista Educación Física, Chile, n 238
10. (1940). *Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte*. Editorial Gymnos
11. George, J., Fisher, G., Vehrs, P (1999). *Tests y pruebas físicas*. Editorial Paidotribo
12. (2002). *Bases biológicas del movimiento humano*. Editorial Médica Panamericana
13. Heyward, V (1996). *Evaluación y prescripción del ejercicio*. Editorial Paidotribo
14. Heyward, V. ASEP (2001). *methods recommendation: body composition assessment*. JEPonline; vol. 4, n 4
15. Holway, F (2003). *Composición corporal, primera parte*. Apuntes entregados en la certificación en cineantropometría dictado por la ISAK en la Universidad Mayor. Chile
16. Holway, F (2003). *Introducción a la cineantropometría*. Apuntes entregados en la certificación en cineantropometría dictado por la ISAK, en la Universidad Mayor. Chile
17. Howley, E., Franks, D (1995). *Manual del técnico en salud y fitness*. Editorial Paidotribo
18. (1994). *Efectos de un programa de entrenamiento con pesas en la composición corporal y somatotipo de damas escolares de 16 y 18 años*. Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte, vol. 39
19. (1998). *Estudio comparativo de composición ósea en hombres deportistas y sedentarios*. Archivos de la Sociedad Chilena de Medicina del Deporte, volumen 43
20. Lohman, T (1996). *Estimación de la distribución de tejido adiposo*. Actualización en Ciencias del Deporte, vol. 4, n 13. editada por Biosystem
21. (1996). *Evaluación de la composición corporal mediante absorciometría dual de rayos X: Aplicaciones y limitaciones en el ámbito del deporte. Métodos de estudio de composición corporal en deportistas. Investigaciones en Ciencias del Deporte*. Ministerio de Educación y Cultura. Consejo Superior de Deportes
22. Martin, A., Ross, W., Drinkwater, D., Clarys, J (1993). *Predicción sobre el tejido adiposo corporal mediante técnica de calibre para pliegues cutáneos: suposiciones y evidencia cadavérica*. Actualización en Ciencias del Deporte vol. 1 n 4. Editada por Biosystem
23. Master en Alto Rendimiento Deportivo (2003). *Centro Olímpico de Estudios Superiores*. España
24. (1998). *Física General. 4ª edición*. Oxford University Press
25. McArdle, W., Katch, F., Katch, V (1986). *Fisiología del ejercicio. Energía, nutrición y rendimiento humano*.

Editorial Alianza Deporte

26. McDougall, D., Wenger, H., Green, H (2000). *Evaluación fisiológica del deportista*. Editorial Paidotribo
27. Norton, K., Olds, T. (editors) (2000). *Antropométrica*. Editado por Biosystem
28. Pacheco, J (1996). *Valoración antropométrica de la masa grasa en atletas de élite. Métodos de estudio de composición corporal en deportistas. Investigaciones en ciencias del deporte. Ministerio de Educación y Cultura. Consejo Superior de Deportes*
29. Riera, J., Feliu, J., Javierre, C., Ventura, J (1992). *Variabilidad entre observadores de los parámetros determinantes de la composición corporal*. Revista Apunts, vol. XXXIX
30. Ross, W., Kerr, D (1998). *Fraccionamiento de la masa corporal: un Nuevo método para utilizar en nutrición clínica y medicina deportiva*. Proceedings de VI simposio internacional de actualización en ciencias aplicadas al deporte
31. (1985). *Modificaciones de la composición corporal durante la carrera de maratón*. Archivos de Medicina del Deporte, vol. II, n 5
32. (1994). *Validación de la plicometría frente a la ecografía (modo B) en la estimación del tejido adiposo subcutáneo*. Archivos de Medicina del Deporte, vol. XI, n 41
33. Schmidt, P., Carter, L (1990). *Static and dynamic differences among five types of skinfold calipers*. Human Biology, vol. 62 n 3. 369:388
34. Valenzuela, A (1996). *Obesidad*. Editorial Mediterráneo
35. Wells, C (1992). *Mujeres, deporte y rendimiento (perspectiva fisiológica) vol. 1.* . Editorial Paidotribo
36. Wilmore, J (2000). *Composición corporal y reservas de energía del cuerpo. La resistencia en el deporte*. Editorial Paidotribo

CITA

Cita en G-SE

Paulo Sáez Madain. *Revisión Analítica Sobre la Utilización de los Pliegues Cutáneos en la Cineantropometría. Las Formulas Bi-Compartimentales de División Corporal Basadas en la Medida del Panículo Adiposo*. G-SE. 25/07/2007. g-se.com/a/780