

Composición corporal y Metabolismo Energético

Síntesis Temática

Composición corporal

Introducción

El feto y el prematuro: Paradigmas de los cambios de composición corporal y de la aplicación práctica de su conocimiento.

Composición corporal total: Cambios observados desde el nacimiento hasta la adolescencia.

Recién nacidos hasta el año de vida

Niñez, pubertad y adolescencia

Composición corporal regional según edad, sexo y grupo étnico

Tejido adiposo: *Diferencias anatómicas y funcionales*

Diferencias según edad y sexo

Variación étnica

Índice cintura/cadera

Diferencias según edad y sexo

Circunferencia de cintura

Masa grasa subcutánea y Visceral

Distribución del tejido Adiposo durante el crecimiento

Cambios según el estadio madurativo

Cambios relacionados con la edad y pico máximo de crecimiento

Cambios relacionados con la maduración sexual en las niñas

Tejido esquelético

El esqueleto y sus partes

Contenido Mineral óseo y Densidad Mineral ósea

Masa Muscular Esquelética

Metabolismo Energético

Introducción

La Energía

Marco teórico del balance energético

Factores que afectan el gasto energético

Componentes del gasto energético

Gasto Energético Basal y en Reposo

Alimentos y gasto energético

Temperatura ambiente y gasto energético

Actividad física

Calorimetría

Calorimetría directa

Calorimetría indirecta

Calorímetros

Calorimetría indirecta y nutrientes

Cociente respiratorio

Calorimetría indirecta y ejercicio

Referencias

Composición corporal

por Laura Fiorito

Introducción

El conocimiento de la composición corporal es uno de los fundamentos de la nutrición. En las diferentes edades de la vida, así como en situaciones biológicas particulares -embarazo y lactancia- es de importancia básica para la determinación de los requerimientos nutricionales, para la interpretación del gasto energético, para monitorear y evaluar resultados de terapias de adelgazamiento y en la recuperación nutricional, en el manejo de distintas enfermedades que cursan con desnutrición o fallas de crecimiento, en la prevención de enfermedades degenerativas como arteriosclerosis y osteoporosis, cuando enfermos dependen para su nutrición exclusivamente de sondas o infusiones parenterales de nutrientes, y también para el consejo nutricional de deportistas.

La composición corporal del ser humano varía con la edad desde el tejido muy inmaduro de los fetos - y de los prematuros muy pequeños que sobreviven cada vez en mayor número- hasta la senectud. En la niñez tienen lugar importantes cambios en la composición corporal que se acentúan durante la adolescencia y existen diferencias entre niños y adolescentes de ambos sexos. Todos los métodos de evaluación nutricional -salvo, por supuesto, los destinados a evaluar nutrientes específicos-, sobre todos los basados en antropometría, necesitan su validación en el conocimiento de la composición corporal.

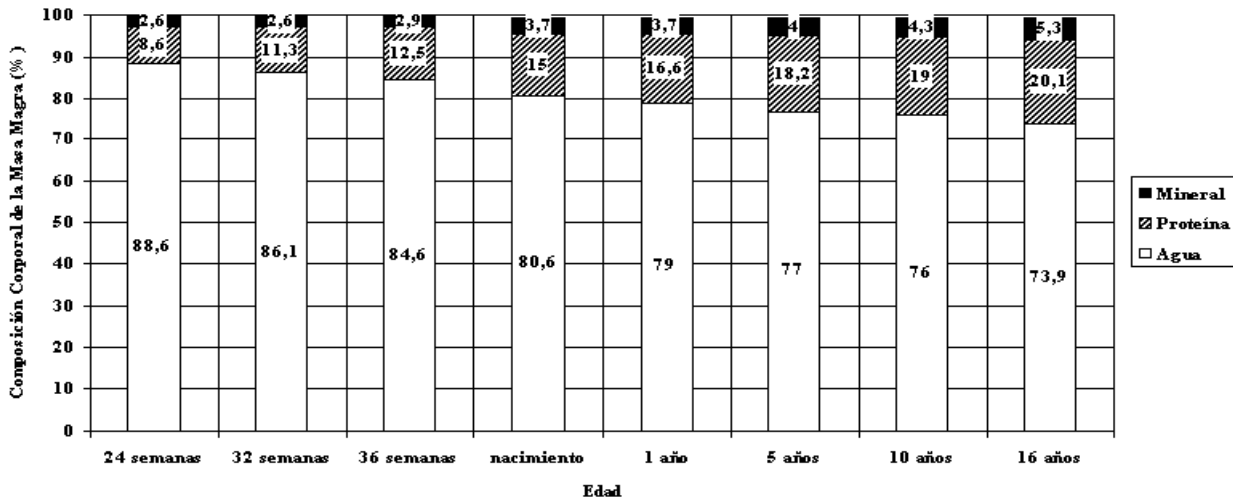
No debe por lo tanto extrañar los esfuerzos que se han hecho desde los albores de la nutrición científica para desarrollar métodos para medir composición corporal, que han ido desde el análisis químico de cadáveres hasta los más modernos que requieren de una aparatología y tecnología extremadamente costosa y sólo disponible en centros de investigación. Del conocimiento adquirido por estos métodos surge la validación e interpretación de la información obtenida por métodos más simples, accesibles en la práctica cotidiana y en atención primaria¹.

El feto y el prematuro: Paradigmas de los cambios de composición corporal y de la aplicación práctica de su conocimiento.

A lo largo de la vida la composición corporal varía en forma continua, en la contribución de los distintos compartimientos en que puede dividirse la masa corporal total: la masa magra corporal total (MM) donde la masa muscular es el componente

Figura 1

Composición de la Masa Magra Corporal a lo largo del crecimiento



Tomado y modificado de referencia 2, 6, 9

más abundante; la masa grasa corporal total (MGCT) que puede a su vez dividirse en tejido adiposo subcutáneo (TAS) y visceral (TAV); el agua corporal total en sus compartimientos extracelular, intracelular e intravascular; el contenido mineral en que el más importante en cantidad es el tejido óseo.

El ejemplo de cambios en la composición corporal más paradigmático es el crecimiento del feto por la velocidad con la que ocurren estos cambios y los tiempos en la gestación en que estos ocurren, y que pueden observarse en la *figura 1* y *2* que se refieren al intervalo entre la semana 24 y 40 el nacimiento, pues son las edades -y los pesos correspondientes a estas edades que hoy son el límite de la viabilidad de prematuros.

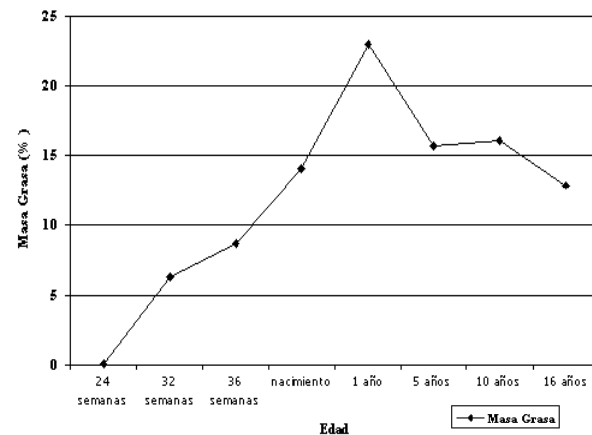
De la *figura 1* se desprenden varias observaciones. La primera es que cuanto más inmaduro es el feto -o el prematuro- mayor es el porcentaje de agua del tejido magro, como sucede en todas las especies, tendencia que continúa en edades posteriores de la vida, pero con mucha mayor lentitud. La segunda es que el mayor apòsito porcentual de proteína y de minerales tiene lugar entre las semanas 27 y 32, que es su vez el período de mayor velocidad de incremento de peso, expresado por Kg. de peso. Por último, en las últimas 8 semanas de gestación, la situación biológica más evidente es la aposición de tejido adiposo, que requiere obviamente de una cantidad de energía mucho mayor, por Kg. de peso que en las etapas previas de la gestación. Así, los recién nacidos de término tienen un aspecto querúbico que resulta de esta acumulación de grasa, que no tienen los prematuros, ni los niños que por problemas placentarios, hipertensión materna, tóxicos maternos y otras causas, sufren privación del flujo placentario.

Aunque existen numerosas hipótesis, no son conocidos los disparadores de estos cambios en la composición corporal dentro del útero. Pero bajo el punto de vista nutricional se ha considerado como ideal lograr en la alimentación de los prematuros una composición corporal similar a la de los fetos dentro del útero, a edades gestacionales correspondientes.

Si se calculan las necesidades en macronutrientes de un prematuro en distintas etapas de la gestación, tomando como patrón un "feto de referencia"¹², según sus cambios en la composición corporal, y considerando la inmadurez fisiológica general

Figura 2

Porcentaje de Masa Grasa a lo largo del Crecimiento



Tomado y modificado de referencia 2, 6, 9

y particular del aparato digestivo y renal del prematuro, se concluirá que los requerimientos y las recomendaciones alimentarias serán muy diferentes para un prematuro de 28, 30 o 35 semanas que para un recién nacido de término. Debería haber una fórmula diferente para cada semana de gestación. Calculando los requerimientos con este criterio, al final de la gestación se llega a una fórmula cuyo contenido en proteína y densidad energética es casi idéntica a la composición de la leche humana de término³.

Este enfoque ha sido la base para la formulación de todas las fórmulas de prematuros que se emplean en el mundo, así como de los fortificadores de la leche humana que se indican a los prematuros más pequeños.

Composición corporal total: Cambios observados desde el nacimiento hasta la adolescencia.

El cuerpo humano es un organismo complejo, compuesto por una variedad de tejidos que modifican su composición a lo largo del crecimiento. Es importante reconocer que los compartimentos corporales se ven afectados por la edad, el sexo y también por el origen étnico.

Nos vamos a focalizar en los principales componentes: masa magra, masa grasa, agua corporal total, compartimentos líquidos, contenido mineral óseo; y en los cambios observables desde el nacimiento hasta la adolescencia.

Recién Nacido hasta el Año de Vida

Gran parte de la información respecto a la masa muscular, agua corporal total, y otros componentes corporales en el recién nacido provienen de estudios en animales sobre todo respecto a cambios en los valores de agua, cloro, sodio y potasio. Widowson y Dickerson⁴ observaron que en el ser humano recién nacido el 27% del nitrógeno, 33% del potasio y 28% del agua corporal total se encontraba en el tejido muscular. También determinaron que el músculo esquelético del recién nacido constituye alrededor del 25% del peso de la masa corporal. En términos relativos, la masa muscular del recién nacido es mucho menor que la masa muscular del adulto, que se estima en 40% del peso corporal. Al nacer, aproximadamente 11% del peso corporal del lactante es grasa y alrededor del 89% es masa magra. La masa magra está constituida por 11% de proteína, 75% de agua, 2.5% de minerales, carbohidratos, y compuestos nitrogenados no proteicos⁵. Fomon et al.⁶, calcularon que al nacer ambos sexos no difieren en cuanto al contenido relativo de agua, grasa, proteínas, y mineral de origen óseo y no óseo.

En el recién nacido la masa magra está compuesta fundamentalmente de agua (79 a 80%); proteína (15 a 16%) y minerales (4 a 5%). Alrededor del 61% del agua corporal forma parte del líquido extracelular (LE) y alrededor del 39% del líquido intracelular

(LI), presentando una relación LE/LI alrededor del 1.5.

Durante los primeros meses de vida, el peso corporal y la talla aumentan progresivamente. Así al alcanzar el año el peso corporal se ha triplicado y la longitud corporal ha aumentado 50%. La velocidad de aumento de peso es mayor durante los dos primeros meses con un incremento promedio de 33 g por día en el sexo masculino y de 28 g por día para el sexo femenino. Al mismo tiempo, el incremento de la longitud corporal de los lactantes es de 1 mm por día en ambos sexos durante los dos primeros meses, disminuyendo hasta 0.4 mm por día a los 12 meses de vida⁷.

Cambios correspondientes en los diferentes componentes corporales incluyen un incremento de 8 a 9% de la masa grasa total hasta alcanzar 22 a 24% del peso corporal total al año de edad y un aumento mayor al 100% de la masa magra.

Un cambio notable en los constituyentes de la masa magra es el movimiento de agua desde el compartimiento extracelular al intracelular, aunque sólo se observa un mínimo aumento del agua corporal total (1 a 2%). En términos generales, el LE disminuye de 50 a 42%, mientras el LI aumenta de 30 a 37%. Estos cambios son similares en ambos sexos. Los cálculos de Fomon et al.⁶ son congruentes con los hallazgos de Friss-Hansen⁸, quien observó que los valores agua corporal total oscilan entre 70 y 83% del peso corporal en el recién nacido.

Paralelamente con el aumento del LI, en el recién nacido se produce un aumento del potasio corporal de 49 a 57 mEq/Kg. de masa magra al año de edad y un incremento proteico de alrededor del 2%. El potasio corporal se ubica principalmente en el LI, por lo tanto es un indicador de masa magra y de masa celular activa. En el lactante se produce un aumento del potasio corporal total de alrededor de 9 a 15 g durante el período que va desde el mes hasta el año de vida.

Niñez, Pubertad y Adolescencia

Numerosas diferencias entre la composición corporal del niño y del adolescente dependen del momento y de la velocidad con que se producen los cambios puberales.

A los 2 años de edad, la proporción del LE ha disminuido otro 2%, mientras que el LI ha aumentado 2%. Como es de esperar durante este período se produce un incremento de las proteínas y del potasio corporal total, mientras el mineral óseo se mantiene en el mismo nivel que el observado en el recién nacido.

A los 5 años de edad el agua corporal total de la masa magra disminuye lentamente desde 79% al año de vida hasta aproximadamente 77%⁶ (Figura 1). Durante este período, la disminución del LE y el

aumento en el LI es mayor en los niños que en las niñas. Esto indica que la masa celular es mayor en el sexo masculino que en el femenino, confirmándose a través de los valores más altos de potasio corporal total, contenido de proteína y densidad de la masa magra. El mineral óseo de la masa magra incrementa de 3.0 a 3.6% en los niños, pero no en las niñas. A partir de esta edad comienzan a observarse diferencias sustantivas en el contenido mineral óseo de la masa magra entre sexos.

A los 10 años de edad, aproximadamente 20% de la masa magra del niño está constituida por proteína, mientras que en las niñas representa un porcentaje menor a 19%⁶. El contenido de agua de la masa magra es de 75% en los niños y 77% en las niñas. El LI, mineral óseo y potasio corporal continúan aumentando más rápidamente en los niños que en las niñas. De esta manera, el mineral óseo es 1% mayor y el potasio corporal total es aproximadamente 3 mEq/kg de masa magra mayor en los niños respecto a las niñas⁵.

Desde los 10 a los 20 años de edad, el aumento de la masa magra en los varones es de 33 Kg., mientras que el aumento en las mujeres durante el mismo período es solo de 16 Kg. El aumento en la masa magra continúa por un período más prolongado en el varón que en la mujer; los niveles adultos se alcanzan en la mujer a los 18 años pero el hombre recién a los 20 años. Entre los 10 y 16 años de edad el agua corporal total disminuye a 73% en ambos sexos⁹. La relación entre agua corporal total y masa magra es significativamente mayor en los niños prepúberes respecto a los jóvenes adultos.

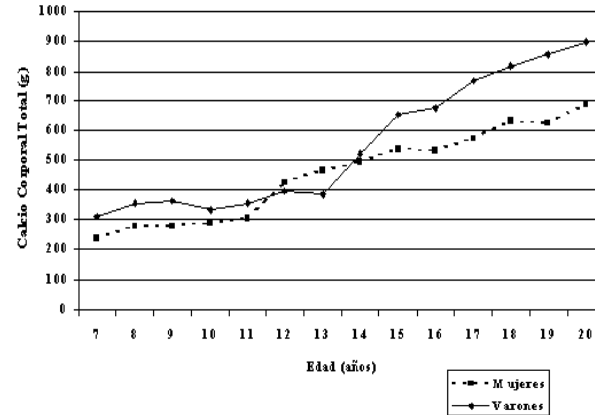
Durante la adolescencia hay un aumento del contenido de calcio de la masa magra, que es más veloz que el aumento del contenido de potasio, lo que sugiere que el crecimiento de la masa magra esquelética es más rápida que el de la no-esquelética.

Las diferencias entre sexos en cuanto a la velocidad de incremento del calcio corporal total sugieren que los cambios están relacionados con el momento en que se produce la pubertad. El mayor incremento de calcio corporal total ocurre entre los 11 y 12 años en las mujeres (incremento de 40%) y entre los 13 y 14 años en los varones (incremento de 35%); *Figura 3*. En valores absolutos la cantidad de calcio en los varones es marcadamente mayor que en las mujeres¹⁰.

A los 5 años de edad existen diferencias en los valores relativos de masa grasa corporal total, que son menores en los niños (14.6%), que en las niñas (16.7%). La diferencia en los valores de masa grasa corporal total entre sexos aumenta hasta alcanzar 6% a los 10 años de edad. No existen cambios en el porcentaje de masa grasa corporal total en niñas entre 10 y 18 años de edad, aunque el incremento anual de la masa grasa corporal total es de 1.14

Figura 3

Promedio de Calcio Corporal Total en Niños y



Tomado de referencia ¹⁶

Kg. por año. En cambio, en los varones el porcentaje de masa grasa corporal total disminuye anualmente en 1.15% en el mismo rango de edad. Esta disminución relativa es atribuida a un aumento anual de 4.38 Kg. de la masa magra, en ausencia de un gran cambio de la masa grasa total¹¹.

A partir de los 9-10 años y hasta los 16 años de edad en el sexo femenino se produce un aumento de 51% en el espesor de los pliegues cutáneos y una disminución de la densidad corporal de 0.7% como consecuencia del acumulo de tejido adiposo.

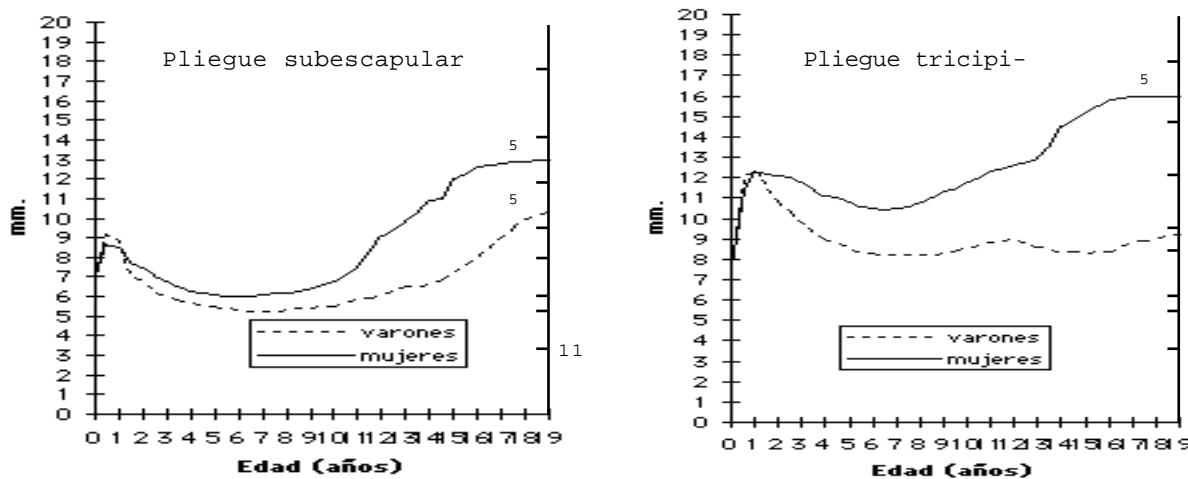
Composición corporal regional según edad, sexo y grupo étnico

La composición corporal regional se refiere a la variación en la distribución anatómica de los principales componentes de la masa corporal (tejido adiposo, músculo y tejido esquelético).

La estimación global de la masa magra y grasa no da información respecto a la distribución del tejido adiposo, músculo y tejido esquelético que varían significativamente según edad, sexo y grupo étnico. Y también según el momento en que se produce la maduración sexual y el pico de crecimiento.

El estudio de la composición corporal regional del tejido adiposo y esquelético tiene relevancia clínica. La gordura abdominal es considerada como factor de riesgo de enfermedades degenerativas de la edad adulta, como por ejemplo enfermedades cardiovasculares o diabetes no insulino dependiente¹². La variabilidad en la cantidad y distribución del mineral óseo en distintos grupos étnicos sugiere diferencias metabólicas epidemiológicamente significativas en la etiología de las fracturas de cadera¹³.

Figura 4

Percentilo 50 del espesor del pliegue cutáneo subescapular y tricípital en varones y mujeres de 0-19


Tomado y modificado de referencia 32

**Tejido Adiposo:
Diferencias Anatómicas y Funcionales**

Se puede dividir al tejido adiposo entre visceral (TAV) o interno y subcutáneo (TAS) o externo. La información respecto a la contribución del TAV y TAS a la masa grasa total durante la niñez es limitada; y la mayoría de la literatura se refiere a la distribución del tejido adiposo en base al espesor de los pliegues cutáneos del tronco respecto al de las extremidades.

Actualmente no existe consenso respecto a cual es el mejor método para definir y describir la distribución del tejido adiposo. Principalmente se han utilizado dos enfoques para describir cambios relativos en la distribución del TAS a través de las etapas de la vida: a) análisis del espesor de los pliegues cutáneos y b) razones entre pliegues cutáneos y/ o circunferencias corporales. Dependiendo de los pliegues cutáneos que se incluyan en el análisis se pueden distinguir los principales componentes según el espesor de los pliegues cutáneos del tronco o extremidades, o entre tronco superior e inferior, o brazos y piernas¹⁴.

La razón entre el espesor de varios pliegues cutáneos en diferentes sitios del tronco (T) y extremidades (E) permite describir la distribución relativa del tejido adiposo; la utilización de varios pliegues cutáneos en el T y en las E permite una mejor diferenciación de la distribución de la gordura, respecto a la toma de un solo pliegue. El índice cintura/cadera (IC/C) es ampliamente utilizado para diferenciar la distribución del tejido adiposo central (androide) y periférico (ginoide). Aunque los índices tienen obvias limitaciones, son simples y útiles para utilizar en encuestas y en el área clínica¹⁵.

La tomografía axial computada es la herramienta más precisa para el estudio del TAV y TAS en la región abdominal. Pero es poco utilizada ya que re-

quiere exposición a la radiación y su costo es elevado. Si bien la resonancia magnética nuclear también provee información sobre la distribución del tejido adiposo subcutáneo y visceral en niños y jóvenes, tiene un costo e inconvenientes similares a la tomografía.

Diferencias según edad y sexo

La figura 5 muestra los cambios en la razón entre el espesor de los pliegues del T y de las E desde el mes de vida hasta los 21 años de edad (índice T/E). El índice se basa en la suma del espesor de los pliegues subescapular-supraillaco (T) y del tríceps-bíceps (E). Después del nacimiento, en el lactante el espesor del TAS en T y E, es prácticamente similar (el valor del índice es aproximadamente 1.0). Disminuye durante la infancia temprana, alcanzando el valor más bajo alrededor de los 5 años. O sea que ocurre una acumulación proporcionalmente mayor de TAS en las E que en el T. Las diferencias del índice entre sexos es prácticamente despreciable¹⁶.

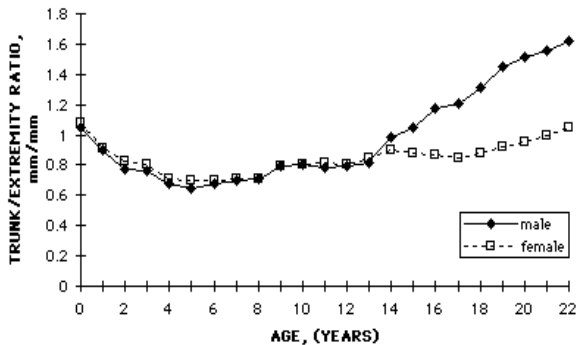
Después de los 5 años de edad, el índice comienza a aumentar gradualmente en ambos sexos hasta los 13 años de edad, donde la diferencia entre sexos continúa siendo pequeña. Durante la adolescencia y juventud la distribución del TAS cambia, particularmente en el sexo masculino, donde se observa un aumento de TAS mayor en el T que en las E; mientras que en la mujer el aumento de TAS es similar en el T y en las E¹⁷.

Variación Étnica

Las observaciones realizadas en la distribución del TAS en distintos grupos étnicos muestran un patrón mayormente central en niños y jóvenes descendientes de negros, mexicanos y japoneses en comparación con los blanco americanos quienes presentan un patrón mayormente periférico¹⁴.

Figura 5

Promedio de Calcio Corporal Total en Niños y Adolescentes

Tomado de referencia ¹⁶

Índice Cintura/Cadera: Diferencias según edad y sexo

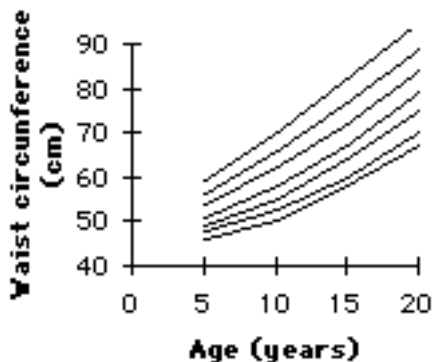
El índice entre la circunferencia de la cintura y la circunferencia de la cadera se utiliza comúnmente como indicador de la distribución del tejido adiposo visceral. Sin embargo, este índice se ve influenciado por otros compartimentos corporales¹⁵.

Si bien es aceptada la utilidad clínica del índice cintura/cadera (IC/C) en adultos como indicador de la distribución relativa del tejido adiposo, su utilidad en niños y jóvenes aún no está establecida. Un IC/C elevado indica mayor tejido adiposo abdominal, pero no permite distinguir con precisión si es TAV o TAS.

La media del IC/C no difiere en niñas adolescentes entre 10 y 16 años de edad de distintas etnias, agrupadas según estadio de maduración sexual. Lo mismo ocurre en adolescentes americanos de ambos sexos, con ancestros blancos, negros y asiáticos¹⁸.

Figura 6

Percentilos (5, 10, 25, 50, 75, 90, 95) de la circunferencia de cintura en varones.

Tomado de referencia ²⁰

Circunferencia de Cintura

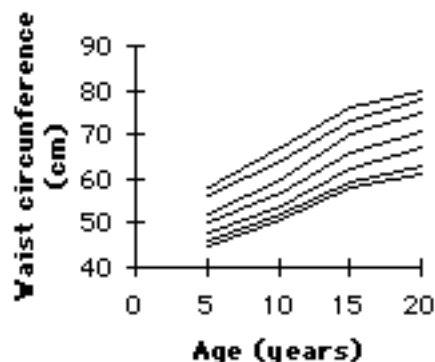
El aumento de la prevalencia de obesidad pediátrica ha llevado a desarrollar una herramienta antropométrica simple que permita evaluar e identificar aquellos niños que se encuentran en riesgo de desarrollar obesidad y consecuentemente requieran intervención adecuada. Las estimaciones de la prevalencia de sobrepeso y obesidad generalmente se basan en la medición del IMC; para ello se han desarrollado curvas percentilares de IMC adecuadas a la población pediátrica con fines clínicos y epidemiológicos. El IMC podría ser un indicador poco sensible para determinar la gordura en la población pediátrica, sin proveer información respecto a la distribución de la masa grasa.

En la población pediátrica no se le ha dado importancia a la circunferencia de cintura como medida de adiposidad debido a que los riesgos de salud del niño asociados con acumulación de grasa abdominal excesiva no están claros como ocurre en el adulto. Sin embargo ciertas evidencias sugieren que deberíamos comenzar a preocuparnos al respecto. Por ejemplo se ha observado una relación estrecha entre el aumento de la circunferencia de cintura en niños obesos de 12 a 14 años de edad y un perfil lipoproteico aterogénico adverso. Se ha demostrado una asociación negativa entre la distribución de la grasa abdominal y concentraciones de triglicéridos, colesterol LDL, colesterol HDL e insulina, en niños entre 5 y 17 años de edad¹⁹. Lo que sugiere, que la obtención de información de la circunferencia de cintura en niños podría ser tan útil como el IMC con el objetivo de identificar niños con sobrepeso u obesidad y así poder identificar aquellos niños que podrían ser beneficiarios de una intervención dietética en conjunto con actividad física temprana.

Hasta el momento se han desarrollado curvas percentilares de la circunferencia de cintura para la población de niños Italianos, Cubanos, Españoles y Británicos. Las figura 6 y 7 muestran las curvas per-

Figura 7

Percentilos (5, 10, 25, 50, 75, 90, 95) de la circunferencia de cintura en mujeres.

Tomado de referencia ²⁰

centilares de la circunferencia de cintura en niños Británicos entre 5 y 16.9 años de edad. La circunferencia media de la cintura incrementa con la edad en ambos sexos, sin embargo el incremento es mayor en los varones respecto a las mujeres. Al acercarse al rango de edad superior, en las niñas la curva tiende a una meseta, mientras que en los niños continúa aumentando. Este comportamiento probablemente se deba a diferencias temporales del desarrollo puberal y las influencias específicas de cada sexo sobre la circunferencia de cintura.

Debido a la relación observada entre circunferencia de cintura, depósito de grasa visceral y factores de riesgo de enfermedad cardiovascular en niños se podría tomar la circunferencia de cintura como una medida alternativa o adicional al IMC. La circunferencia de cintura es una medida directa, que requiere equipamiento simple, de bajo costo y la toma de una única medida (o la media de dos o tres mediciones).²⁰

Masa Grasa Subcutánea y Visceral

La masa grasa corporal puede subdividirse en sus componentes subcutáneo y visceral utilizando procedimientos antropométricos. Los componentes de la masa grasa total muestran un comportamiento diferente en ambos sexos entre los 18 y 23 años de edad. La masa grasa subcutánea comprende un porcentaje mayor de la masa grasa total en las mujeres respecto a los varones. De ello se puede inferir que el sexo masculino tiene proporcionalmente mayor masa grasa visceral¹⁵.

La masa grasa visceral o intra-abdominal tiene importancia por su asociación con la diabetes tipo II. Alrededor de los 11 años de edad la diferencia entre sexos en la gordura abdominal es prácticamente mínima. Entre niñas que se encuentran en la etapa inicial y final de la pubertad no se observan diferencias en relación al TAV de la región abdominal. Sin embargo, el área del TAS es significativamente mayor en las niñas que se encuentran en la etapa inicial de la pubertad. En relación con las mujeres de 20 a 40 años de edad, las mujeres durante el comienzo de la adolescencia presentan poco TAV, lo que sugiere que el TAV de la región se acumula a fines de la adolescencia²¹. El aumento franco del TAV en las mujeres se produce después de la menopausia.

Distribución del Tejido Adiposo Durante el Crecimiento

La distribución del tejido adiposo varía considerablemente durante la adolescencia. Sin embargo, la magnitud de estos cambios se ve influenciada por el momento en que se produce la maduración sexual y el pico máximo de crecimiento en cada individuo. Por ello, es necesario tener en cuenta la individualidad del proceso madurativo en las variaciones en la distribución del tejido adiposo¹⁵.

Cambios según el estadio madurativo.

En los varones la razón entre el espesor de los pliegues cutáneos del tronco y extremidades aumenta con la maduración sexual¹⁴. Esta tendencia muestra la simultánea disminución en el espesor de los pliegues cutáneos de las extremidades y un aumento en el espesor de los pliegues del tronco, a medida que progresa la maduración sexual en el varón¹⁷. Este comportamiento no se observa en la mujer.

Individuos que están en un mismo estadio madurativo, pero de edad cronológica diferente, difieren en cuanto a tamaño, físico, y composición corporal. Por ejemplo una niña de 14 años de edad, que se encuentra en el grado 2 del desarrollo mamario, difiere de una niña de 10 años que se encuentra en el mismo estadio. O una niña de 14 y otra 10 años de edad que todavía no han alcanzado la menarca, difieren entre sí¹⁷.

Entre niñas de 12 años de edad clasificadas según estadios de maduración temprana o tardía sólo se encontraron diferencias en la gordura total (el espesor de los pliegues cutáneos tomados en 5 regiones diferentes fue mayor en las niñas de maduración temprana) pero no en la distribución relativa de TAS. La misma tendencia se observó en niñas de 17 años de edad clasificadas según maduración temprana o tardía de acuerdo a la edad en que se produjo la menarca. Por lo tanto, la maduración temprana en las niñas está asociada con mayores niveles de gordura pero no a una distribución del TAS distinto.

Los varones de 14 años de edad que maduran temprano, presentan relativamente mayor TAS en el tronco durante la adolescencia y edad adulta, con respecto al promedio y a los que maduran más tarde, lo que sugiere que los cambios relacionados con el momento de maduración persisten durante la edad adulta²².

El estadio de maduración sexual y ósea justifica 20% de la varianza de la razón entre el espesor de los pliegues cutáneos del tronco y extremidades en los niños de 14 años, mientras que la maduración ósea sólo explica 5% de la varianza del índice T/E en los varones de 17 años de edad. En contraste, la ausencia de varianza del índice T/E en las niñas de 12 y 17 años de edad puede ser explicada por indicadores del estadio madurativo²³.

Cambios relacionados con la edad y pico máximo de crecimiento

Un factor que influye en el índice T/E durante la adolescencia es el comportamiento específico de los pliegues cutáneos en relación a la edad en que se produce el pico máximo de crecimiento, especialmente en el varón. El espesor de los pliegues cutáneos en las diferentes áreas del cuerpo cambia en relación al momento en que se produce el pico máximo de crecimiento. En general el espesor de los pliegues cutáneos comienza a disminuir al

aproximarse el momento en el que se produce el pico máximo de crecimiento.

Los pliegues de cada región corporal muestran un comportamiento diferente, por lo tanto las estimaciones de la distribución del TAS basadas en mediciones de un solo pliegue deben ser tomadas con precaución¹⁵.

Cambios relacionados con la maduración sexual en las niñas

Durante mucho tiempo se relacionó el grado de gordura como factor desencadenante de la maduración sexual de las niñas. Pero no hay evidencias que el nivel de gordura sea una variable crítica en la aparición de la menarca¹⁷.

No existen diferencias en el TAV a nivel de la cintura entre las niñas de pubertad temprana o tardía. Sin embargo, el TAS es mayor en las niñas que atraviesan pubertad tardía, particularmente a nivel de la cintura y cadera.

Esto es coherente con los cambios del IC/C a medida que se produce la maduración sexual en las niñas¹⁸, con el ensanchamiento de la pelvis y con la mayor acumulación de TAS en las caderas. Por el contrario, los cambios son menores en la circunferencia de la cintura.

Si se relaciona la distribución relativa del tejido adiposo con el estadio de la menarca, se puede observar lo siguiente: a) un aumento de la masa grasa total a medida que se aproxima la menarca. El aumento se produce a costa de una mayor acumulación de TAV mientras que el TAS se mantiene constante; b) un aumento de la gordura total y del TAS durante la transición de la premenarca a la posmenarca; proporcionalmente se acumula mayor TAS en el tronco respecto a las extremidades; c) En el período posterior a la menarca, se acumula proporcionalmente mayor TAV, mientras que la distribución relativa de TAS no se altera.

Tejido Esquelético

Uno de los mayores obstáculos para cuantificar el tejido esquelético ha sido la falta de métodos in vivo. Sin embargo recientemente la absorciometría dual de rayos X (DXA) ha permitido cuantificar su contenido óseo¹⁵.

El esqueleto y sus partes

La longitud de los segmentos corporales en relación a la estatura o la longitud total varía entre individuos; existen también diferencias en las proporciones según edad, sexo y grupo étnico. El índice talla sentada/talla parada indica la contribución del tronco, cuello y cabeza (como unidad) a la estatura total. El índice es mayor en los lactantes y disminuye durante la niñez hasta alcanzar el punto más bajo a principios de la adolescencia. Así el punto más bajo ocurre durante el pico de creci-

miento, ya que el crecimiento se produce prioritariamente a expensas de las piernas; a fines de la pubertad el índice aumenta como resultado del leve crecimiento en la columna vertebral¹⁵ que continúa una vez cesado el crecimiento de las piernas.

Durante la niñez prácticamente no hay diferencia en el índice talla sentada/talla parada entre sexos. Pero a partir de los 10 a 12 años de edad, el índice aumenta ligeramente en las niñas y se mantiene así durante la adolescencia y adultez. O sea que en la adolescencia y edad adulta las mujeres tienen extremidades proporcionalmente más cortas, con respecto a varones de la misma edad¹⁷.

Existe variación étnica en el índice talla sentada/talla parada, el cual es consistentemente menor en los individuos de raza negra desde la infancia hasta la adultez, mientras que entre los blancos y México-americanos sólo difiere ligeramente. De todas maneras el índice debe ser considerado en el contexto de la estatura. La estatura media de los niños negro y blanco americanos solo difiere ligeramente, mientras que los México-americanos son más bajos. A una misma altura, los negros tienen troncos relativamente más cortos o inversamente, extremidades más largas respecto a los blanco americanos y mexicanos. Las proporciones de la longitud del tronco y extremidades inferiores en relación a la estatura no presentan diferencias marcadas entre los blancos y México-americanos, aunque la longitud de ambos segmentos es más corta entre los últimos²⁵.

Los individuos americanos descendientes de asiáticos también tienden a ser más bajos que los blanco y negro americanos. La diferencia se debe a que las extremidades inferiores son más cortas¹⁷.

El esqueleto pesa alrededor de 95 g en el lactante de sexo masculino, y apenas un poco menos en el sexo femenino. En los jóvenes adultos, el esqueleto pesa alrededor de 4.0 Kg. en el hombre y 2.8 Kg. en la mujer. El esqueleto representa 3% del peso corporal del feto y del recién nacido y entre 6 a 7% del peso corporal del adulto. El mineral óseo representa alrededor del 2% del peso corporal del lactante y entre 4 a 5% del peso corporal del adulto. El esqueleto es definitivamente más pesado y tiene mayor contenido de mineral óseo en los individuos negro americanos que en los blancos desde la lactancia hasta la edad adulta.

Se han observado las siguientes variaciones de las densidades de los componentes del esqueleto según sexo y grupo étnico¹⁵.

1. Los huesos largos (miembros y costillas) son más densos que las vértebras.
2. Las vértebras cervicales son más densas que otras vértebras en los hombres pero no en las mujeres.
3. En los hombres, los huesos son más densos

que en las mujeres.

4. Los huesos de los individuos negro-americanos son más densos que los de los blanco americanos.
5. La densidad de cada hueso en ambos sexos y grupos étnicos disminuye con la edad.

El esqueleto está compuesto por mineral óseo y la matriz ósea orgánica. El maxilar inferior tiene el mayor porcentaje de mineral corporal mientras que en el esternón se observa el valor más bajo. El cráneo y los huesos largos de los miembros contienen valores cercanos al maxilar inferior, mientras que las vértebras, costillas y huesos de la pelvis presentan valores cercanos al esternón. En general, el porcentaje de peso de los minerales corporales es mayor en el hombre que en la mujer, lo que sugiere que la diferencia en la densidad ósea entre sexos está relacionada con el mineral óseo.

Contenido Mineral Óseo y Densidad Mineral Ósea

Se han observado las siguientes tendencias en el contenido y la densidad mineral ósea, a partir de mediciones realizadas por DXA, desde la niñez hasta la edad adulta. No existen diferencias en los valores del contenido y la densidad mineral ósea entre sexos desde la niñez hasta la mediana adolescencia, excepto que la densidad de los miembros superiores tiende a ser ligeramente mayor en los varones. A fines de la adolescencia y principios de la edad adulta, el contenido y la densidad mineral ósea es mayor en el sexo masculino salvo que entre los 15 y 16 años de edad la densidad de la pelvis es mayor en las mujeres. Esta tendencia se mantiene durante la edad adulta²⁶.

Las siguientes tendencias del contenido mineral óseo pueden observarse entre los 8 y 9 años y entre los 15 y 16 años de edad: (1) La contribución del mineral óseo de la calota al mineral óseo corporal total disminuye aproximadamente de 33 a 20%, en ambos sexos; (2) el tronco aporta entre 14 y 15% al mineral óseo corporal total, valor que permanece estable; (3) el aporte del mineral óseo de los miembros y la pelvis al mineral óseo corporal total aumenta desde la niñez hasta la mediana adolescencia: el incremento en los miembros superiores es de 9 a 12% en ambos sexos; en los miembros inferiores, 33 al 38% en las mujeres y 29 al 41% en los hombres; en la pelvis el incremento es de 10 a 13% en ambos sexos²⁷.

El mineral óseo corporal total no difiere significativamente entre sexos al comienzo de la pubertad, pero se hace considerablemente mayor en los varones hacia fines de la pubertad²⁸. En las mujeres el incremento más importante ocurre entre los 11 y 14 años de edad y en los hombres entre los 13 y 17 años de edad. Estos cambios coinciden con el pico máximo de crecimiento y la maduración sexual del adolescente²⁹.

Masa Muscular Esquelética

Si bien el músculo esquelético es el tejido responsable del trabajo y actividad física, es el componente corporal más difícil de cuantificar in vivo. Las estimaciones de la masa muscular determinadas a partir de la excreción de creatinina o de la concentración de potasio, muestran un patrón de crecimiento similar al del peso corporal. Previo al pico máximo de crecimiento durante la adolescencia las diferencias entre sexos son mínimas, pero al alcanzar la adolescencia el hombre adquiere mayor masa muscular que la mujer, diferencia que luego persiste durante toda la vida³⁰.

Durante el crecimiento cada región corporal contribuye de manera diferente a la masa muscular total. Al nacer el tronco y la cabeza representan aproximadamente 40% del peso muscular total y 25 a 30% una vez alcanzada la madurez. Al nacer los músculos de las extremidades inferiores representan 40% del peso muscular total y 50% una vez alcanzada la madurez, mientras que los músculos de las extremidades superiores representan un valor relativamente constante (18 a 20%).

Los músculos de las extremidades aumentan de tamaño durante la infancia y adolescencia, y muestran un patrón de crecimiento similar al peso corporal y del aumento la masa muscular.

Durante la adolescencia en ambos sexos, se establecen diferencias en la anchura de los músculos, siendo más aparentes en las extremidades superiores que inferiores. Durante esta etapa, entre los 10 y 16 años en las mujeres y entre los 12 y 18 años en los varones, se produce un aumento alrededor del 30% en la anchura de los músculos de la pantorrilla; sin embargo la anchura de los músculos del brazo en los varones aumenta 40%, en comparación a 28% en las mujeres. De este modo a los 18 años de edad la musculatura del brazo del varón supera en 25% a la de la mujer, mientras que la diferencia en la musculatura de la pantorrilla es apenas del 10%.

Al observar el crecimiento de la anchura de los músculos del brazo y la pantorrilla se puede observar una clara diferencia entre sexos. El varón muestra un crecimiento bien definido durante el pico máximo de crecimiento mientras que la mujer muestra un incremento menos dramático, seguido por una meseta que persiste durante la pubertad. El crecimiento en el varón duplica aproximadamente la magnitud al de la mujer³¹.

La anchura de los músculos del brazo y la pantorrilla también muestra variaciones asociadas a la madurez. En aquellos niños cuya maduración sexual y ósea es avanzada, se puede observar que los músculos del brazo y la pantorrilla son significativamente más anchos, lo que refleja el mayor tamaño corporal de los maduradores tempranos¹⁷.

Metabolismo Energético

por Carolina Chevallier

Introducción

En los últimos años ha resurgido el interés por el metabolismo energético, asociado principalmente a dos grandes áreas. Por un lado ha aumentado la conciencia pública acerca de la importancia de la dieta y el ejercicio para mantener un buen estado físico; y por otro lado existe una gran preocupación por determinar los requerimientos calóricos de los paciente críticamente enfermos que reciben alimentación enteral y parenteral.

Al mismo tiempo ha ido apareciendo una nueva generación de instrumentos para medir calorimetría indirecta, que sigue siendo el método de elección para la medición del metabolismo energético en humanos.

Los primeros desarrollos sobre el tema y las primeras aproximaciones a los métodos de cálculo del gasto energético y la utilización de combustible datan de los años 40': Weir¹, Swift and French, posteriormente Conzolato, Johnson y Pecora², y más recientemente Mc Lean y Tobin³. Durante estos últimos años Goran⁴, Treuth⁵ y Maffei^{6,7} han publicado sobre este tema.

La energía

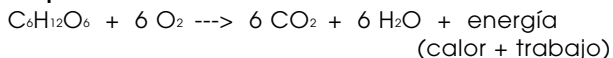
La vida del ser humano depende principalmente de la conversión de energía química en otras formas de energía. Estas conversiones, también llamadas "transducciones", se encuentran limitadas por la primera ley de la termodinámica, que establece que la energía total de un sistema no se crea ni se destruye sino que se transforma⁸.

En nuestra biosfera hay tres etapas principales de transducción o transformación de energía: fotosíntesis, respiración celular y trabajo celular.

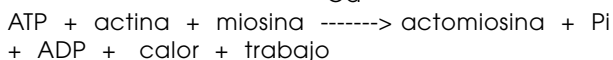
Fotosíntesis:



Respiración celular:



Trabajo celular: existen varios tipos de trabajo celular como mecánico, sintético, químico, osmótico y eléctrico. La contracción muscular por ejemplo, es un tipo de transducción de energía química-mecánica.



Marco teórico del balance energético

En el cuerpo humano la única fuente de energía es el alimento, que puede ser expresada como inges-

ta calórica. El gasto energético que también puede llamarse pérdida calórica, consiste en pérdidas como calor o trabajo mecánico.

El balance energético ocurre cuando la energía consumida a través de alimentos es igual a la energía utilizada por el organismo. Cuando la energía ingerida excede el gasto, ocurre un balance positivo. De este modo el cuerpo acumula energía a través de reservas, principalmente por la síntesis de tejido graso. Cuando el ingreso energético es menor que el requerido, se da un balance negativo. El balance energético puede ocurrir independientemente de los niveles de ingesta y del grado de actividad física, es decir que puede darse en individuos extremadamente sedentarios o muy activos, siempre y cuando la energía que ingresa al organismo iguale a la que éste consume.

Cuando los humanos o los animales ingieren carbohidratos, proteínas o grasas, pueden oxidarlos para producir energía o transformarlos en productos almacenables como energía potencial. La energía es principalmente almacenada como grasa. Un adulto normal de 70kg contiene alrededor de 16 kg de grasa en su tejido adiposo (entre 0 e infinito es el límite), que pueden dar alrededor de 150.000 kcal si se oxidan. Esto es suficiente al menos teóricamente para permitirle a una persona sedentaria sobrevivir por dos meses si tiene buena salud y si no utiliza más de 2.500 kcal por día y si es capaz de oxidar sus depósitos de grasa⁹.

La pérdida de grasa durante el ayuno prolongado también se acompaña de la utilización de otro de los principales componentes del organismo: las proteínas. Un hombre normal contiene alrededor de 11 kg de proteínas de las cuales 7kg son intracelulares y 4 kg extracelulares. La proteína extracelular se encuentra principalmente en huesos, ligamentos, tendones, cartílago y tejido conectivo, es muy estable y no se encuentra disponible para los requerimientos metabólicos. La proteína intracelular cumple varias funciones como enzimas o como elementos contráctiles o estructurales de la célula, no existe un depósito de proteínas. Sin embargo estas proteínas funcionales son continuamente sintetizadas y degradadas y alrededor de 5 kg, la mayoría de las cuales provienen del músculo, pueden movilizarse durante ayunos prolongados. Todos los órganos y tejidos excepto el cerebro, pierden proteínas y esta pérdida pronto produce daño ya que reduce los mecanismos de defensa y los procesos de cicatrización y compromete la resistencia a infecciones.

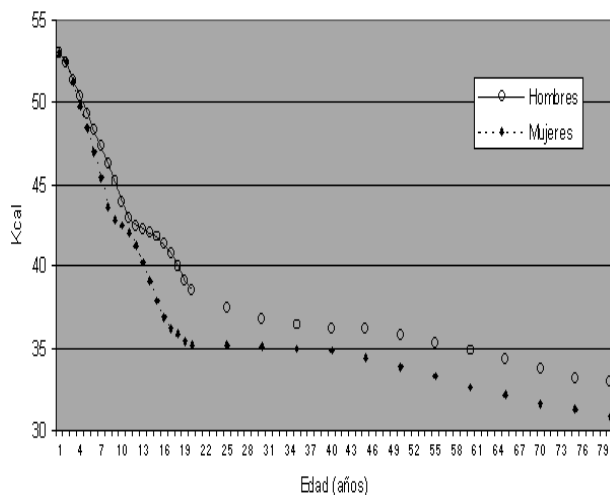
Además de las proteínas y las grasas, el organismo contiene entre 1000 y 3000 kcal de carbohidratos almacenados en el hígado y músculo como glucógeno. Éste se encuentra inmediatamente disponible para requerimientos como ejercicio, pero es de poca duración. Otros compuestos del organismo como fosfolípidos y ácidos nucleicos también se encuentran disponibles para proveer pequeñas cantidades de energía pero éstas usualmente no

son tenidas en cuenta cuando se evalúa el balance energético.

Como la energía no se crea ni se destruye, el cuerpo humano transforma la energía quemando combustible ya sea de sus propias reservas o de los alimentos consumidos y produciendo calor y trabajo mecánico. Según las condiciones del medio, el cuerpo deberá modificar el metabolismo energético o no, es decir deberá perder más o menos calor. Entre estas condiciones que pueden influenciar el gasto energético se encuentran: el medio ambiente, la edad y el sexo (Figura 1), el estado nutricional, la actividad física, el momento del día o de la noche y la condición psicológica entre otras⁹.

Figura 1

Tasa metabólica basal según edad y sexo



* Basado en datos de Fleisch A¹⁰

Factores que afectan el gasto energético

El gasto energético en 24 hs de una misma persona es sorprendentemente constante, con un coeficiente de variación reportado de no más del 21.4% entre las distintas determinaciones de una misma persona. Sin embargo las variaciones interpersonales son considerables, incluso cuando se las corrige por kg de masa magra. Muchos factores afectan el gasto energético diario de una persona, pero la actividad física, tiene por lejos el efecto más profundo, asociada a una gran proporción de esa variabilidad que puede ir de 100 a 800 Kcal por día.

Por mucho tiempo se ha considerado que el tamaño corporal es uno de los principales determinantes del gasto metabólico basal, de este modo el gasto energético de un individuo podría compararse con el de otros individuos normales en forma más exacta si se lo expresa en kilocalorías por unidades de peso (Ej. Kcal /kg de peso). Varios estudios sobre

malnutrición y ayuno experimental han demostrado que una restricción dietaria causa una reducción en el gasto energético cuando éste es expresado en kilocalorías por kg de peso corporal^{11,12}.

Otros investigadores también estudiaron la reducción del gasto energético basal en relación a la superficie corpora¹³, basados en las numerosas tablas y nomogramas aparecidos para calcular dicha medida^{10,14,15,16}. Harris y Benedict trataron de evitar todas las hipótesis que incluyeran a la superficie corporal y de esta forma derivaron sus ecuaciones del estudio de 249 sujetos normales, que incluyó no sólo la altura y el peso sino también la edad y el sexo¹⁷. Algunos estudios posteriores hallaron muy buena correlación entre estos resultados y otros obtenidos a través de la medición del intercambio gaseoso en adultos hombres y mujeres¹⁸ mientras que otro reportó que la ecuación de Harris Benedict sobreestimaba el gasto medido entre un 10% y un 15%¹⁹.

Otros investigadores²⁰ encontraron que la masa magra corporal fue el mejor predictor del gasto energético basal, mientras que el sexo o la edad tuvieron una influencia mucho menor. Estos hallazgos sugieren que las estimaciones del gasto energético basal basadas en la superficie corporal total debían su utilidad a una oculta correlación con la masa magra corporal en cada sexo. Esto se correlacionaría con la sugerencia de Benedict, de que la "masa corporal activa" determina el gasto energético basal.

El tamaño metabólico del cuerpo es aquella porción de la composición corporal a la cual la tasa metabólica es proporcional, Kleiber propuso que una determinada potencia del peso corporal, como el peso a la $3/4$ potencia, sería una ecuación más apropiada que la utilización de la superficie corporal²¹. La ecuación de Kleiber ($MB = \text{Peso}^{0.75}$) predice la tasa metabólica de humanos con la misma exactitud que las regresiones empíricas de Harris Benedict.

Sin embargo, el significado del tamaño corporal, superficie corporal y composición corporal en relación a la tasa metabólica, se encuentra todavía en discusión y la controversia continúa con algunos trabajos que incluso reportan que la utilización del peso corporal es tan satisfactoria como el uso de la superficie corporal o la masa magra corporal cuando se compara el gasto energético de hombres y mujeres adultos normales²².

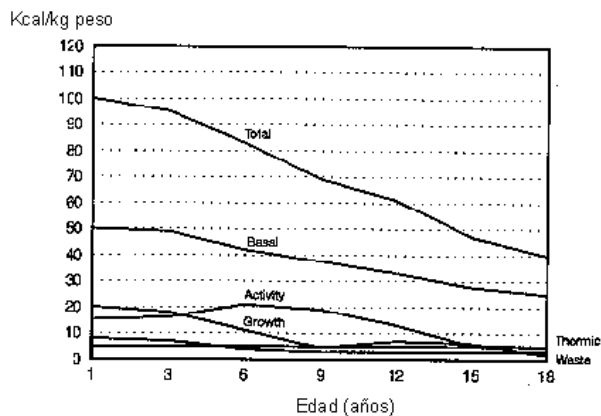
Componentes del Gasto Energético

El principal componente del gasto energético corresponde a la energía necesaria para mantener la tasa metabólica, es decir el gasto energético basal. Además contribuyen la termogénesis inducida por los alimentos o termogénesis inducida por la dieta y la actividad física. En menor medida, encontramos además el gasto necesario para el mantenimiento de la temperatura corporal.

Además de los tres grandes componentes del gasto energético, los niños requieren energía adicional para crecer, sin embargo, en relación al gasto energético total, la necesidad de energía para crecer es casi imperceptible, excepto durante los primeros meses de vida⁵ (Figura 2).

Figura 2

Variación del gasto energético según la edad*



*Tomado y modificado de Behrman²³

Gasto energético basal - Gasto energético en reposo

El gasto energético basal (GEB) ó tasa metabólica basal (TMB) se define como el calor producido por un individuo al menos 12 horas después de la última comida, recostado, despierto a temperatura ambiente y corporal normal y sin stress psicológico ni físico. La tasa metabólica basal se mide usualmente después del sueño nocturno, sin que la persona se mueva siquiera de la cama. Esto plantea grandes inconvenientes logísticos a la hora de diseñar investigaciones clínicas. El hecho de esperar 10 horas después de la última comida es para alcanzar el estado postabsortivo donde los procesos digestivos hayan terminado por completo⁹.

El gasto energético en reposo es medido en condiciones mucho menos rigurosas. Se determina en posición recostada y no requiere un período de ayuno tan prolongado. La principal diferencia es que el GER incluye la termogénesis inducida por la alimentación, y también componentes debidos a stress físico o psíquico y variaciones en la temperatura corporal y ambiental. Sin embargo, desde el punto de vista operativo, el GER es más funcional que el GEB. Algunos autores citan la diferencia entre estas dos mediciones en alrededor del 3%⁵.

Ya que el calor es principalmente eliminado a través de la piel, resulta apropiado relacionar el gasto energético a la superficie corporal expresada en unidades estándar de kilocalorías por m² (Figura 1). Para determinar la superficie corporal como función de la estatura y el peso, Du Bois y Du Bois vistieron a 8 hombres y 2 mujeres con ropa interior

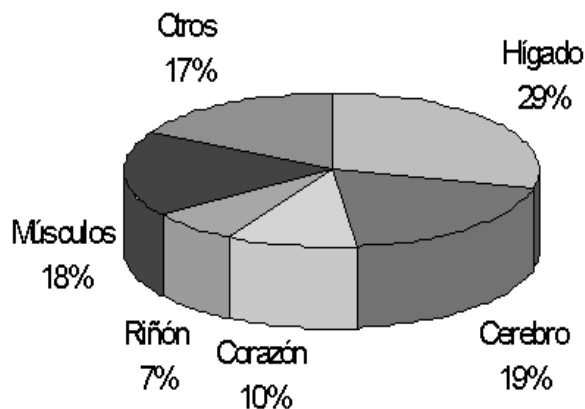
muy ajustada y les aplicaron parafina derretida y trocitos de papel. Luego se despegó esta cobertura y se la cortó en pequeños pedazos que fueron cuidadosamente medidos para determinar la superficie corporal²⁴ (Tabla 1).

Harris y Benedict por su parte propusieron fórmulas para predecir el gasto energético directamente a partir del sexo, edad, altura, y peso basado en la medición de 136 hombres, 103 mujeres y 94 niños¹⁷. Si bien estas fórmulas fueron publicadas en 1919, todavía son ampliamente utilizadas en el ámbito clínico. Actualmente el GEB y el GER se expresan en Kcal ó KJ por individuo, ya sea por m² ó por kg de peso y por minuto, hora o día.

Los grandes consumidores de energía en reposo son el hígado, el cerebro, el corazón y los riñones (Figura 3). Estos órganos que representan el 6% del peso corporal total (PCT), consumen entre el 60% y el 70% del GER. El músculo esquelético sin embargo, representa el 40% del PCT y consume sólo el 18% (en condiciones de reposo)²⁵. Una gran variedad de procesos celulares son los que contribuyen al GEB como las bombas de protones, la síntesis y degradación de constituyentes celulares, ciclos bioquímicos, y el transporte de protones a través de la membrana mitocondrial. Las bombas de sodio y el recambio de proteínas serían responsables de 2/3 del GEB.

Figura 3

Porcentaje del GER correspondiente a los distintos



* Tomado y modificado de Burztein S.

Dieta y gasto energético

La termogénesis inducida por la dieta o por los alimentos (TID), inicialmente denominada Acción Dinámica Específica (ADE), corresponde al efecto estimulante de los alimentos sobre el gasto energético. En un principio se pensó que estaba relacionado con el proceso de digestión y absorción de nutrientes, sin embargo estudios posteriores revelaron efectos comparables cuando los nutrientes eran administrados por vía intravenosa⁹.

Temperatura ambiente y gasto energético

Cuando la temperatura ambiente se eleva progresivamente, el gasto energético decrece, alcanzando un mínimo en sujetos normales alrededor de los 27°C. Si la temperatura continúa aumentando, la energía perdida en la refrigeración a través de la sudoración o jadeo aumenta, incrementando así el gasto energético. A los 42°C el cuerpo ya no puede mantener la temperatura corporal en alrededor de 37°C y probablemente sobrevendrá la muerte. A principio de siglo, Rubner denominó "crítica" a la temperatura ambiente en la cual el gasto energético era mínimo. Hoy en día también se la denomina zona de neutralidad termal. Que es la temperatura por encima de la cual, el gasto energético de una persona, desnuda, comienza a aumentar para mantener el balance de calor dentro de los límites normales. Esta es de 27 a 29°C en personas normales. En pacientes con injuria, quemados por ejemplo, esta zona aumenta a alrededor de 32°C.

Cuando la temperatura desciende por debajo de esta zona, hay un aumento en el gasto energético denominado termogénesis inducida por el frío°. Este gasto ocurre de dos formas:

- termogénesis por temblor
- termogénesis sin temblor: aumento de reacciones metabólicas que comprenden hidrólisis de ATP

Una reducción terapéutica cautelosa de la temperatura corporal (por ejemplo utilizada en cirugías) puede hacer descender el gasto energético basal al 50% del original²⁶.

Actividad física

El tercer componente del gasto calórico, es el aumento de la tasa metabólica basal que ocurre durante el ejercicio. Esto incluye no sólo el deporte, sino también todas las formas de actividad física que involucran la utilización de la masa muscular

Tabla 1

Superficie corporal en m² para distintos pesos y alturas*

Altura cm	Peso en kg																
	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105
200							1.81	1.91	1.97	2.03	2.09	2.15	2.21	2.26	2.31	2.36	2.41
195						1.73	1.80	1.87	1.93	1.99	2.05	2.11	2.17	2.22	2.27	2.32	2.37
190				1.56	1.63	1.70	1.77	1.84	1.90	1.96	2.02	2.08	2.13	2.18	2.23	2.28	2.33
185				1.53	1.60	1.67	1.74	1.80	1.86	1.92	1.98	2.04	2.09	2.14	2.19	2.24	2.29
180				1.49	1.57	1.64	1.71	1.77	1.83	1.89	1.95	2.00	2.05	2.10	2.15	2.20	2.25
175	1.19	1.28	1.36	1.46	1.53	1.60	1.67	1.73	1.79	1.85	1.91	1.96	2.01	2.06	2.11	2.16	2.21
170	1.17	1.26	1.34	1.43	1.50	1.57	1.63	1.69	1.75	1.81	1.88	1.91	1.96	2.01	2.06	2.11	
165	1.14	1.23	1.31	1.40	1.47	1.54	1.60	1.66	1.72	1.78	1.83	1.88	1.93	1.98	2.03	2.07	
160	1.12	1.21	1.29	1.37	1.44	1.50	1.56	1.62	1.68	1.73	1.78	1.83	1.88	1.93	1.98		
155	1.09	1.18	1.26	1.33	1.40	1.46	1.52	1.58	1.64	1.69	1.74	1.79	1.84	1.89			
150	1.06	1.15	1.23	1.30	1.36	1.42	1.46	1.54	1.60	1.65	1.70	1.75	1.80				
145	1.03	1.12	1.20	1.27	1.33	1.39	1.45	1.51	1.56	1.61	1.66	1.71					
140	1.00	1.09	1.17	1.24	1.30	1.36	1.42	1.47	1.52	1.57							
135	0.97	1.06	1.14	1.20	1.26	1.32	1.38	1.43	1.48								
130	0.95	1.04	1.11	1.17	1.23	1.29	1.35	1.40									
125	0.93	1.01	1.08	1.14	1.20	1.26	1.31	1.36									
120	0.91	0.98	1.04	1.10	1.16	1.22	1.27										

Basado en datos de Du Bois y Du Bois²⁴

para realizar cualquier tipo de movimiento.

Hubo distintos intentos para determinar la actividad física o el gasto energético diario de individuos o comunidades aplicando diferentes metodologías. Entre ellas se encuentran: el método factorial²⁷, distintos cuestionarios^{28, 29}, pedómetros o actómetros^{30, 31, 32}, acumuladores de frecuencia cardíaca^{33, 34, 35} y la técnica del agua doblemente marcada^{36, 37}. Hasta el momento, este último parece ser el método más exacto y ampliamente aceptado para determinar el gasto energético diario en sujetos bajo condiciones de vida habitual. Sin embargo presenta la desventaja de ser un método sumamente caro, tanto en cuanto a materiales como a equipamiento permanente necesario. Además, si bien arroja un resultado bastante exacto en cuanto al gasto energético total durante un lapso determinado, no brinda información sobre el patrón de esa actividad realizada³⁸.

La calorimetría es un método muy exacto para determinar el gasto energético diario, sin embargo, requiere instrumental sofisticado, es caro y además la mayoría de las veces sólo sirve para estudios en situación de confinamiento. Para estos casos, el método de la frecuencia cardíaca es aplicable, ya que no resulta invasivo y proporcionalmente es de bajo costo. Además le permite a los investigadores de terreno hacer determinaciones que de otra forma no serían posibles.

En qué consiste exactamente la relación entre frecuencia cardíaca (FC) y gasto energético: se ha establecido que existe una relación única para cada individuo entre FC y el volumen de oxígeno consumido (VO_2). Por otra parte, a través del VO_2 consumido podemos determinar las kilocalorías de gasto energético (promedio 5 kcal por Litro de O_2 consumido); por lo tanto midiendo FC y aplicando la función que correlaciona ambas variables, se puede determinar el gasto energético diario de una persona. Sin embargo, la dificultad más importante es determinar exactamente la relación no lineal entre FC y VO_2 entre los períodos de actividad e inactividad. Este método ha sido validado con el de calorimetría directa³⁹.

Calorimetría

Nuestras vidas dependen de la conversión de energía química en otras formas de energía. La unidad básica para la medición de calor es la caloría. Esta se define como la energía necesaria para elevar la temperatura de 1g de agua 1°C de 15 a 16 °C. Como la caloría es una cantidad muy pequeña, el término Kilocalorías es el más frecuentemente utilizado. Una kilocaloría = 1000 calorías = 4184 Joules.

Se puede definir al metabolismo como la suma de todos los procesos o reacciones bioquímicas, es decir la suma de todas las transformaciones de materia y energía, que ocurren en un organismo vivo. Es imposible medir la totalidad de estos procesos. Sin embargo, como las distintas reacciones químicas

que se llevan a cabo en el organismo producen calor, entonces sí es posible medir la tasa de calor producido. Al medir calor, este procedimiento se denomina "calorimetría".

Asimismo, como las reacciones químicas que conforman el metabolismo, en general dependen de oxidaciones biológicas, entonces medir la tasa de consumo de oxígeno nos da un panorama bastante aproximado de la tasa de producción de calor o tasa metabólica.

A su vez este proceso puede dividirse en calorimetría directa, que comprende la medición directa del calor producido, y en calorimetría indirecta que determina la energía consumida a través de la medición del intercambio gaseoso: consumo de O_2 y producción de CO_2 .

Los primeros en establecer la importancia del oxígeno y el dióxido de carbono en el proceso de combustión y en el metabolismo de los animales y el hombre fueron Lavoisier y sus contemporáneos. Fue este mismo investigador quien en su afán por explicar lo que era el fuego, introdujo el término "calorique" para describir al calor. Más adelante llevó a cabo experimentos para relacionar el consumo de oxígeno por parte de los animales con la producción de dióxido de carbono y calor. En la segunda mitad del siglo XIX, Carl Von Voit estableció un centro de investigación en Alemania, y los estudios allí llevados a cabo señalaron el camino para establecer la relación entre intercambio gaseoso y calorimetría. Estos estudios influenciaron el crecimiento de la calorimetría en Europa y en los Estados Unidos donde Atwater⁴⁰, Benedict⁴¹, Lusk⁴² y Du Bois⁴³ influyeron significativamente en el avance de este campo.

Actualmente se utilizan distintos tipos de calorimetría:

Calorimetría	Directa	Balance de carbono y nitrógeno	
	Indirecta	Consumo de oxígeno	<p>Circuito cerrado (porque toman gases dentro de un sistema cerrado)</p> <p>Circuito abierto (cuando el sistema se encuentra abierto a la atmósfera). Estos últimos son los que más frecuentemente se uti-</p>

Calorimetría directa

Consiste en la medición directa de la producción de calor. Técnicamente es bastante compleja. Hace falta una cámara de medición donde la persona debe permanecer confinada durante el lapso nece-

sario para realizar las determinaciones necesarias.

Ya que la medición directa de la pérdida de calor evita varias asunciones de la calorimetría indirecta, muchas veces se la ha preferido como medición del gasto energético si las dificultades inherentes a la medición podían superarse. Esta idea no tiene en cuenta el hecho de que la calorimetría indirecta depende del sustrato de oxidación, mientras que la calorimetría directa mide pérdida de calor sin indicar qué tipo de combustible está siendo oxidado para producir ese calor. De esta forma la calorimetría directa es un importante método para estudios de termorregulación, pero tiene un valor relativamente menor para propósitos nutricionales.

Calorimetría indirecta

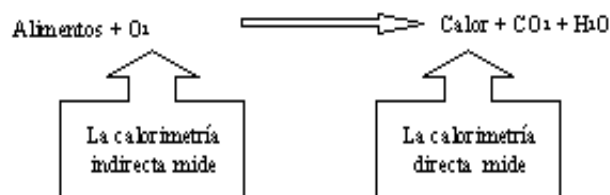
La calorimetría indirecta, como su nombre lo indica, mide producción de calor, pero a través de mediciones intermedias. Una de ellas por ejemplo, consiste en determinar el contenido de carbono y nitrógeno de materiales excretados.

La otra forma de calorimetría indirecta, de utilización más extendida y a la que nos vamos a referir con mayor profundidad en esta publicación, es a través de la medición del intercambio gaseoso.

Además de proporcionar un estimación de la tasa metabólica, la calorimetría indirecta presenta la ventaja de poder dar un estimado de la composición de los combustibles oxidados y al mismo tiempo se trata de un método no invasivo. La correlación entre calorimetría directa e indirecta fue demostrada, por lo que esta técnica de medición es igualmente válida y técnicamente confiable.

El principio de la calorimetría indirecta se basa en que todos los procesos metabólicos finalmente dependen de la oxidación biológica, es decir de la oxidación que se produce en la célula. Es por ello que medir la tasa de consumo de oxígeno, nos acerca a una buena estimación de la tasa de producción de calor, o tasa metabólica. Así, una alta capacidad para consumir y utilizar O_2 indica una alta capacidad metabólica.

Figura 4



*Tomado y modificado de Brooks y col⁴⁴.

Sin embargo, es importante comprender y tener en cuenta que existen limitaciones y errores en calorimetría indirecta, ya sea en términos de técnicas de medición como en asunciones teóricas. Cuando se colectan gases se presenta la posibilidad de error por pérdida, dilución o adición de gases. Además se asume que todo el intercambio gaseoso se realiza en los pulmones y las ecuaciones entre gases tratan al O_2 y al CO_2 como gases ideales.

Por otra parte, es necesario hacer una aproximación teórica y varias suposiciones para traducir las mediciones del intercambio gaseoso en unidades de producción de calor y utilización de combustible para su aplicación clínica. Las consideraciones térmicas asociadas con el metabolismo de la energía tienden a ignorarse en calorimetría indirecta, que se preocupa fundamentalmente por el requerimiento de combustible y el índice de intercambio gaseoso en la oxidación de un determinado alimento.

El uso del intercambio gaseoso en calorimetría indirecta se basa en supuestos que datan de la época de Lavoisier a fines del siglo XVIII. Tanto Lavoisier como otros creyeron que la oxidación biológica tenía lugar en los pulmones, lo que lo llevó a grandes confusiones. Si bien es cierto que la respiración o ventilación sí tienen lugar en los pulmones y sus órganos asociados, la respiración u oxidación biológica se lleva a cabo en casi la totalidad de las células del organismo.

La calorimetría indirecta puede jugar un rol fundamental en el establecimiento del balance energético adecuado. Algunas condiciones clínicas específicas en las cuales la determinación del gasto energético en reposo es de gran utilidad incluyen: el paciente obeso antes y después de una restricción energética, el paciente deplecionado, el paciente con trauma o sepsis, el paciente con daño cerebral, el paciente quemado, el paciente con enfermedad intestinal inflamatoria, el paciente con enfermedad pulmonar crónica, el paciente con fallo cardíaco, con falla multiorgánica y el paciente con cáncer.

Por ejemplo, la ganancia o pérdida de peso son principalmente tratadas a través de la dieta, pero esto sólo puede traer aparejado un éxito parcial si el estado metabólico subyacente del paciente tiende a resistir la normalización del peso.

En cuanto al valor económico de utilizar medidas basadas en calorimetría indirecta en alimentación enteral y parenteral, es que en muchos casos hace posible reducir la cantidad prescrita de alimentación hasta en un 22% para los pacientes hospitalizados.

En personas en reposo, son útiles las mediciones de calorimetría indirecta para determinar el efecto del tamaño corporal, crecimiento, patologías, sexo, drogas, nutrición, edad y medio ambiente sobre el metabolismo. De hecho la tasa metabólica

en reposo por unidad de masa corporal es mayor en hombres que en mujeres, en niños que en adultos, en individuos pequeños que en individuos grandes y en condiciones extremas de frío o calor más que en condiciones normales.

Calorímetros

Existen distintos tipos de calorímetros. Los respirómetros o espirómetros, se denominan calorímetros indirectos ya que determinan el calor producido, a través de la medición del O_2 consumido y el CO_2 producido.

El análisis de los gases respiratorios en humanos puede realizarse a través de cortos períodos de medición en reposo o durante el ejercicio (Figura 5); y a través de máscaras que cubren nariz y boca, o boquillas o sistemas de escafandras, en inglés denominadas "canopy" (Figura 6). Para determinaciones más prolongadas de 24 horas o más, el individuo debe vivir en las denominadas cámaras o habitaciones metabólicas, que consisten en un calorímetro del tamaño de una habitación.

Figura 5



Existen calorímetros de circuito cerrado (Por ejemplo el diseñado por Lavoisier) y calorímetros de circuito abierto, donde el sistema se encuentra abierto a la atmósfera y el animal o persona respira aire. Hoy en día, este último tipo de calorímetros es el que más se utiliza.

Atwater y Rosa diseñaron un calorímetro directo (Figura 7) con capacidad para albergar a una persona (cámara metabólica) y determinar al mismo tiempo, su producción de calor, consumo de O_2 y producción de CO_2 . A través de este instrumento es que la calorimetría directa y la indirecta pudieron correlacionarse. Gracias a que se ha establecido la relación entre estas variables, es que hoy en día es posible predecir la tasa metabólica (o producción de calor) a partir de la determinación del consumo

Figura 6

Calorímetro con sistema de colección de gases a través de escafandra



de O_2 y la producción de CO_2 en individuos en reposo.

Calorimetría indirecta y nutrientes

La calorimetría indirecta se basa en dos grandes principios :

- La primera ley de la termodinámica, llamada ley de la conservación de la energía: "cuando el contenido de energía química de un sistema cambia, la suma de todas las formas de energía dada o absorbida por el sistema debe ser igual a la magnitud del cambio".
- El segundo principio es que la energía producida por la oxidación de alimento en el organismo es equivalente a la producida por combustión en una bomba calorimétrica.

Las bombas calorimétricas son aparatos donde se quema el alimento con oxígeno a alta presión y el calor producido por la combustión de los diferentes alimentos puede ser determinado (Figura 8). Para los hidratos de carbono y las grasas los productos finales de la oxidación son CO_2 y agua; es decir que son los mismos en el cuerpo que en una bomba calorimétrica. Para las proteínas sin embargo el producto final en una bomba es CO_2 , H_2O , SO_4 , y N_2 . En el cuerpo el producto final del N es la urea junto con pequeñas cantidades de otros constituyentes y los productos finales para el C, H y S son los mismos que en un calorímetro.

Esto significa que la energía derivada de la combustión de las proteínas en el organismo es menor que la derivada en una bomba. Esta diferencia fue evaluada por Atwater midiendo el nitrógeno y la energía (en una bomba) de la orina y determinan-

Figura 7

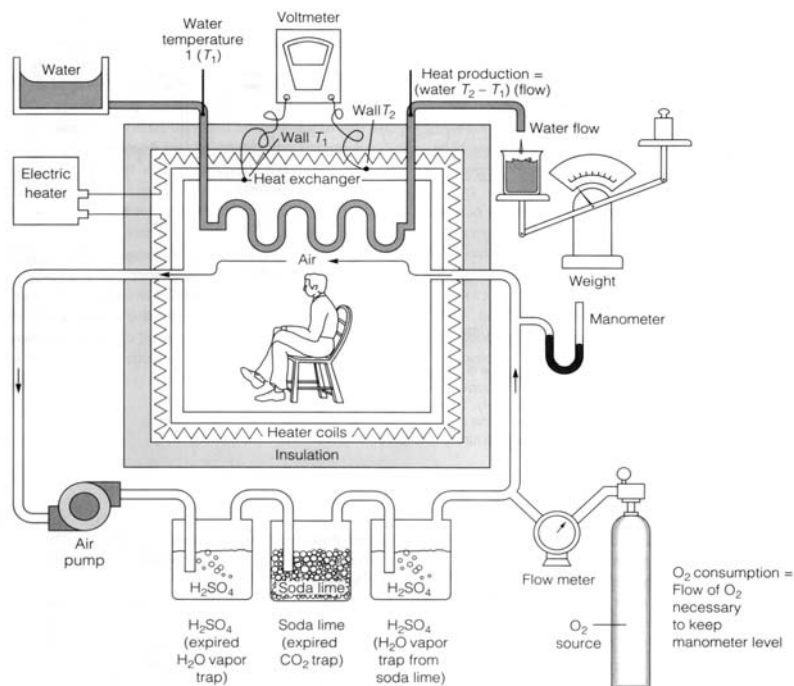


Figura 7 . Calorímetro de Atwater -Rosa* que permite acomodar una persona y determinar el calor producido en forma directa y al mismo tiempo permite medir la cantidad de oxígeno consumido (VO_2) y dióxido de carbono producido (VCO_2) por ese mismo individuo. A través de este instrumento es la que la calorimetría directa e indirecta pudieron correlacionarse. El oxígeno consumido es igual a la cantidad de O_2 que es necesario adicionar para mantener constante la presión interna.

*Tomado y modificado de Brooks

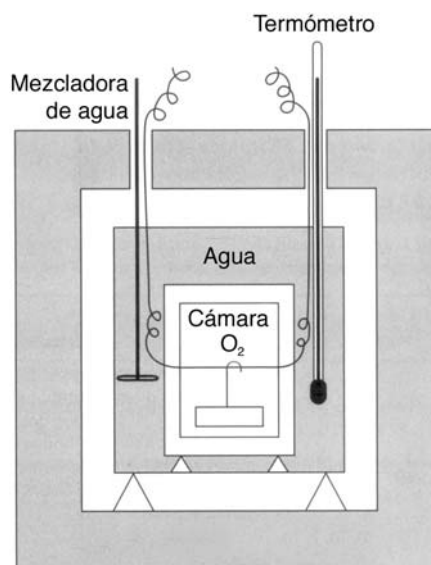
do la tasa de energía por g de N. Encontró un promedio de 7.9 Kcal por g de N, igual a 1.25 Kcal por g de proteína oxidada. De este modo la práctica luego de Atwater es restar 1.25 kcal por g de los valores de energía de oxidación de proteínas medidas en una bomba calorimétrica para determinar la cantidad de energía liberada de la oxidación parcial de las proteínas en el organismo.

Se han hallado diferentes valores con pequeñas diferencias, para distintos tipos de alimentos analizados en una bomba calorimétrica^{45 46}. Por razones prácticas es necesario utilizar promedios con propósitos de calorimetría indirecta. Esto introduce algunos errores en las mediciones y la magnitud de cada uno de ellos es diferente para cada uno de los tres grupos de nutrientes: muy pequeñas variaciones para los hidratos de carbono, un poco mayor para las grasas (9.3 kcal/g y un RQ de 0.707), y una mayor diferencia en las proteínas.

La energía bruta representa los valores obtenidos para la oxidación de carbohidratos, proteínas y grasas en una bomba, como ocurriría en el organismo. Sin embargo, cuando estos son consumidos, no se absorben en un 100%, sino que la energía metabolizable representa la fracción de cada componente que es absorbida desde el intestino: 0.93 para las proteínas (4/4.3), 0.98 para los almidones (4.41/4.17), y 0.98 para las grasas (9.1/9.3)

Figura 8

Bomba calorimétrica.



Una muestra de alimento se adjunta a los alambres de combustión y se coloca en una cámara bajo varias atmósferas de presión. La mezcla se combustiona y quema. El mezclador distribuye el calor de combustión uniformemente a través del agua que recubre la cámara. El termómetro detecta el calor li-

* Tomado y modificado de Brooks y cols⁴⁴

Tabla 2

Nutriente	Medición por calorimetría indirecta		Medición por	Medición en bomba
	Kcal . Litro O ₂ ⁻¹	Cociente Respiratorio (CR) (VCO ₂ /VO ₂)	Dentro del cuerpo (kcal . g ⁻¹)	Fuera del cuerpo (kcal . g ⁻¹)
Carbohidratos	5.05	1.00	4.2	4.2
Grasas	4.7	0.70	9.5	9.5
Proteínas	4.5	0.80	4.2	5.7**
Dieta mixta	4.82	0.82		
Individuo en	4.70	0.70		

*Tomado y modificado de Brooks¹⁴

** La energía liberada por la proteína oxidada fuera del organismo es aproximadamente un 26% mayor que la quemada dentro del cuerpo:

$$\frac{5.7 - 4.2}{5.7} = 26\%$$

En la *Tabla 2* se presentan los valores de combustión de hidratos de carbono, proteínas y grasas, determinados por calorimetría directa, indirecta y en una bomba calorimétrica.

Obsérvese que salvo una sola excepción, los equivalentes calóricos para la combustión de nutrientes dentro y fuera del organismo, son los mismos. La excepción son las proteínas, ya que contienen nitrógeno. Como ya mencionamos, esta sustancia no es oxidada dentro del organismo, sino que se elimina principalmente en la orina, pero también en la transpiración. De este modo el equivalente calórico del metabolismo de las proteínas es aproximadamente un 26% menor que en una bomba calorimétrica.

El equivalente calórico de los nutrientes también puede expresarse en kcal por L de O₂ consumido. Aunque las grasas, por presentar un contenido relativamente mayor de C y de H, contienen más energía química potencial por unidad de peso, son los H de C quienes aportan una mayor cantidad de energía cuando son oxidados en un volumen determinado de O₂.

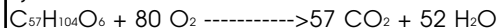
Cociente respiratorio

Además de dar un estimado de la tasa metabólica, la calorimetría indirecta presenta la ventaja de estimar la composición de los combustibles oxidados. De este modo, determinando la razón entre CO₂ producido y O₂ consumido, se obtiene un cociente denominado "cociente respiratorio" (CR o RQ respiratory quotient) que refleja procesos celulares.

El CR para los Hidratos de Carbono es igual a 1:
Ej. glucosa
 $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O$
6 CO₂ producidos / 6 O₂ consumidos = 1 = CR

Para las grasas el CR es aproximadamente 0.7:

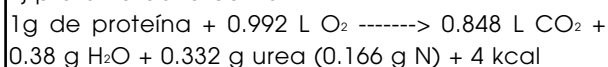
Ej. trioleato



$$57 CO_2 \text{ producidos} / 80 O_2 \text{ consumidos} = 0.71 = CR$$

En el caso de las proteínas el CR sería aproximadamente 0.8:

Ej proteína de la carne



Un valor generalmente utilizado para CR (RQ) es 0.84 que resulta de la media aritmética de los RQ para los tres nutrientes:

$$\frac{1 + 0.8 + 0.7}{3} = 0.84$$

Calorimetría indirecta y ejercicio

Históricamente, toda la atención hasta 1950 fue dirigida principalmente hacia la medición de la tasa metabólica basal. Actualmente ese interés también está abarcando el gasto energético asociado con la ingesta de alimentos y la actividad física.

Los calorímetros directos son de escasa utilidad en caso de ejercicio físico por varias razones. Además de ser equipos caros, el calor generado por la bicicleta fija o la cinta sobre la que la persona realizaría el ejercicio, generaría tanto calor que excedería al del propio individuo. Asimismo, no toda la energía durante el ejercicio se libera como calor, sino que también en forma de trabajo, por lo que el calorímetro no podría captar absolutamente todo

el calor producido. Por esta razón, la calorimetría indirecta, a través de la medición de los gases respiratorios, es la metodología más frecuentemente utilizada para la determinación del gasto energético durante el ejercicio.

En la realización de un ejercicio intenso se consumen más carbohidratos mientras que en ejercicios prolongados, mayor cantidad de lípidos son utilizados. Estos cambios en la utilización de combustible son convenientes, ya que en ejercicio intenso, el oxígeno puede ser un factor limitante, por lo tanto si se oxidan carbohidratos en lugar de grasas, se obtendrá un 6.4% más de energía por unidad de O₂ consumido (5.05 Kcal/LO₂ consumido versus 4.7 kcal/LO₂ consumido que aportarían las grasas).

Durante el ejercicio prolongado, sin embargo es conveniente que se utilicen lípidos ya que en este caso, el factor limitante puede ser la provisión de glucógeno, más que el consumo de O₂. Las grasas proveen 2.3 veces más energía que los carbohidratos.

Las determinaciones del tipo de combustible utilizado están limitadas en cierta forma, porque los gases respiratorios no nos informan específicamente qué tipo de nutriente está siendo utilizado. Para que las determinaciones en el consumo de O₂ reflejen exactamente el metabolismo, se debe dar la siguiente relación:

alimento respiración ATP + calor
 ----->

Sin embargo, si se utilizan otros mecanismos para proveer energía, como la degradación de sustancias sin la utilización inmediata de O₂ (Ej. glicólisis anaerobia), entonces las determinaciones respiratorias no reflejarán exactamente todos los procesos metabólicos.

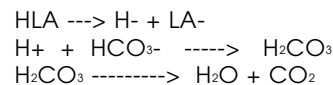
En fisiología del ejercicio, las estimaciones del combustible oxidado son usualmente simplificadas, al asumir que no hay aumento en la degradación basal de proteínas y aminoácidos durante el ejercicio. Entonces se utiliza el R (Relación del Intercambio Ventilatorio o Ventilatory Exchange Ratio en inglés) para representar al Cociente Respiratorio (CR o RQ en inglés).

Esta suposición no es totalmente válida. Aunque CR y R se determinan a partir de la misma fórmula (VCO₂ / VO₂), a lo largo del ejercicio, se producen cambios en los depósitos de CO₂ del organismo, que hacen que CR y R no sean iguales. Aunque el CR no puede exceder a 1, R puede llegar a 1.5 o más. Por eso se considera que CR es la relación VCO₂/VO₂ en la célula, donde el O₂ es consumido y el CO₂ producido y R es la relación VCO₂/VO₂ medida en la boca.

CR y R deberían ser iguales, pero al comienzo y al final del ejercicio, así como también durante ejercicios muy intensos, CR ≠ R porque los depósitos de CO₂ corporales cambian. Esto se debe a que las células son sistemas fluidos y se encuentran rodea-

dos de otros sistemas fluidos tanto arteriales como venosos. Cuando el ejercicio comienza, el CO₂ se encuentra frecuentemente almacenado en las células. Cuando la intensidad aumenta, el sistema buffer del bicarbonato sanguíneo amortigua al ácido láctico, por lo que se produce una cantidad extra de CO₂ no respiratorio.

El ácido láctico es un ácido fuerte que se disocia totalmente. En la sangre, el sistema bicarbonato (HCO₃⁻) - ácido carbónico (H₂CO₃) es el sistema principal a través del cual se amortiguan los efectos del ácido láctico:



Este sistema neutraliza los protones y se produce CO₂ que es eliminado en los pulmones y aparece en la respiración. Por lo que durante el ejercicio R > CR. Luego de terminado el ejercicio, el CO₂ metabólico puede almacenarse en las células, sangre y otros compartimentos para compensar aquel perdido durante la actividad física.

Por otra parte, durante e inmediatamente después del ejercicio la producción de orina por los riñones se encuentra inhibida y una cantidad considerable de N puede ser eliminada como urea a través de la transpiración. Por lo que resulta muy difícil determinar la cantidad de nitrógeno eliminada durante el ejercicio.

Además, otra de las limitaciones de la calorimetría indirecta durante el ejercicio está dada porque los gases respiratorios no estarían dando información específica sobre los tipos de combustibles utilizados. Por ejemplo si CR= 1, sabemos que se oxidaron carbohidratos, pero no nos indica con especificidad qué tipo de ellos. Podría tratarse de glucógeno, glucosa, ácido láctico o ácido pirúvico, entre otros.

Sin embargo la utilización de isótopos radiactivos ha comenzado a utilizarse en conjunto con la calorimetría indirecta para proveer información más específica sobre los tipos de combustibles utilizados.

Durante el ejercicio se da una situación metabólica especial ya que en reposo toda la energía liberada aparece como producción de calor mientras que durante el ejercicio parte de esa energía liberada aparece como trabajo físico fuera del organismo. Por eso se necesitan instrumentos, como cicloergómetros o cintas rodantes para medir el trabajo externo realizado.

A pesar de las numerosas dificultades metodológicas que se presentan con la aplicación de la calorimetría indirecta durante el ejercicio, la determinación del consumo de O₂ (VO₂), sí brinda valiosa información acerca de la respuesta cardioventilatoria al ejercicio y además permite estimar el gasto calórico de varias actividades y determinar los combustibles utilizados para sostenerlas.

Referencias Composición Corporal

- 1 Carmuega, E. Durán, P. (2000). Evaluación del Estado Nutricional en Pediatría. Boletín CESNI, 9, 1-24.
- 2 Ziegler E. E.; O'Donnell, A. M.; Nelson, S. E. y cols.: Body Composition of the reference fetus. *Growth*, 40, 329, 1976.
- 3 O'Donnell, A. M. (1986). Nutrición y alimentación del prematuro. *Nutrición Infantil*. (pp. 455-503). Editorial Celcius
- 4 Widdowson, E.M., & Dickerson, J.W.T. (1964). Chemical composition of the body. In C.L. Comar & F. Bronner (Eds.), *Mineral Metabolism* (2), Part A (pp. 2-247). New York: Academic.
- 5 Fomon, S.J., (1967). Body composition of the male reference infant during the first year of life. *Pediatrics*, 40, 863-870.
- 6 Fomon, S.J., Haschke, F., Ziegler, E.E., et al. (1982). Body composition of reference children from birth to age 10 years. *American Journal of Clinical Nutrition*, 35, 1169-1175.
- 7 Guo, S., Roche, A.F., Fomon S.J., et al. (1991). Reference data on gains in weight and length during the first two years of life. *Journal of Pediatrics*, 119, 355-362.
- 8 Friis-Hansen, B. (1961). Body water compartments in children: Changes during growth and related changes in body composition. *Pediatrics*, 28, 169-181.
- 9 Haschke, F. (1983). Body composition of adolescent males. Part I: Total body water in normal adolescent males. Part II: Body composition of the male reference adolescent. *Acta Paediatrica Scandinavica*, Suppl. 307, 1-23.
- 10 Christiansen, C., Rödbro, P., Thøger Nielson, C. (1975). Bone mineral content and estimated total body calcium in normal children and adolescents. *Scandinavian Journal of clinical and Laboratory Investigators*, 35, 507-510.
- 11 Chumlea, W.C., siervogel, R.M., Roche, A.F., et al. (1983). Increments across age in body composition for children 10-18 years of age. *Human Biology*, 55, 845-852.
- 12 Vague, J., Vague P., Jubelin, J., et al., (1988). Fat distribution, obesity and health: Evolution of concepts. In C. Bouchard, & F.E. Johnston (Eds.), *Fat distribution during growth and later health outcomes* (pp. 9-41). New York: Plenum.
- 13 Pollitzer, W.S., & Anderson, J.J.B. (1989). Ethnic and genetic differences in bone mass: A review with a hereditary vs environmental perspective. *American Journal of Clinical Nutrition*, 50, 1244-1259.
- 14 Baumgartner, R.N., Roche, A.F., Guo, S., et al., (1986). Adipose tissue distribution: The Stability of principal components by sex, ethnicity and maturation stage. *Human Biology*, 58, 719-735.
- 15 Malina, R.M. (1996). Regional Body composition: Age, Sex, and Ethnic Variation. Roche A.F., Heymsfield, S.B., Lohman, T.G. (Eds.). *Human Body Composition* (pp. 217-255). Human Kinetics.
- 16 Roland-Cachera, M.-F., Bellisle, F., Deheeger, M., et al. (1990). Influence of body fat distribution during childhood on body fat distribution in adulthood: A two-decade follow-up study. *International Journal of Obesity*, 14, 473-481.
- 17 Malina, R.M., & Bouchard, C. (1991). Growth, maturation, and physical activity. Champaign, IL: Human Kinetics.
- 18 Hammer, L.D., Wilson, D.M., Litt, I.F., et al. (1991). Impact of pubertal development on body fat distribution among white, Hispanic, and Asian Female adolescents. *Journal of Pediatrics*, 118, 975-980.
- 19 Freedman, D.S., Serdula, M.K., Stinson, S.R., & Berenson G.S. (1999). Relation of circumferences and skinfold thicknesses to lipid and insulin. *American Journal of Clinical Nutrition*, 69, 308-317.
- 20 McCarthy, H.D., Jarret, K.V. and Crawley, H.F. (2001). The development of waist circumference percentiles in British children aged 5.0-16.9 y. *European Journal of Clinical Nutrition*, 55, 902-907.
- 21 Enzi, G., Gasparo, M., Biondetti, P.R., et al. (1986). Subcutaneous and visceral fat distribution according to sex, age and overweight, evaluated by computed tomography. *American Journal of Clinical Nutrition*, 44, 739-746.
- 22 Beunen, G., Malina, R.M., Lefevre, J., et al. (1994). Size, fatness and relative fat distribution of males of contrasting maturity status during adolescence and as adults. *International Journal of Obesity*, 18, 670-678.
- 23 Deutsch, M.I., Mueller, W.H., & Malina, M.R. (1985). Androgyny in fat patterning is associated with obesity in adolescents and young adults. *Annals of Human Biology*, 12, 275-286.
- 24 Frisch, R.E. (1988). Fatness and fertility. *Scientific American*, 258, 88-95.
- 25 Martorell, R., Malina, R.M., & Castillo, R.O. (1988). Body proportions in three ethnic groups: Children and youths 2-17 years in NHANES II and HANES. *Human Biology*, 60, 205-222.
- 26 Faulkner, R.A., Bailey, D.A., Drinkwater, D.T., et al. (1993). Regional and total body bone mineral content, bone mineral density, and total body tissue composition in children 8-16 years of age. *Calcified Tissue International*, 53, 7-12.
- 27 Russell-Aulet, M., Wang, J., Thornton, J., et al. (1991). Bone Mineral Density and mass by total-body dual-photon absorptiometry in normal white and Asian men. *Journal of Bone and Mineral Research*, 6, 1109-1113.
- 28 Rico, H., Revilla, M., Vila, L.F., et al. (1993). Body composition in children and Tanner's stages: A study with dual-energy x-ray absorptiometry. *Metabolism*, 42, 967-970.
- 29 Theinitz, G., Buchs, B., Rizzoli, R., et al. (1992). Longitudinal monitoring of bone mass accumulation in healthy adolescents: Evidence for a marked reduction after 16 years of age at the levels of lumbar spine and femoral neck in female subjects. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 75, 1060-1065.
- 30 Malina, M. R. (1986). Growth of muscle tissue and muscle mass. In F. Falkner & J.M. Tanner (Eds.), *Human Growth*. Volume 2: Postnatal growth, neurobiology (pp. 77-99). New York: Plenum.
- 31 Malina, R.M. (1991). Darwinian Fitness, physical fitness and physical activity. In C.G. N. Mascie-Taylor & G.W. Lasker (Eds.), *Applications of biological anthropology to human affairs* (pp. 143-184). Cambridge, England: Cambridge University.
- 32 Tanner, J.M. and Whitehouse, R.H. (1975). *Archs. Dis. Childh.* 50, 142-145
- 33 Mc Lean JA, Tobin G: *Animal and Human Calorimetry*. Cambridge, Cambridge University Press. 1987.
- 34 Goran M.I. *Energy Metabolism and Obesity*. Medical Clinics of North America. 2000; 84: 2
- 35 Goran M.I, Treuth M.S. Energy expenditure, physical activity, and obesity in children. *Pediatr Clin North Am* 2001; 48: 4
- 36 Maffei C y cols. Meal-induced thermogenesis and obesity: is a fat meal a risk factor for fat gain in children? *J Clin Endocr Metab* 2001; 86:1
- 37 Maffei C, Schutz Y, Pinelli L. Effect of weight loss on resting energy expenditure in obese prepubertal children. *Int J Obes* 1992; 16:41-47
- 38 Mayes PA. *Bioenergética*. En: Harper's Biochemistry. Appleton and Lange a Publishing Division of Prentice Hall. 1992
- 39 Burztein S y cols. The theoretical framework of indirect calorimetry and energy balance. En: *Energy Metabolism, Indirect Calorimetry, and Nutrition*. Williams & Wilkins. Baltimore, Maryland USA. 1989
- 40 Fleish A. Le metabolisme basal standard et sa détermination au moyen du "metabolocalculator". *Helvet Med Acta* 1951; 18:23-44
- 41 Benedict FG. A study of prolonged fasting. Washington DC, Carnegie Institute, Publication No 203, 1915.
- 42 Keys A, Brozek J, Henschel A et al. The biology of human starvation. Minneapolis, The University of Minnesota Press. 1950. Vol 1.
- 43 Kinney JM, Weismann C. Forms of malnutrition in stressed and unstressed patients. In Askanazi J (ed) *Clinics in Chest Medicine*. 7: 19-28, 1986.
- 44 Aub JC, Du Bois EF. Clinical calorimetry. The basal metabolism of old men. *Arch Int Med* 1917; 19:823-831
- 45 Boothby WM, Berkson J, Dunn HL. Study of the energy metabolism of normal individuals: a standard for basal metabolism with a nomograph for clinical application. *Am J Physiol* 1936; 116:468-484
- 46 Robertson JD, Reid DD. Standards for the basal metabolism of normal people in Britain. *Lancet* 1952; 1:940-943
- 47 Harris JA, Benedict FG: A biometric study of basal metabolism in man. Washington DC, Carnegie Institute of Washington, Publ 279, 1919.
- 48 Long CL, Schaffel N, Geiger JW, et al. Metabolic response to injury and illness: estimation of energy and protein needs from indirect calorimetry and nitrogen balance. *JPEN* 1979; 3:452-456
- 49 Daly JM, Heymsfield SB, Fead CA, et al. Human energy requirements: overestimation by widely used prediction equations. *Am Soc Clin Nutr* 1985; 42:1170-1174
- 50 Moore FD, Olesen KH, McMurrey FD, et al. The body cell mass and its supporting environment: Body composition in health and disease. Philadelphia, W.B. Saunders Company, 1963.
- 51 Kleiber M. *The fire of life*. Huntington NY, Robert E. Publishing Company, 1975, pp 179-222
- 52 Owen OE, Holup JL, D'Alessio DA, et al. A reappraisal of the caloric requirements of men. *Am J Clin Nutr* 1987; 46:875-885
- 53 Behrman: *Nelson Textbook of Pediatrics*, 16th ed. W. B. Saunders Company, 2000
- 54 Du Bois D, Du Bois EF. Clinical Calorimetry. A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med* 1916; 17:863-871
- 55 Grande F: *Energy expenditure of organs and tissues*. In Kinney JM (ed): *Assessment of Energy Metabolism in Health and Disease*. Columbus, Ross Laboratories, 1980 pp88-92.
- 56 Elwyn DH, Kinney JM, Askanazi J: *Energy expenditure in surgical patients*. *Surg Clin N Am* 1981; 61:545-556
- 57 Durin J.V.G.A. *Passmore R. Energy, work and leisure*. London: Heinemann, 1976.
- 58 Montoye H.J. Estimation of habitual physical activity by questionnaire and interview. *Am J Clin Nutr* 1971; 24:1113-8
- 59 Godin G, Shephard RJ. A simple method to assess exercise behavior in the community. *Can J Appl Sport Sci* 1985; 10: 141-6
- 60 Kemper HCG, Verschur R. Validity and reliability of pedometers in habitual activity research. *Eur J Appl Physiol* 1977; 37:71-82.
- 61 Saris WHM, Binkhorst RA. The use of pedometer and actometer in studying daily physical activity in man. Part I Reliability of pedometer and actometer. *Eur J Appl Physiol* 1977; 37:219-28
- 62 Saris WHM, Binkhorst RA. The use of pedometer and actometer in studying daily physical activity in man. Part II Validity of pedometer and actometer measuring the daily physical activity. *Eur J Appl Physiol* 1977; 37:229-35
- 63 Bradford RB. A technique for determination of usual daily energy expenditure in the field. *Am J Clin Nutr* 1977; 24:1148-54
- 64 Spady WD. Total daily energy expenditure of healthy, free ranging school children. *Am J Clin Nutr* 1980; 33:766-75
- 65 Spurr GB, Reina JC, Barac-Nieto M. Marginal malnutrition in school aged Colombian boys: metabolic rate and estimated daily energy expenditure. *Am J Clin Nutr* 1986; 44:113-26
- 66 Schoeller DA, Webb P. Five-day comparison of the doubly labeled water method with respiratory gas exchange. *Am J Clin Nutr* 1984; 40:153-8
- 67 Prentice AM, Coward WA, Whitehead RG. Measurement of energy expenditure by the doubly-labelled water method. In: Nestlé Foundation. Annual Report. Lausanne, Switzerland: 1984:61-9
- 68 Spurr GB et al. Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 1988; 48:552-9
- 69 Treuth MS. Energy expenditure in children predicted from heart rate and activity calibrated against respiration calorimetry. *Am J Physiol* 1998 Jul; Vol. 275 (1 Pt 1), pp. 12-8
- 70 Atwater WO, Benedict FG: A respiration calorimeter with appliances for the direct determination of oxygen. Washington DC, Carnegie Institute, Publication No 42, 1905, pp 1-193.
- 71 Webb P: *Human calorimeters*. New York, Praeger Publishers, 1985.
- 72 "Graham Lusk". *JAMA*, 1969; Editorial 210:2385
- 73 Du Bois DF: *Basal metabolism in health and disease*. Philadelphia, Lea and Febiger, 1986:1924.
- 74 Brooks GA, Fahey TD, White TP. *Basics of metabolism*. In: *Exercise Physiology: Human Bioenergetics And Its Applications*. 2nd Edition. Mayfield Publishing Company, USA 1996
- 75 Merrill AL, Watt BK: *Energy Value of foods*. Agriculture Handbook No 74, U.S. Government Printing Office, Washington 25 DC, 1955.
- 76 Southgate DAT, Durning J: *Calorie conversion factors*. An experimental reassessment of the factors used in the energy value of human diets. *Br J Nutr* 1970; 24:517-535

Referencias Metabolismo Energético

- 1 Weir J.B.D. New methods for calculating metabolic rate with special reference to protein metabolism. *J Physiol* 1949; 109:1-9
- 2 Consolatio CF, Johnson RE, Pecora LJ: *Physiologic measurements of metabolic functions in man*. New York, Mc Graw Hill, 1963, pp 313-339.