

CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN CORPORAL DURANTE LA INFANCIA Y LA ADOLESCENCIA

JOSEF BROZEK

Introducción

La "somatolisis", o análisis total del cuerpo humano en cuanto a sus componentes, nos proporciona un nuevo "cuadro interno" del hombre (Brozek y Henschel, eds., 1961; Brozek, ed., 1963a, 1965). En su carácter, este cuadro es cuantitativo y multidisciplinario. De hecho, puede ser más apropiado hablar de cuadros (en plural en vez de "un cuadro"), de vistas parciales que resultan de la aplicación de técnicas anatómicas, bioquímicas, biofísicas y somatométricas. El campo aún no está lo suficientemente avanzado para hacer una verdadera síntesis. Sin embargo, tal vez valga la pena presentar una visión sistemática de los datos existentes que se relacionan con la composición del cuerpo durante la infancia y la adolescencia. Hemos discutido en otra parte los cambios que se verifican durante la madurez y la senectud (Brozek, 1965b; también Brozek, 1962).

Métodos

En el organismo vivo, la composición del cuerpo puede ser estudiada gracias a una variedad de técnicas (Brozek, 1965a; para las técnicas somatométricas y roentgenogramétricas véase Brozek, 1963).

Algunas de estas técnicas nos proporcionan *medidas directas* para determinados componentes, tales como el agua total del cuerpo o el potasio intercambiable (Silver, p. 231-239, cap. 10, *Body Water and Electrolytes*, 1962; Moore *et al.*, 1963, pp. 2-42, cap. 1 y 2, métodos de dilución simultánea múltiple de isótopos). Otras técnicas nos dan *indicadores* de la composición del cuerpo, tales como la densidad del mismo y la excreción de creatinina, en base de los cuales se puede estimar la cantidad total de grasa o el peso del cuerpo libre de grasa. Finalmente, se puede averiguar la magnitud de los constituyentes del cuerpo al medir el espesor de los

tejidos adiposo, muscular y óseo del brazo en un roentgenograma. Varios procedimientos se han desarrollado para deducir de las medidas de las partes del organismo la cantidad total de un determinado componente del cuerpo, partiendo de tales medidas como la del pliegue cutáneo (Matiegka, 1921; Garn, 1957; Brozek y Mori, 1958). El análisis *post mortem* del total del cuerpo puede llevarse a cabo en términos de componentes definidos anatómicamente o químicamente.

Los métodos para la determinación *in vivo* de la composición del cuerpo, como parte de estudios de crecimiento, fueron presentados por Forbes (1962), Garn y Shamir (1958), Macy y Kelly (1960) y Tanner (1959, 1965).

A veces estamos interesados en la composición de los incrementos del peso del cuerpo. Macy estudió en detalle el crecimiento químico acumulativo por el método del balance metabólico (Macy y Kelly, 1957, con un resumen en p. 100 de las diferencias en la composición del incremento en los grupos de edad de 4-6, 7-9 y 10-12 años).

Los diferentes métodos empleados en el estudio de la composición corporal tienen sus ventajas y limitaciones específicas, tanto en términos de su aplicación como en su validez. Para obtener un cuadro comprensivo del cambio que se verifica en el tamaño y distribución de los componentes del cuerpo en el transcurso del crecimiento, una multiplicidad de métodos deberían ser aplicados a muestras de niños, preferentemente en estudios longitudinales. Esta tarea queda aún para investigaciones futuras. Actualmente estamos limitados, en gran parte, a los datos obtenidos por medio de un solo método y sobre la base de estudios transversales.

1. Estudio anatómico

El capítulo de Scammon sobre la anatomía del desarrollo (Scammon, 1942), contiene una corta sección acerca de "los componentes de tejidos y las fracciones químicas del cuerpo durante el periodo del desarrollo" (pp. 49-51). El cuerpo fue subdividido en cinco componentes anatómicos: piel y tejido graso, vísceras, tejido nervioso, músculo y esqueleto. La información, basada en el artículo de Wilmer (1940), se limita a tres etapas de la vida: los seis meses intrauterinos, el nacimiento y el "estado adulto". Los datos se encuentran resumidos en la Tabla 1-1.

TABLA I-1

Principales tejidos integrantes del cuerpo humano (H. A. Wilmer, 1940)

TEJIDOS	SU PORCENTAJE EN		
	feto de 6 meses	recién nacido	adulto
Piel y tejido adiposo	16	26	25
Vísceras	16	16	11
Tejido nervioso	21	15	3
Músculos	25	25	43
Esqueleto	22	18	18

Scammon (1942) hace notar que la composición del cuerpo en términos de tejidos cambia mucho durante el crecimiento. Además proporciona importante información adicional no contenida en los diagramas esquemáticos en los cuales se basa la Tabla I-1. De esta manera, el componente "piel y tejido graso" es subdividido, tal como debe hacerse en base a las profundas diferencias en la tendencia seguida por ambos componentes en el transcurso de la edad. De acuerdo con Scammon, el peso de la piel constituye aproximadamente un 4% del peso total del cuerpo a los 6 meses intrauterinos y en el momento del nacimiento; en el adulto promedio representa alrededor de un 6% del peso del cuerpo. En contraste, sólo existen huellas del tejido adiposo subcutáneo (*tela subcutánea*) a los 5 meses fetales, mientras que al nacer alcanza $1/8$ del peso del cuerpo. Las cantidades relativas del tejido adiposo en el individuo, a la madurez, son de 10% en el hombre y de más de 20% en la mujer.

Creemos que no existe información acerca de los cambios en componentes de tejido durante el periodo del crecimiento postnatal o durante los años posteriores a la madurez. Estudios subsecuentes, relacionados principalmente con la composición química del cuerpo humano adulto, no han eliminado dicha deficiencia.

2. Análisis químico del cuerpo total

Scammon (1942, p. 50), también indica brevemente los cambios que ocurren con la edad en tres fracciones químicas del cuerpo —agua, ceniza y peso del material seco (menos ceniza). En lo que se refiere a la grasa del cuerpo, alcanza aproximadamente 0.1 g. a los 3 meses y de 6 a 7 g. a los 6 meses intrauterinos; más tarde aumenta rápidamente para llegar a 380 g. al nacer.

No se dan datos para niños de edad mayor o para adolescentes. Una revisión sistemática de la literatura sobre la composición química del cuerpo fue hecha por Widdowson y Dickerson (1964). Los datos existentes acerca de la composición gruesa del hombre adulto son escasos y la información acerca de los cambios que ocurren entre el nacimiento y el estado de madurez lo son aún más (véase también Widdowson, 1965).

TABLA 2-1

Composición del cuerpo en un niño a término, un niño de 4 1/2 años y un adulto. (Widdowson y Dickerson, 1964, p. 170).

	Niño a término	4 1/2 años	Adulto
Peso del cuerpo (kg.)	3.5	14.0	65.0
Composición (por kg. del tejido libre de grasa)			
Agua (g)	823	(695)	720
Total N (g)	22.6	(38.5)	34.0
Na (mEq)	82	—	80
K (mEq)	53	(65)	69
Cl (mEq)	55	—	50
Ca (g)	9.6	(21.1)	22.4
P (g)	5.6	(10.5)	12.0
Mg (g)	0.26	(0.36)	0.47
Fe (mg)	93.9	(64.2)	74.0
Cu (mg)	4.7	(3.3)	1.7
Zn (mg)	19.2	(22.3)	28.0

En la Tabla 2-1 se reproducen los datos acerca de la composición química del conjunto del cuerpo promedio de un recién nacido a término y de un adulto. El niño de 4 1/2 años, que sufría una meningitis tuberculosa, probablemente se encontraba en estado de deshidratación en el momento de su muerte. Este hecho explica, en parte, las magnitudes relativamente elevadas de nitrógeno y potasio. Los valores para la mayoría de los constituyentes minerales indican, que en el niño la masa del cuerpo libre de grasa no ha alcanzado su "madurez química", ya que se encuentran entre los del recién nacido a término y los del adulto.

3. Estudio hidrométrico

El agua total del cuerpo (ATC)¹ y sus fracciones tienen interés por sí mismas, ya que representan rasgos importantes en cuanto a la composición del cuerpo. Sirven, además (solos o en combinación con otras medidas, tales como la densidad del cuerpo o el promedio de la concentración de potasio en el mismo) para la estimación de la masa del cuerpo libre de grasa o sus fracciones (inclusive la importante "masa celular del cuerpo"; Moore *et. al.*, 1963).

La masa del cuerpo libre de grasa, L,² se obtiene asumiendo que el agua total del cuerpo (ATC) representa una proporción constante de la masa del cuerpo libre de grasa (L):

$$\frac{\text{ATC}}{L} = c$$

Por lo tanto, cuando determinamos el ATC para ciertos individuos, podemos calcular su masa libre de grasa, sabiendo o suponiendo un cierto valor para c:

$$L = \frac{\text{ATC}}{c}$$

La grasa del cuerpo, en términos del porcentaje del peso del mismo (G%), se obtiene por diferencia:

$$G\% = 100 - L\%$$

El suponer, en "hombres jóvenes normales", una hidratación constante de la masa del cuerpo libre de grasa es una aproximación tolerable. Durante el crecimiento, la hidratación del cuerpo cambia y no es válida una fórmula única para la estimación de la masa del cuerpo libre de grasa y de la grasa total del mismo. Bajo estas condiciones sería ideal, determinar la grasa del cuerpo directamente, por ejemplo, por medio de la absorción de gases inertes, altamente solubles en grasas, tales como el ciclopropano y el criptón (véase Lesser y Zak, 1963). Preferentemente quisiéramos contar también con una determinación directa del contenido mineral del cuerpo. Los datos acerca del agua del cuerpo

¹ ATC corresponde a la abreviación TBW (total body water) del inglés.

² L corresponde a la abreviación F-f (fat-free) del inglés.

y de sus particiones podrían emplearse entonces para un análisis refinado del "remanente".

El agua total del cuerpo puede determinarse aplicando el principio de dilución, empleando toda una serie de sustancias (Keys y Brozek, 1953, p. 283; cap. "Body Water and Electrolytes", pp. 231-239 en Silver, 1962). El óxido de deuterio D_2O y más recientemente el óxido de tritio, THO, han sido los solventes de preferencia (Moore *et al.*, 1963).

El agua total del cuerpo (ATC) se divide generalmente en agua extracelular (AEC) que se mide y agua intracelular (AIC) que se obtiene por diferencia ($AIC = ATC - AEC$). El AIC puede estimarse también a partir del total de potasio intracelular intercambiable, cuando es válida la suposición de una relación constante entre las dos variables (150mEq K/litro de AIC; Friis-Hansen, 1965, p. 192).

Friis-Hansen (1965, pp. 196-197) ha resumido la información referente a los cambios que se verifican en el agua y en la grasa del cuerpo en el transcurso de las edades. Los datos correspondientes al periodo comprendido entre 1 y 18 años se reproducen en la Tabla 3-1.

TABLA 3-1

Tamaño relativo del agua total del cuerpo (ATC), agua extracelular (AEC), agua intracelular (AIC), y grasa del cuerpo (G). Los valores representan los porcentajes del peso del cuerpo. (Friis-Hansen, 1965, p. 197).

Edad, Años	Agua Total	Agua Extracelular	Agua Intracelular	Grasa
1	60	26	34	29
2	63	28	35	25
3	63	27	36	24
6	62	26	36	22
9	62	26	36	20
12	61	25	36	18
18, hombres	65	26	39	15
18, mujeres	54	25	29	28

Las cifras para el agua total del cuerpo se obtuvieron por medio del método de dilución a base del D_2O o del THO. Los valores dados para el agua extracelular representan volúmenes de

dilución con tiosulfato (en niños) o volúmenes corregidos de dilución con bromuro (en los grupos de mayor edad).

El agua intracelular se determinó por diferencia ($AIC = ATC - AEC$). Los valores dados para la grasa representan estimaciones aproximadas.

En el recién nacido, los valores citados por Friis-Hansen son los siguientes: ATC, 77%; AEC, 44%; AIC, 33%; grasa, 10 a 15%. Cuando el niño alcanza la edad de un año, la "anatomía" del agua ha llegado a un estado de equilibrio, por lo menos en términos relativos. El decremento en la gordura durante las fases tardías de la infancia y las iniciales de la adolescencia representa un cambio común a ambos sexos, en contraste con la clara diferenciación sexual subsecuente. En las muchachas, la pubertad se encuentra asociada con un aumento notable por su rapidez, tanto relativo como absoluto, en cuanto a la cantidad de tejido adiposo. Durante la madurez y la senectud, el agua total y la intracelular disminuyen progresivamente y la grasa del cuerpo aumenta, sobrepuestos a las diferencias sexuales presentes en las primeras fases de la edad adulta. Así tenemos un segundo periodo de "resecamiento" (y engorde), aunque a una velocidad mucho menor que la observada entre el nacimiento (ATC, 77%) y un año de edad (ATC, 60%). En la edad madura, los valores del agua total del cuerpo disminuyen a 50% en los hombres y 45% en las mujeres.

Es difícil, si no imposible, una interpretación precisa del significado que los cambios relativos en la hidratación del cuerpo tienen desde el punto de vista de la composición del mismo, al no contar con estimaciones independientes de grasa y minerales. Una alteración en el contenido relativo del agua total puede indicar un cambio real en la hidratación de la porción del cuerpo libre de grasa y de minerales, o cambios en las cantidades de grasa del cuerpo o en el contenido mineral del mismo (véase Friis-Hansen, 1965, p. 200).

Contamos con bases algo más seguras, si se dispone de la información correspondiente a dos componentes del agua total del cuerpo. El hecho de que ésta disminuye de 87% del peso corporal en el feto de cinco meses a 77% en el momento del nacimiento y a 60% a la edad de un año, resulta más significativo si sabemos que el componente extracelular decrece también (de 62 a 44 y a 26%), mientras que el intracelular aumenta (de 25 a 33 y a 34%, respectivamente). Durante esta fase del crecimiento, el cambio en las proporciones existentes entre los dos componentes del agua total del cuerpo refleja el depósito de tejidos que

acumulan agua intracelular, especialmente el aumento en la masa muscular.

En el extremo opuesto del ciclo de vida, durante la edad adulta, el componente extracelular se mantiene relativamente constante, representando alrededor de un 25 a 26% del peso del cuerpo en el hombre y de 24 a 25% en la mujer, si se usa el tiocianato como solvente sin corrección. Al mismo tiempo disminuye la fracción intracelular del agua total del cuerpo de 39 a 24% en el sexo masculino y de 29 a 21% en el femenino durante el periodo comprendido entre la tercera y la novena década de la vida (Friis-Hansen, 1965, p. 197), indicando tanto un aumento en el contenido de grasa del cuerpo como también una disminución absoluta en los tejidos ricos en su contenido de agua. La acumulación de la grasa del cuerpo con el aumento de la edad, es el resultado de dos procesos, el depósito de grasa en el tejido adiposo y una degeneración grasosa de las células.

4. El potasio intercambiable como parámetro de la composición del cuerpo

La concentración de electrolitos en el cuerpo humano tiene interés *per se*, tanto desde el punto de vista biológico como médico. Además, el potasio del cuerpo, con su distribución predominantemente intracelular, es un valioso parámetro para la composición gruesa del cuerpo.

Los valores obtenidos a base de la dilución del isótopo K^{42} son algo más bajos que la concentración derivada del estudio de cadáveres y del recuento del isótopo K^{40} (Edelman, 1961, p. 144). Esta diferencia se debe, aparentemente, al intercambio lento del K^{42} en los eritrocitos, el cerebro y los huesos.

El potasio intercambiable, junto con el agua del cuerpo, fue considerado por Talso *et al.* (1960) como un criterio útil para indicar la composición del cuerpo. El peso de éste fue descompuesto como sigue:

Peso del cuerpo = Grasa + Agua + Sólidos secos libres de grasa.

Los sólidos secos libres de grasa se estiman partiendo del potasio del cuerpo, determinado por la dilución de K^{42} . Agregándoles el agua total se obtiene el peso del cuerpo libre de grasa. La grasa misma se obtiene por diferencia (peso total del cuerpo menos el peso libre de grasa).

Dentro del marco de su método simultáneo de dilución múltiple isotópica, Moore *et al.* (1963), miden también el potasio intercambiable total (K_e), basándose en la dilución del isótopo

K^{42} (véase Corsa *et al.*, 1950) y calculan la "masa celular del cuerpo" (MCC):³

$$MCC \text{ (g)} = K_0 \text{ (mEq)} \times 8.33$$

No sabemos de la existencia de datos, en los cuales estos conceptos y cálculos hayan sido aplicados al estudio del cambio en la composición del cuerpo en niños normales. El uso del K^{42} radioactivo es considerado como "impráctico".

5. Radiometría total del cuerpo

La cantidad de potasio total en el cuerpo puede ser calculada basándose en la determinación de la radioactividad debida a la presencia del isótopo natural del potasio, K^{40} , en el cuerpo humano. El primer contador para el cuerpo entero fue puesto en operación en 1955 en el Laboratorio Científico de Los Alamos. El "nieto" fue descrito por Anderson *et al.* (1962; véase también Christian, Kessler y Ziemer, 1962 y, para los problemas en relación con la medición precisa del contenido de K en el cuerpo humano, Miller y Remenchick, 1963). Los primeros trabajos realizados en el Laboratorio Científico de Los Alamos fueron revisados por Anderson y Langham (1961).

Los datos acerca del promedio de concentración del potasio en el cuerpo humano, obtenidos por el recuento de los rayos gamma del K^{40} , reportados por Anderson y Langham (1959) en función de la edad, se reproducen en la figura 5-1. Tanto en los hombres como en las mujeres, la concentración del potasio (g/kg. del peso del cuerpo) aumenta a partir de un año de vida, alcanzando el primer máximo a los 8 ó 9 años. Hasta esta edad y durante los 2 ó 3 años siguientes, no existe diferencia entre niños y niñas. Con el inicio de la pubertad, comienza a manifestarse claramente la diferenciación sexual. En las hembras, la concentración del potasio continúa decreciendo rápidamente en el transcurso de unos 4 años, aproximándose a los valores característicos para la mujer adulta joven. En el hombre, la pubertad se asocia con el rápido aumento en la concentración del potasio, la cual alcanza un segundo máximo hacia los 16 años. Durante la madurez y la senectud, la concentración del potasio decrece constantemente, permaneciendo los trazos para hombres y mujeres separados entre sí, pero esencialmente paralelos (Anderson y Langham, 1959, p. 713).

Puesto que la mayor parte del potasio del cuerpo se encuentra dentro de las células, los cambios en su concentración reflejan alteraciones en la relación existente entre la "masa celular del

³ MCC corresponde a la abreviación BCM (body cell mass) del inglés.

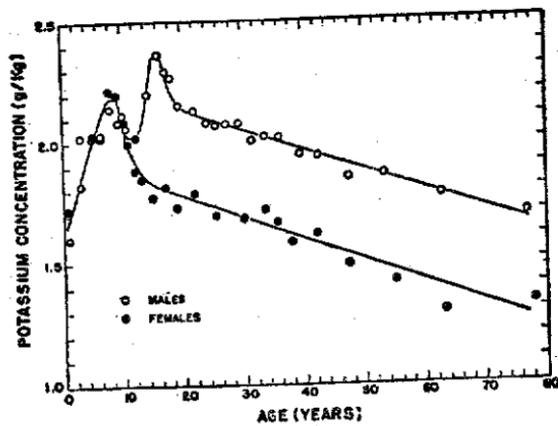
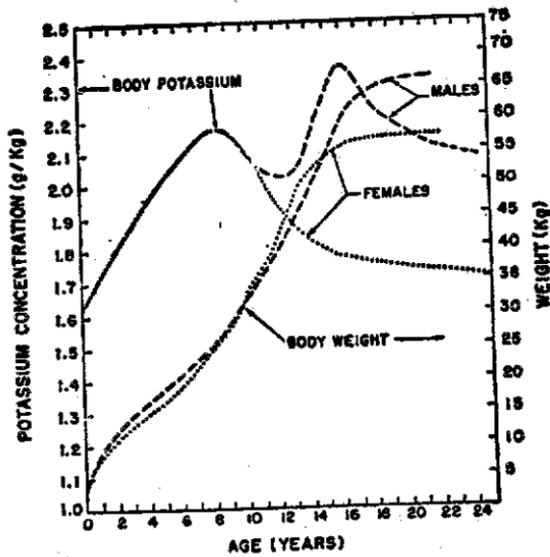


Fig. 5-1

Cambio en las concentraciones de potasio en hombres y mujeres, en relación con la edad y con el crecimiento indicado por el aumento de peso. (Anderson y Langham, 1959.)

cuerpo" y su "medio ambiente sostenedor" (Moore *et al.*, 1963), constituido principalmente por grasa, esqueleto y agua extracelular. Anderson y Langham (1959) interpretan el aumento en la concentración del potasio en la primera infancia como un reflejo del desarrollo muscular. La disminución subsecuente en la concentración del potasio, común a ambos sexos, se considera, por lo menos en parte, como resultado del rápido crecimiento esquelético. La notable divergencia sexual durante la pubertad, se interpreta como debida al acelerado crecimiento muscular en el varón (a veces poco aparente, debido a que el esqueleto sigue también creciendo) y al del tejido adiposo en la hembra.

Es sorprendente la disminución aparente en la concentración del potasio en los varones entre los 16 y 20 años de edad. Anderson y Langham opinan que el aumento en el peso, después de los 16 años, es resultado de un proceso de "relleno" que implica la adición de grasa, tejido conjuntivo y óseo, con relativamente poco aumento en el muscular. Sin embargo, esta baja, por lo menos en parte, puede deberse a un defecto en el muestreo.

Forbes, Gallup y Hursch (1961) propusieron una fórmula para el cálculo del componente libre de grasa del peso total del cuerpo basándose en la suposición de que el potasio representa una fracción constante del peso del cuerpo libre de grasa (L):

$$\frac{\text{total de K}}{\text{peso libre de grasa}} = c$$

Esta fórmula es de índole general, análoga a aquella que relaciona el agua total del cuerpo con la masa del cuerpo libre de grasa.

En una fórmula específica de Forbes *et al.*, el valor de c se considera de 68.1 y se expresa el potasio como K total, en miliequivalentes:

$$L \text{ (kg.)} = \frac{\text{total de K medido (mEq)}}{68.1}$$

De acuerdo con este sistema, al igual que con el hidrométrico, la grasa del cuerpo se obtiene estableciendo la diferencia:

$$G = \text{peso del cuerpo} - \text{masa del cuerpo libre de grasa}$$

Los datos de Forbes y Hursh (1963) están contenidos en las Figuras 5-2 y 5-3. El tamaño de las submuestras para cada año de edad entre los 9 y los 20 años varía entre 4 y 15 individuos. La proporción entre masa libre de grasa y estatura hace resaltar claramente la diferencia sexual (Figura 5-4).

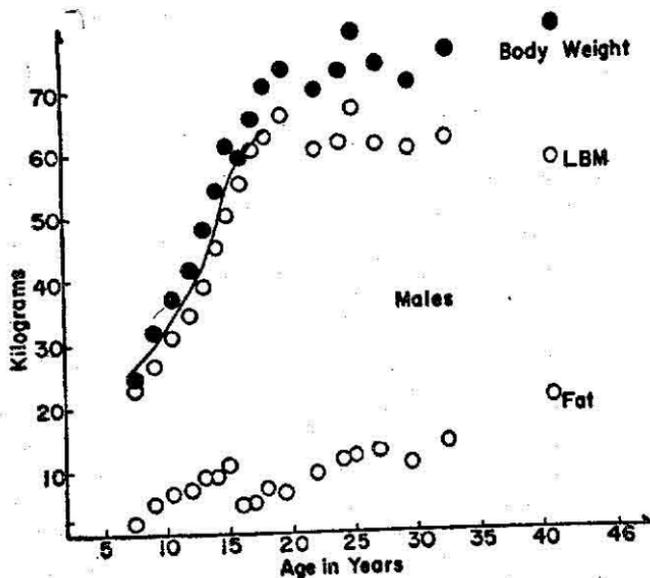


Fig. 5-2

Peso del cuerpo, masa libre de grasa (LBM) y grasa en hombres. (Forbes y Hursh, 1963, p. 260.) La línea continua representa los pesos medios de una muestra grande de muchachos normales.

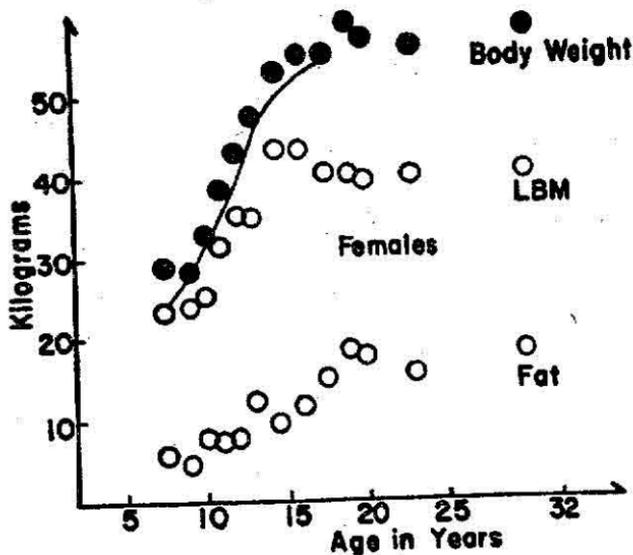


Fig. 5-3

Peso del cuerpo, masa libre de grasa (LBM) y grasa en mujeres. (Forbes y Hursh, 1963, p. 260.) La línea continua representa los pesos medios de una muestra grande de muchachas normales.

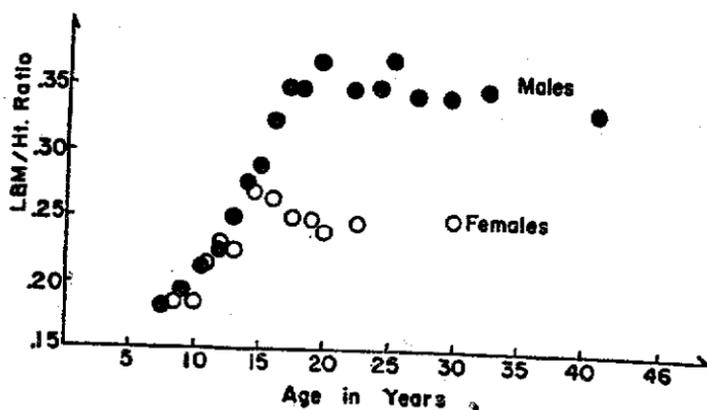


Fig. 5-4

Proporción entre la masa libre de grasa (LBM) y la estatura para ambos sexos, en función de la edad. (Forbes y Hursh, 1963, p. 261.)

El procedimiento que separa el peso total del cuerpo en grasa y un componente libre de grasa, fue empleado por Meneely *et al.* (1963; véase también Shifferdecker *et al.*, 1964), en una muestra mayor de blancos y negros. No se indica, sin embargo, el tamaño de las submuestras de las diferentes edades. Algunas irregularidades en las curvas de crecimiento pueden deberse al azar en el muestreo.

El componente libre de grasa, expresado como porcentaje del peso del cuerpo, exhibe en los hombres una marcada aceleración entre los 16 y 19 años (la cual va automáticamente paralela a una pérdida relativa de grasa). En las mujeres, el porcentaje de grasa aumenta constantemente durante la segunda década de vida y en proporción menor después de ésta. En los niños, especialmente en los varones, los porcentajes de grasa, reportados por Meneely *et al.*, parecen ser demasiado altos.

El estudio radiométrico de Forbes, Gallup y Hursh (1961) comparte las limitaciones inherentes a todos los sistemas del análisis de la composición del cuerpo, que operan con el concepto de una "masa libre de grasa" constante en su composición; un supuesto que sólo tiene validez aproximativa. La "masa libre de grasa" se encuentra muy lejos de representar un compartimiento estrictamente homogéneo en lo que se refiere a la concentración del potasio. Específicamente, tanto el residuo libre de grasa del tejido adiposo (56 mEq/kg.), como la piel, tendones y hueso (21 mEq/kg.) tienen un contenido menor de potasio que los músculos y vísceras (que oscilan entre 95 y 100 mEq/kg. de los pesos libres de grasa en ratas). De este modo, tanto en el individuo

de huesos pesados como en el obeso, la concentración del potasio por kg. del peso libre de grasa, sería más baja que en una persona de huesos finos o de constitución delgada.

Además, como hacen resaltar Forbes y Hursh (1963), el contenido de potasio por unidad del peso libre de grasa es menor en el neonato que en el adulto (46 a 52 mEq/kg. del peso libre de grasa vs. 68.1 mEq/kg.) Se hace notar, que "no se sabe en que momento de la vida se realiza la transición del estado infantil al adulto" (*ibid.*, p. 259).

La preocupación por la heterogeneidad del compartimiento libre de grasa del peso del cuerpo indujo a Allen, Anderson y Langham (1960) a sugerir que la información acerca del total del potasio del cuerpo, determinado sobre la base del recuento del K^{40} , sea usado para el cálculo de un compartimiento menor del cuerpo, definido como masa del cuerpo menos los minerales óseos, grasa y agua. En principio, esta sugerencia tiene interés, aunque las actuales dificultades para obtener estimaciones independientes para grasa y minerales óseos limitan su valor práctico.

El modelo propuesto recientemente por Anderson (1963, p. 200), considera tres componentes, dividiendo el peso del cuerpo en tejido adiposo (A), músculos (M) y un remanente ("Masa magra libre de músculo"):

$$\text{Peso del cuerpo} = A + M + R$$

Para el cálculo de cada uno de estos componentes se emplean dos parámetros: el potasio total (a partir del recuento del K^{40}) y el agua total (basada en la dilución de tritium). En otras palabras, las estimaciones de los dos componentes no son del todo independientes.

Los datos de Anderson, en lo referente al crecimiento, se reproducen en la Tabla 5-1. Los del sexo masculino no muestran la caída brusca entre los 16 y 20 años, en la concentración promedio del potasio, como se sugiere en la Figura 5-1 basada en medidas realizadas en 1956-1958. La muestra investigada en 1959-1960 (Anderson, 1963, p. 142, Fig. 1), todavía presenta en las muchachas una fuerte baja entre los 10 y 15 años, y en los varones sólo una ligera diferencia entre los 16 y 20.

6. Estudio densimétrico

En un sistema basado en dos componentes, conociendo la densidad (d) de la mezcla de los componentes y habiendo determinado el peso (P) y el volumen (V) del sistema, podemos calcu-

TABLA 5-1

Composición corporal según edad y sexo. (Anderson, 1963, p. 192, tabla 2). Los valores son los porcentajes para la edad especificada del grupo. Los componentes están expresados como los porcentajes del peso del cuerpo.

Edad	Peso (kg.)	Agua en cuerpo (%)	Potasio total (mEq/kg.)	Componentes Calculados		
				Tejido adiposo	Músculo	Tejido sobrante
HOMBRES						
10-13	39.3	57.6	52.5	19.4	27.6	53.0
14-17	61.2	63.6	56.2	7.9	27.4	64.7
18-22	72.3	61.5	56.5	13.6	32.6	53.8
22-29	75.1	58.5	52.6	19.1	27.1	53.8
MUJERES						
10-13	39.2	56.1	50.8	24.4	27.4	48.2
14-17	55.0	55.0	45.3	22.8	12.8	64.4
18-21	57.4	52.2	43.6	30.7	15.8	53.5
22-29	56.8	51.1	43.9	33.8	18.8	47.4

Nota: Los datos para el agua del cuerpo fueron tomados de la literatura.

lar las masas proporcionales de los dos componentes c_1 y c_2 (siendo el último igual a $1-c_1$):

$$c_1 = \frac{1}{D} \cdot \frac{d_1 \times d_2}{(d_2 - d_1)} - \frac{d_1}{(d_2 - d_1)}$$

en donde D representa la densidad del sistema ($D = P/V$), (para la derivación de esta fórmula véase Keys y Brozek, 1953, p. 276).

En el cuerpo humano, los dos componentes en que se divide generalmente el peso del cuerpo por medio del análisis desimétrico son: grasa (equivalente al extracto etéreo si un cuerpo se analiza químicamente) y masa libre de grasa. Las fórmulas existentes para la estimación del total de grasa del cuerpo difieren en cuanto al modo de su derivación y a las constantes numéricas que se emplean, pero comparten el criterio de que los componentes son constantes en composición y, consecuentemente, en densidad (Rathbun y Pace, 1945; Keys y Brozek, 1953; Brozek et al., 1963).

El punto crucial en la determinación del volumen del cuerpo sumergido en agua (véase Buskirk, 1961), es tomar en cuenta el aire contenido en los pulmones y vías respiratorias en el momento de leer el peso. Al no tomar en cuenta este factor (véase Macy y Kelly, 1957; para las observaciones críticas véase Brozek, 1958), se hace imposible el empleo de las fórmulas densimétricas para el análisis de la composición del cuerpo.

Los procedimientos que implican determinaciones del volumen corporal por medio del peso del individuo sumergido, requieren la cooperación activa de éste y, naturalmente, no puede usarse con niños de corta edad. Por ello, el método alternativo basado en la dilución de helio (Siri, 1961; Stern, 1963; Fomon, Jensen y Owen, 1963) y en el desplazamiento del aire (Lim, 1963; Falkner, 1963), presenta gran atractivo para los investigadores interesados en el crecimiento humano.

La limitada validez del concepto de la existencia de dos componentes "estandar" del cuerpo, aplicable a ambos sexos y a todas las edades, es mucho más seria que el problema referente a la facilidad y precisión con que se puede determinar la densidad del cuerpo. Los efectos de la variabilidad de las "constantes" biológicas utilizadas en las computaciones densimétricas, fueron considerados en una crítica hecha por Siri (1961a).

TABLA 6-1

Densidad media del cuerpo por sexo y edad. (Novak, 1963, p. 557.)

<i>Edad</i>	<i>Densidad Media g/cc</i>	
	<i>Hombres</i>	<i>Mujeres</i>
12.5 - 14.4	1.0654	1.0643
14.5 - 16.4	1.0743	1.0556
16.5 - 18.4	1.0743	1.0409

En muchachos de Minnesota (Novak, 1963), la densidad media del cuerpo aumenta desde los 13.5 a 15.5 años de edad, manteniéndose igual durante los dos años siguientes. En las niñas, la densidad inicial es algo menor y decrece con un ritmo constante en el transcurso de los años observados (véase Tabla 6-1). La tendencia desarrollada en el transcurso de la edad muestra una pérdida de grasa en los varones y un rápido crecimiento del tejido adiposo en las mujeres. Sin embargo, el sistema es demasiado complicado para aplicarle una sola fórmula densimétrica. Podemos intentar poner en claro el significado biológico de los valores de la densidad por medio de datos somáticos e indicadores

bioquímicos de la composición del cuerpo, determinados por Novak en el mismo grupo de individuos.

TABLA 6-2

Suma de pliegues cutáneos (dorso del brazo, subescápula, pantorrilla media) en mm. (Novak, 1963, p. 552).

Edad	Suma de pliegues	
	Hombres	Mujeres
12.5 - 14.4	35.0	38.7
14.5 - 16.4	36.4	42.2
16.5 - 18.4	27.7	45.1

Las diferencias sexuales en la densidad del cuerpo tienen su contraparte en el espesor del pliegue cutáneo, considerado como una medida de adiposidad (véase Tabla 6-2). En las muchachas, la suma de los tres pliegues es mayor que en los varones y aumenta con la edad, paralelamente con la disminución en la densidad del cuerpo. En los varones, los pliegues cutáneos confirman las indicaciones densimétricas en cuanto a que los varones están más delgados entre los 16.5 y 18.4 años que los comprendidos entre los 12.5 y 14.4 años. Sin embargo, en los grupos de edad intermedia, la densidad del cuerpo y los pliegues cutáneos dan resultados divergentes.

TABLA 6-3

Valores medios del diámetro del brazo (en mm.) corregido por grasa subcutánea; excreción de creatinina, g/24 hrs.; y coeficiente de creatinina, mg./24 hrs. /kg. de peso. (Novak, 1963, p. 555 y 558.)

HOMBRES			
Edad	Diámetro del brazo	Excreción de creatinina	Coficiente de creatinina
12.5 - 14.4	64.1	1.27	25.3
14.5 - 16.4	76.9	1.69	25.5
16.5 - 18.4	80.4	1.85	27.0
MUJERES			
12.5 - 14.4	59.1	1.04	23.0
14.5 - 16.4	60.1	1.15	21.7
16.5 - 18.4	63.0	1.20	21.3

Novak (1963) usó dos criterios parciales para apreciar el desarrollo de los tejidos "no grasos", principalmente de músculos: 1) el diámetro del brazo, corregido en cuanto al tejido subcutáneo, y 2) la excreción de creatinina, expresada en g./24 horas y en mg./24 horas/kg. del peso del cuerpo (véase Tabla 6-3). El diámetro del brazo indica un rápido desarrollo muscular (y óseo, siendo éste de menor importancia para el aumento del tamaño del brazo) en los varones, habiendo en el transcurso de los años un constante acrecentamiento en las diferencias sexuales. Esta tendencia se confirma con los valores obtenidos para la excreción de creatinina. El coeficiente de creatinina refleja el incremento relativo de la masa muscular en los muchachos y una disminución relativa en las muchachas.

TABLA 6-4

Densidad media e hidratación en adolescentes varones. (Hunt y Heald, 1963, p. 537, Tabla 2.)

Edad	Densidad del cuerpo g/cc	Agua en cuerpo, % del peso
12	1.047	61.4
13	1.056	61.6
14	1.058	62.9
15	1.059	63.1
16	1.076	64.8
17	1.076	64.9

Hunt y Heald (1963; véase también Heald *et al.*, 1963), midieron la densidad del cuerpo y el agua total del mismo en 66 varones adolescentes (véase Tabla 6-4). La densidad mostró un continuo aumento con el transcurso de la edad, habiendo una subida rápida a los 16 años, observada también por Novak (1963). El contenido de agua mostró una tendencia general parecida. La pérdida de grasa, indicada tanto por la densidad como por el agua total del cuerpo, coincidió con la disminución en las medidas del tejido adiposo subcutáneo en roentgenogramas del brazo derecho, si se expresa el área transversal del tejido adiposo como porcentaje del área transversal total del brazo (Heald *et al.*, 1962, Tabla v, p. 235).

Este fenómeno se explica, en parte, por la disminución real en el espesor de la grasa subcutánea. En parte también refleja el hecho, de que el volumen de la musculatura del brazo alcanza casi el doble durante la adolescencia de los muchachos.

Jana Parizkova (1963, 1965) obtuvo abundantes datos sobre la

densidad del cuerpo en niños, prestando una atención especial a los efectos debidos al ejercicio y a la reducción en el peso. Las tendencias de la densidad del cuerpo en relación con las diferencias de sexo y edad, abarcando un lapso mayor de edad que los datos del estudio de Novak (1963), se indican en la Figura 6-1.

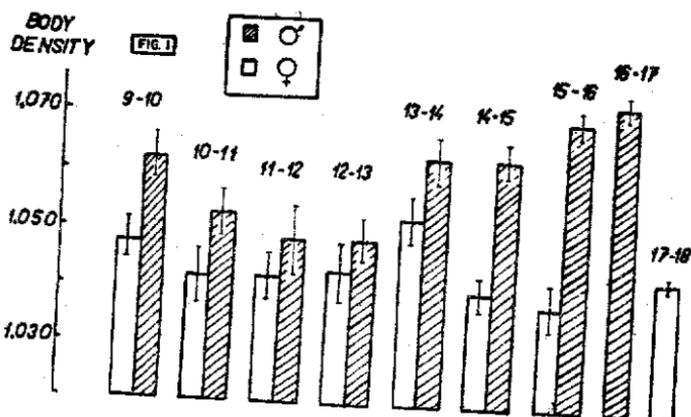


Fig. 6-1

Cambios por edad y diferencias sexuales en la densidad del cuerpo en niños normales. (Parisková, 1961 p. 193, fig. 1.)

En los muchachos, la densidad del cuerpo disminuyó de 1.062 g/cc, en los 9 a 10 años, a 1.048 de los 11 a 13 años; a partir del cual aumentó hasta 1.073 entre los 16 y 17 años. En las niñas, las magnitudes eran siempre más bajas y presentaban una mayor estabilidad, habiendo un ligero incremento en el grupo de los 13 a 14 años, seguido por una disminución en los años consecutivos.

La conversión de la densidad del cuerpo en porcentajes de grasa corporal es difícil en niños, puesto que se desconoce la validez, para este nivel de vida, de las suposiciones cuantitativas, básicas para el análisis densimétrico de la composición del cuerpo de los hombres adultos (Brozek *et al.*, 1963). Hunt y Heald (1963, p. 535), atacaron el problema de la composición y la densidad de la porción "magra" del cuerpo durante la adolescencia, examinando a base de radiografías látero-mediales estandarizadas, la composición del brazo en cuanto a sus tejidos. No les impresionaron los cambios habidos, los cuales se reflejaban en una ligera disminución en la densidad calculada para el braquial magro (1.092 a los 12 años; 1.088 a los 18 años en varones; los valores absolutos parecen ser demasiado bajos). Este aspecto es impor-

tante, ya que si se alcanza una "madurez química" (es decir, una estabilidad en la composición química del cuerpo libre de grasa) a principios de la adolescencia, se podrían aplicar las ecuaciones densimétricas para el análisis de la composición del cuerpo, derivadas para los adultos. Consideramos el problema como aún insoluto.

Sin embargo, hay buenas indicaciones de que la densidad representa en todas las edades un indicador útil del total de grasa del cuerpo, aunque los mismos valores de densidad pueden corresponder a un diferente contenido de grasa en individuos que divergen en cuanto a sexo y edad. Parizkova (1961a) obtuvo altos coeficientes de correlación entre la densidad del cuerpo y la suma de diez pliegues cutáneos. Los valores fueron algo más grandes para los grupos de mayor edad y sexo masculino con r igual a -0.811 y -0.896 en muchachos y muchachas cuya edad quedaba entre los 9 y 12 años y de -0.833 y -0.916 en el grupo de 13 a 17 años.

En niños obesos, con tejido adiposo excesivamente desarrollado, la densidad del cuerpo es baja (véase Figura 6-2). La acumulación de grasa anula las diferencias debidas a sexo y las tendencias seguidas por la densidad del cuerpo en el transcurso de las diferentes edades, que son características para el crecimiento y desarrollo de los niños normales.

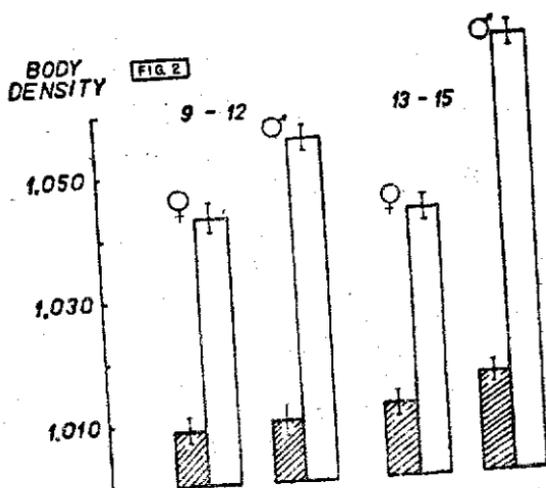


Fig. 6-2

Densidad del cuerpo en niños normales (columna clara), y niños obesos (columna franjeada). (Parizková, 1961, p. 174, fig. 2.)

La reducción del peso en niños obesos se encuentra asociada con un aumento en la densidad del cuerpo y acompañada por una reducción en el espesor de los pliegues cutáneos. Los resultados obtenidos en un campamento especial de vacaciones, en el cual se combinaba una dieta restringida en calorías con un intensivo entrenamiento físico, se presentan en la figura 6-3 (véase también Goldman, Bullen y Seltzer, 1963).

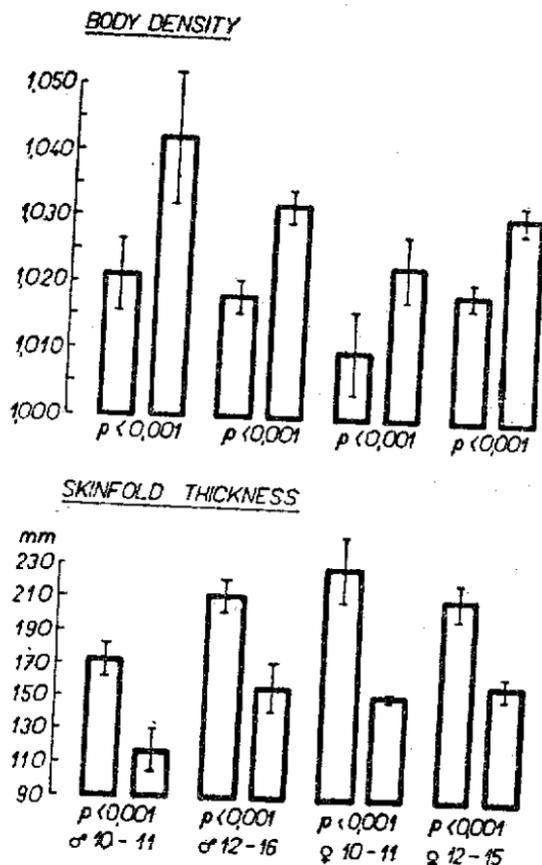


Fig. 6-3

Densidad del cuerpo y grosor del pliegue cutáneo (suma de 10 sitios) antes y después de la pérdida de peso en niños que inicialmente eran marcadamente obesos. (Parizková, 1965, p. 166, fig. 3.)

Un entrenamiento físico intenso se asocia igualmente a una reducción en la densidad del cuerpo y en la grasa subcutánea,

aun en presencia de un aumento ponderal como se indica en la figura 6-4 (véase también Jokl, 1963).

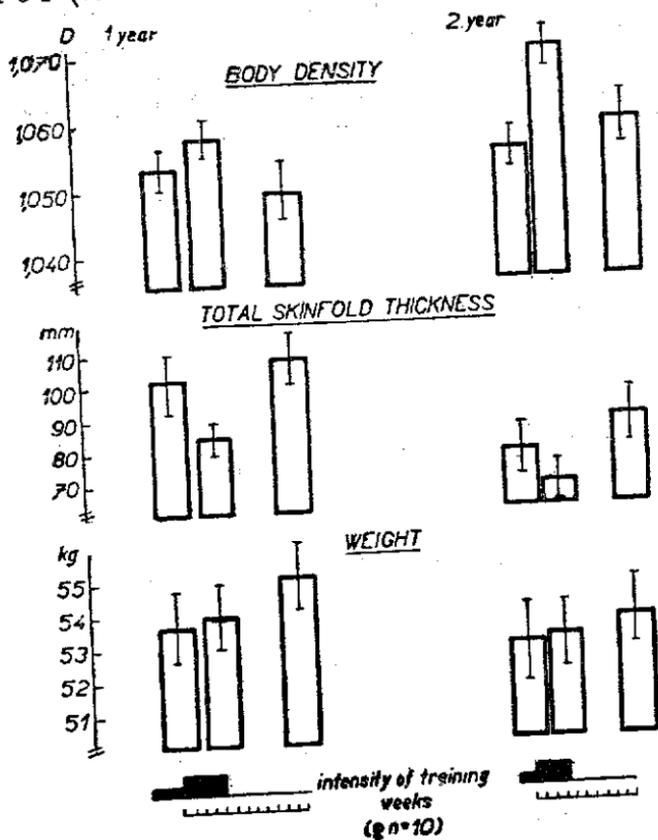


Fig. 6-4

Cambios en la densidad corporal, pliegue cutáneo (suma de 10 sitios) y peso del cuerpo relacionados con la intensidad del entrenamiento físico. Los datos fueron obtenidos en 2 años consecutivos. (Parizková, 1965, p. 163, fig. 1.)

7. Roentgenogrametría

Los roentgenogramas de las extremidades, obtenidos por medio de exposiciones para "tejidos blandos", hacen posible medir la anchura de los componentes adiposo, muscular y óseo (Garn, 1961; Tanner, 1965). Algunos sitios en el tronco (inferior del tórax, trocánterico) proporcionan información útil referente al espesor de la capa adiposa (más la piel). Garn (1957) delineó

un procedimiento para calcular la cantidad total del tejido adiposo en el cuerpo, basándose en las correlaciones existentes entre el espesor radiográfico de la capa adiposa y el peso total. Brozek, Mori y Keys (1958; véase también Brozek y Mori, 1958) desarrollaron ecuaciones para la estimación de la densidad del cuerpo a partir de medidas radiográficas del tejido adiposo subcutáneo. La "tendencia común" de las medidas radiográficas y de otras relacionadas con la adiposidad, fue determinada por Hunt (1961), aplicando el "análisis factorial".

El desarrollo de los tres componentes de tejidos en la pierna, durante los primeros cinco años de vida en niños británicos, se indica en la figura 7-1 (Tanner, 1965). Las medidas se tomaron al nivel de la anchura máxima de la pantorrilla. Tanto en anchura como en sección transversal, los músculos crecen más rápidamente que los huesos durante la primera infancia, mientras que el tejido adiposo disminuye en espesor a través de todo el periodo estudiado. La proporción del decremento alcanza su máximo durante el segundo año de vida.

La tendencia en el desarrollo de los componentes óseo, muscular y adiposo en las extremidades de un muchacho "promedio",

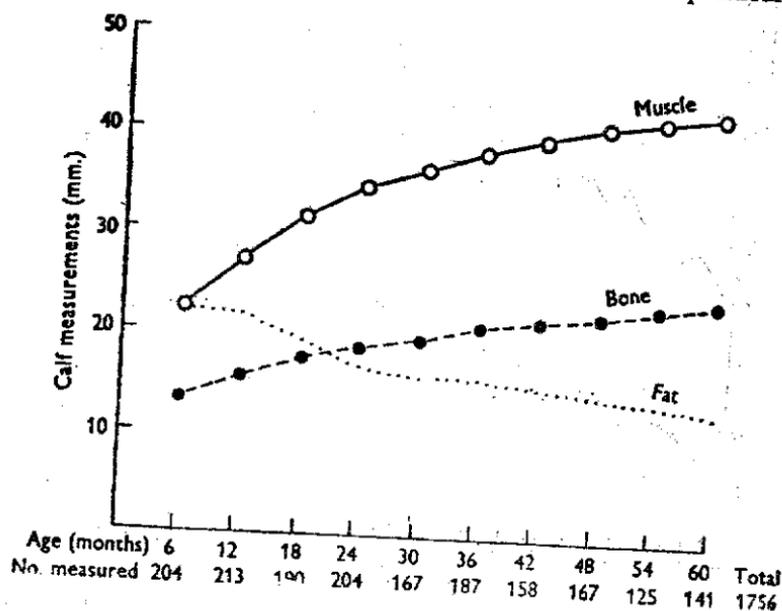


Fig. 7-1.

Índice medio de espesor del músculo, hueso (tibia y peroné) y grasa en radiografías de pantorrillas de niños, estudiados en Oxford Child Health Survey. (Tanner, 1965, después de Hewitt, 1958, p. 217.)

estudiado por Marion M. Maresh (1963), está representada en la figura 7-2. Se hizo la suma de las medidas tomadas en tres sitios (anchura máxima del antebrazo, anchura máxima de la pantorrilla y la mitad lateral del muslo al nivel de la mitad del fémur). El grosor de los huesos, músculos y grasa en lactantes y niños pequeños (25 varones y 25 hembras de 2 meses a 6 años), estudiados longitudinalmente, ya ha sido presentado en otra publicación (Maresh, 1961, Tabla 2, p. 978).

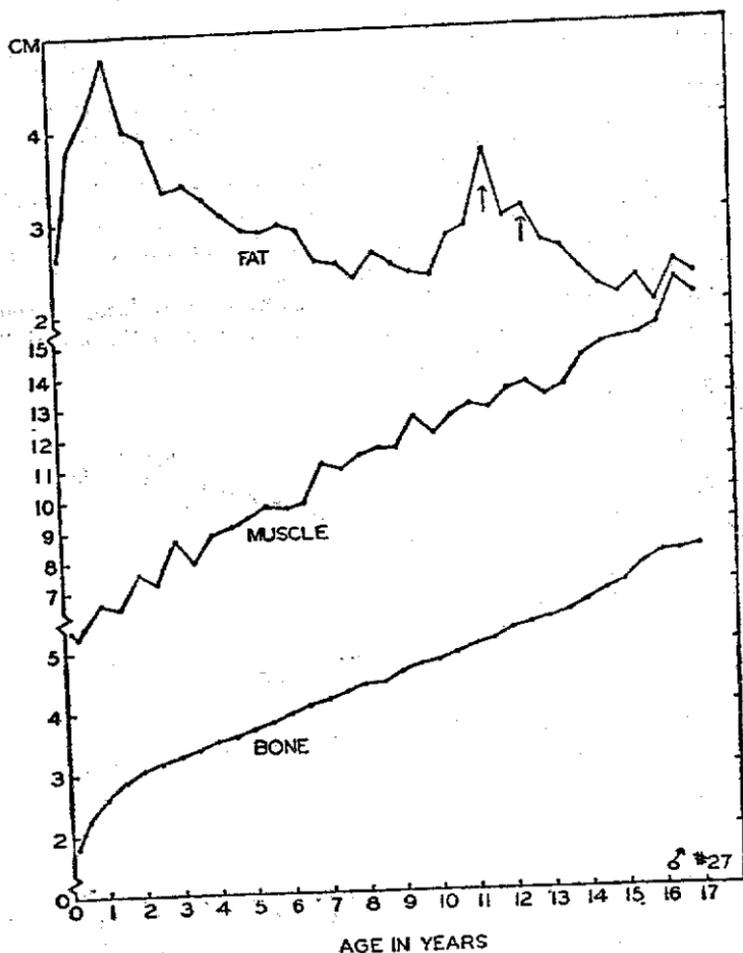


Fig. 7-2

Sumas de anchura en hueso, músculo y tejido adiposo, tomadas en un niño desde los 2 meses hasta los 17 años, mediante repetidos roentgenogramas. (Maresh, 1963, p. 468, fig. 1-b.)

Stuart *et al.* (1962) dieron normas para el crecimiento del tejido adiposo subcutáneo desde el nacimiento hasta los 16 años, basadas en radiografías ántero-posteriores de la pierna (véase figura 7-3). La medida presenta el espesor combinado de las capas lateral y media de la piel y del tejido subcutáneo. Se obtiene, estableciendo la diferencia entre la anchura total máxima de la pantorrilla y la anchura correspondiente del tejido no adiposo (músculo y hueso). La descripción de las técnicas y normas empleadas para determinar la anchura de los componentes adiposo, muscular y óseo en niños entre 1 y 7 años se encuentra en una monografía anterior (Stuart, Hill y Shaw, 1940). La grasa subcutánea en el área de la pantorrilla aumenta rápidamente durante el primer año de vida. Al iniciarse la adolescencia, hay una segunda aceleración, que continúa en las muchachas, mientras que en los varones es seguida por una disminución. La anchura de los tejidos no adiposos (músculo + hueso) exhibe "un aumento constante, siendo éste de magnitud mayor entre los 6 y los 18 meses, más moderado entre la última edad y los 3 años, y menor hacia la pubertad" (*ibid.*, p. 74). Las normas de edad para el espesor de los tejidos no adiposos, así como las corres-

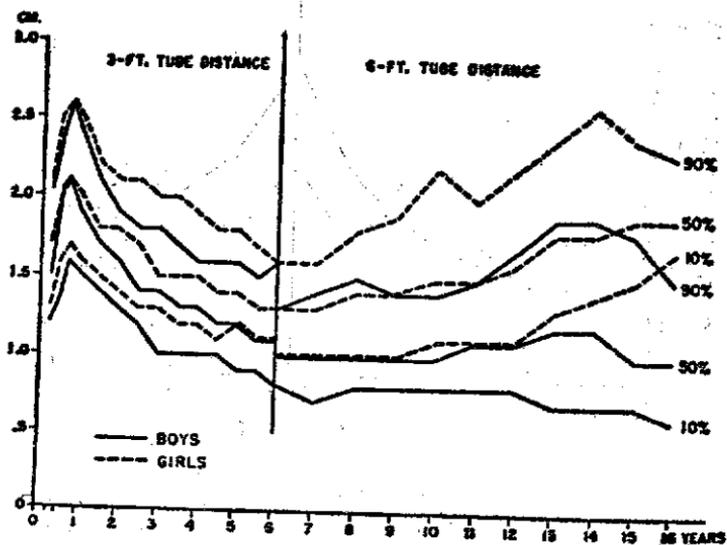


Fig. 7-3

Normas para el espesor de piel y tejido subcutáneo (capas lateral y media) medidos sobre radiografías ántero-posteriores de la pierna. Percentiles 10, 50, y 90 para individuos de ambos sexos cuyas edades oscilan entre los 3 meses y 16 años. (Stuart *et al.*, 1962, p. 73, fig. 1.)

pondientes a la altura y el peso, fueron dados por Stuart *et al.* (1962), refiriéndose al estudio de cinco casos.

Con el fin de proporcionar un punto común de referencia, Tanner (1965) sobrepuso las curvas individuales de crecimiento para hueso, músculo y grasa, de acuerdo con el punto máximo de velocidad en el crecimiento en estatura. Este último valor (P. M. V.)⁴ era de 8.4 cm./año a la edad de 12.1 años en las 21 niñas y 9.8 cm./año en la edad de 14.1 años en los 20 niños que forman parte del Estudio de Crecimiento de Harpenden.

En la figura 7-4 se presentan los datos para 1, 2 y 2.5 años antes de alcanzar el punto de mayor velocidad en el crecimiento y para 1 y 1.5 años después del mismo, con intervalos de 6 meses. Para llegar a la suma de los tres puntos observados (pantorrilla, muslo y brazo), se consideró la mitad de todos los valores corres-

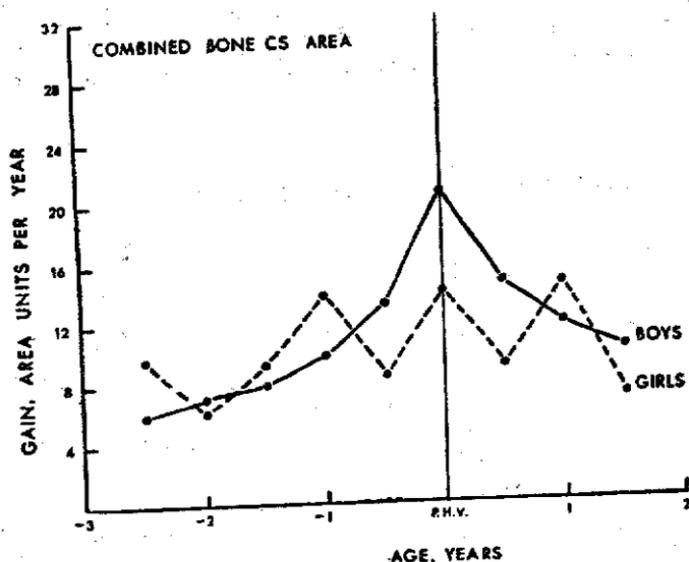


Fig. 7-4

Aumentos por año calculados en áreas seccionadas de hueso, músculo y tejido adiposo, medidos en pantorrilla, brazo, muslo y combinados. Datos longitudinales con curvas individuales alineadas en el punto máximo de velocidad (P.M.V.). (Tanner, 1965, pp. 220-22, figs. 4, 5 y 6.)

⁴ El punto máximo de velocidad (P. M. V.) corresponde al "peak height velocity" (P. H. V.) del inglés.

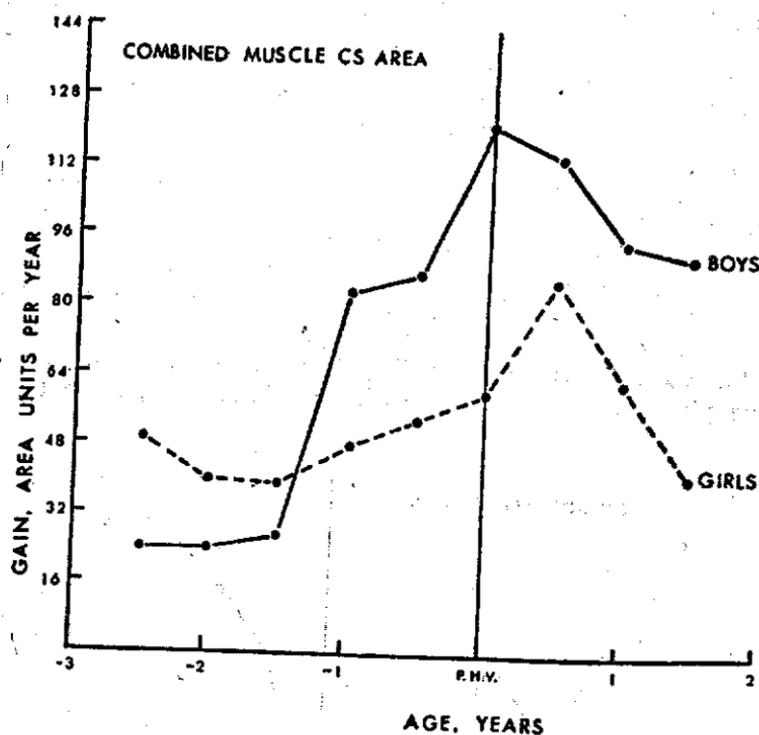


Fig. 7-4 (continuación)

pendientes al muslo, dando así una ponderación aproximadamente igual a los tres lugares. En la pantorrilla el área ósea fue calculada sumando las áreas de la tibia y el peroné.

En cuanto al crecimiento óseo, los muchachos muestran un punto máximo muy marcado, que coincide con el de mayor velocidad en el aumento de la estatura. Las niñas presentan un claro punto máximo en el crecimiento del hueso de la pierna, el cual coincide igualmente con el P.M.V., así como en los huesos del brazo después de haberse alcanzado el P.M.V. Los diferentes máximos no se distinguen al analizar juntos los datos correspondientes a las tres zonas.

El músculo muestra un claro pico en los varones, coincidente con el P.M.V. También existe un punto máximo en las niñas, pero se sitúa un poco después de alcanzar el P.M.V. Se puede apreciar una marcada diferencia de sexo en los incrementos anua-

les del músculo, la cual se inicia un año antes de alcanzarse la velocidad máxima en la estatura.

En contraste con el músculo, la grasa presenta una disminución constante en los incrementos anuales durante los años anteriores al periodo en que se alcanza el pico en la velocidad de la talla. En los muchachos hay un decremento absoluto durante el medio año inmediatamente anterior y posterior a dicho pico. Durante el tiempo en que el cuerpo crece más rápidamente en longitud es menor el aumento en grasa (niñas) o éste se sustituye por una pérdida en la misma (varones).

Los problemas relacionados con la interpretación de estos hechos fueron planteados con claridad por Tanner (1965, p. 225):

"El valor de estos datos radiográficos reside en los problemas que plantean para las investigaciones fisiológicas y, sobre todo,

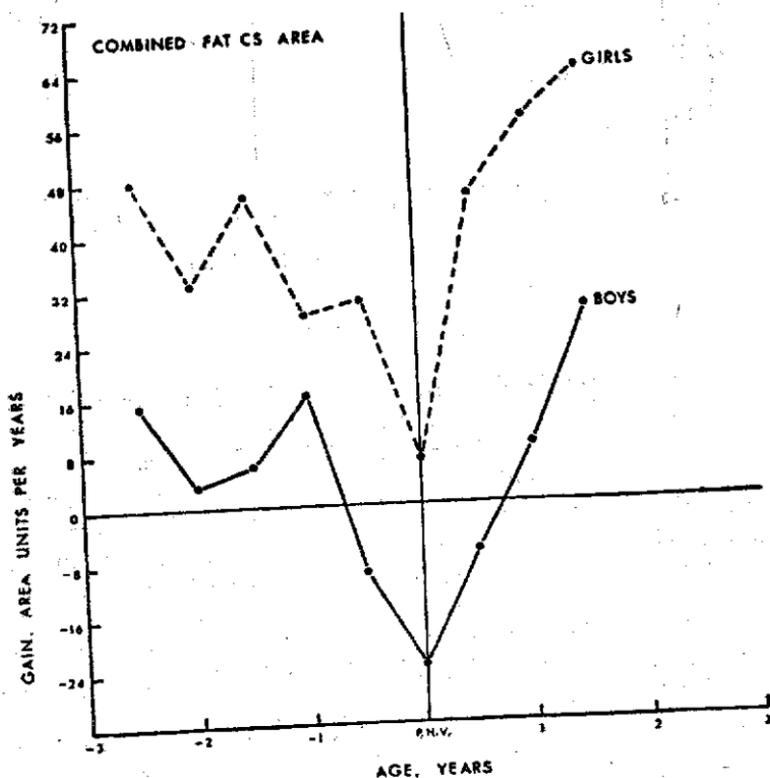


Fig. 7-4 (final)

endocrinológicas. No sabemos nada acerca de la oleada de grasa que amenaza con engullir al niño de un año, para retroceder luego. Ni siquiera sabemos si las personas excesivamente gordas al año de edad, se inclinan a volver a serlo antes o después de la adolescencia. Las dos oleadas de grasa pueden tener bases fisiológicas enteramente diferentes o también pueden estar relacionadas entre sí. Considerando ahora el músculo y el hueso; ¿por qué es que en un principio uno crece dos veces más rápido que el otro y con la misma velocidad más tarde?, ¿hasta qué punto su crecimiento se controla por separado durante los años pre-adolescentes? En el transcurso de la adolescencia, hueso y músculo crecen simultáneamente en los varones; ambos están bajo el control de la testosterona. En cuanto al hueso, esta aceleración causada por la testosterona, ¿se limita a la corteza del mismo o afecta igualmente a la médula ósea?"

La técnica radiográfica se usa, a menudo, para determinar principalmente el desarrollo del tejido adiposo subcutáneo. Reynolds (1951, pp. 28-30) presentó las medias y medianas del grosor subcutáneo obtenido en 6 áreas (pantorrilla, trocánter, cintura, torax, antebrazo y deltoides) y las sumas de éstas ("total de grasa") para intervalos de un año. Los cambios que se verifican con la edad y las diferencias existentes de acuerdo con el sexo en el área de la pantorrilla son menos ostensibles que los de la región trocántérica (véase Figura 7-5).

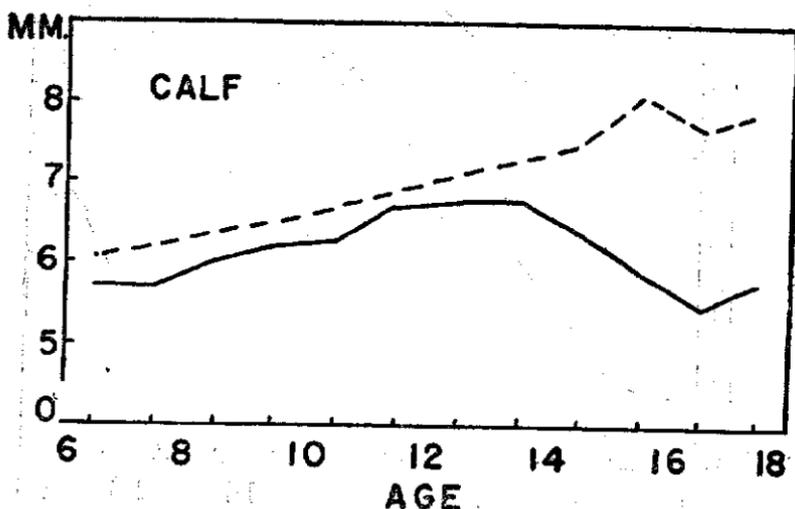


Fig. 7-5

Medias para el espesor del tejido subcutáneo en la pantorrilla y el trocánter. La línea de puntos se refiere a los valores para niñas y la línea continua, para niños. (Reynolds, 1951, pp. 32-33, fig. 5 y 6.)

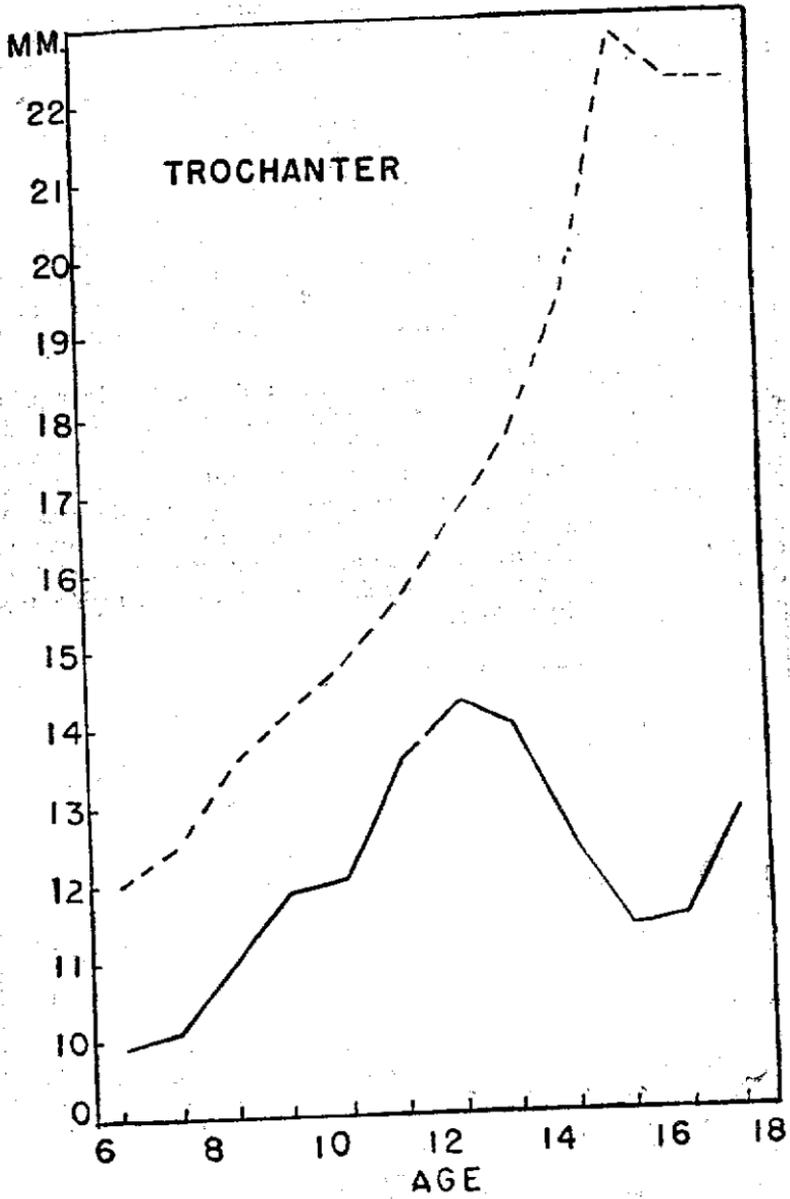


Fig. 7-5 (final)

El espesor mediano de la capa adiposa subcutánea en la parte inferior del torax fue representado gráficamente para edades entre 6 y 18 años por Garn y Haskell (1959; véase Figura 7-6). Los valores correspondientes a las mujeres son ligeramente mayores a los 6 años. Durante los siguientes 5 años, el aumento en los dos sexos es paralelo. A esta edad, los valores obtenidos para los muchachos se hacen relativamente estables, mientras que las medidas en las muchachas continúan mostrando un intenso aumento.

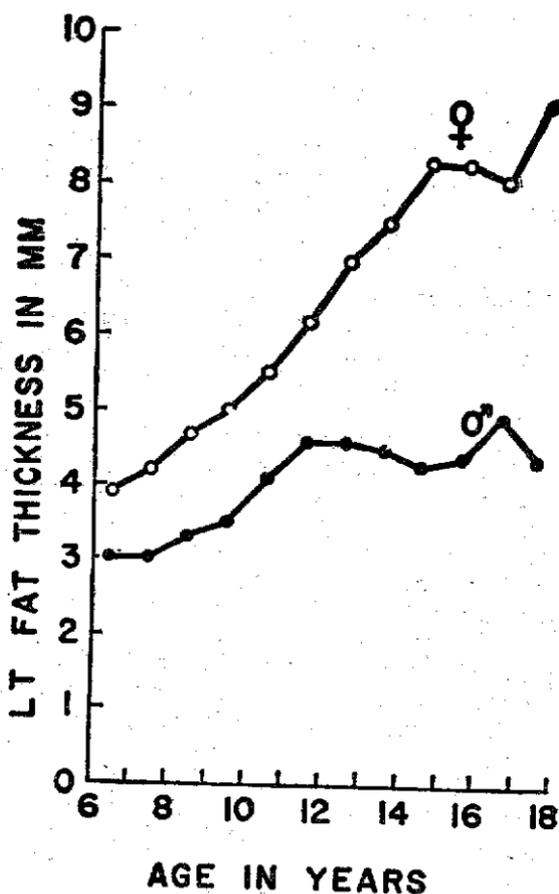


Fig. 7-6

Cambios por la edad en el espesor medio del tejido adiposo, en la parte inferior del tórax. (Garn y Haskell, 1959.)

8. Somatometría

El modelo antiguo de Matiegka (1921) referente a la composición del cuerpo consideraba tres componentes y, si tomamos en cuenta también el inevitable "remanente" (R), resultan cuatro. Los tres componentes del peso (P) del cuerpo fueron estimados sobre la base de medidas del cuerpo: el peso del esqueleto ("óseo", O), de la piel ("derma", D, junto con el tejido adiposo subcutáneo), y del músculo esquelético (M). Así tenemos (véase Brozek, 1960; 1963, p. 12):

$$P = O + D + M + R$$

Esta técnica no ha sido usada sistemáticamente en los estudios sobre el desarrollo infantil.

Los pliegues cutáneos, al igual que otras dimensiones e índices del cuerpo, pueden servir para predecir su densidad, lo cual, a su vez, permite la separación del peso del cuerpo en los componentes grasa y no-grasa (Brozek, 1963, pp. 14-16). Damon y Goldman (1964) examinaron sistemáticamente la validez de predecir la grasa total del cuerpo a base de medidas del mismo o de apreciaciones del somatotipo, usando las estimaciones densimétricas como un criterio de gordura. Es interesante el hecho, de que en una muestra de hombres atletas jóvenes, el pliegue cutáneo sobre el triceps y el subescapular dieron las predicciones más aproximadas al "verdadero" contenido de grasa del cuerpo.

Behnke (1963) exploró los métodos para estudiar la subdivisión somatométrica del peso del cuerpo, basándose en medidas de circunferencias y diámetros y comparó las estimaciones resultantes de la "masa magra del cuerpo" con los valores obtenidos a base de las determinaciones del agua total del cuerpo y de la densidad del mismo. Otro método, de acuerdo con Garn (1957), se funda en las correlaciones entre el espesor del pliegue cutáneo y el peso del cuerpo (Brozek, 1963, p. 13-14).

Todos los modos somatométricos de acercarse al análisis de la composición del cuerpo arriba mencionados, operan con el concepto de expresar las masas corporales en términos de peso. Combinando las medidas de pliegues cutáneos con las circunferencias de las extremidades, obtenemos indicadores *lineales* del desarrollo de: 1) la grasa subcutánea y 2) los tejidos "magros" (músculo + hueso), bajo la forma de un diámetro corregido por medio de la substracción del espesor del pliegue cutáneo:

$$d = \frac{c}{\pi} - S$$

donde d = diámetro calculado para la extremidad, c = circunferencia de la misma, π = constante y S = espesor del pliegue cutáneo (véase Brozek, 1960, p. 89 y 1963, p. 9).

Sin embargo, en los estudios de crecimiento se dio mayor importancia a las medidas del espesor del tejido adiposo subcutáneo (Keys y Brozek, 1953, Brozek, 1963, pp. 7-9; véase la bibliografía anotada de Stitt, quien cita 237 referencias) Las fuentes de información en cuanto a las normas para la grasa subcutánea fueron reunidas por Tanner (1959, p. 151). El desarrollo general de la grasa subcutánea, en relación con la suma de 10 pliegues cutáneos, ha sido representado gráficamente por Parizková (1960, véase Figura 8-1) a base de las medidas obtenidas en 526 niños y 520 niñas checos normales. La tendencia seguida se puede considerar como un fiel reflejo del crecimiento total del tejido adiposo, por lo menos en lo que se refiere a su componente subcutáneo. Se observa la existencia de pequeñas diferencias iniciales de acuerdo con el sexo, un subsecuente crecimiento paralelo del tejido adiposo y una marcada divergencia sexual entre los 12 y 16 años.

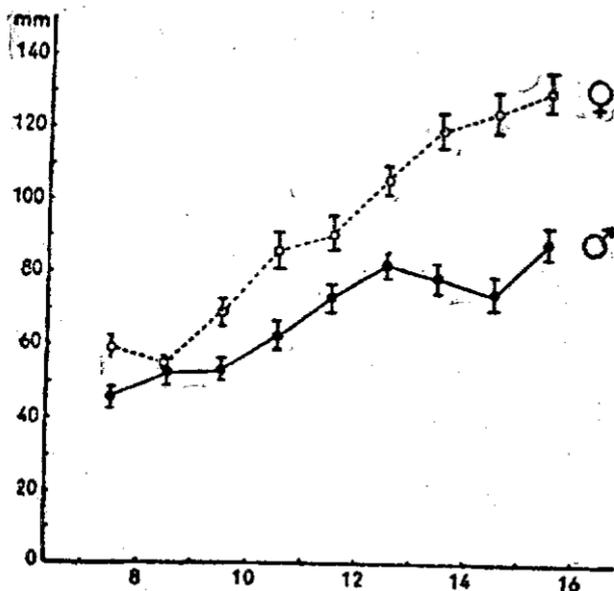


Fig. 8-1

Desarrollo de la grasa subcutánea expresado por la suma de pliegues cutáneos (ordenada), medidos en 10 sitios diferentes, entre los 7 y 16 años (abscisa). (Parizková, 1960, p. 518, fig. 1.)

La figura 8-2 muestra las diferencias entre los "perfiles del pliegue cutáneo" en niños de distintas edades. En los grupos más jóvenes, el tejido subcutáneo alcanza sus valores más altos en la mejilla, brazo y muslo. En estas edades, las diferencias entre los dos sexos no tienen importancia. A los 12.5 años, el máximo se desplaza, en ambos sexos al abdomen. En el grupo de mayor edad, el patrón general de la distribución de la grasa subcutánea permanece similar, especialmente en las niñas, mientras que los valores absolutos muestran una tendencia a seguir aumentando, sobre todo en la cintura. En los muchachos de 15.5 años, la distribución es bastante uniforme en toda la superficie corporal.

El Comité de Antropometría Nutricional (1956), como parte

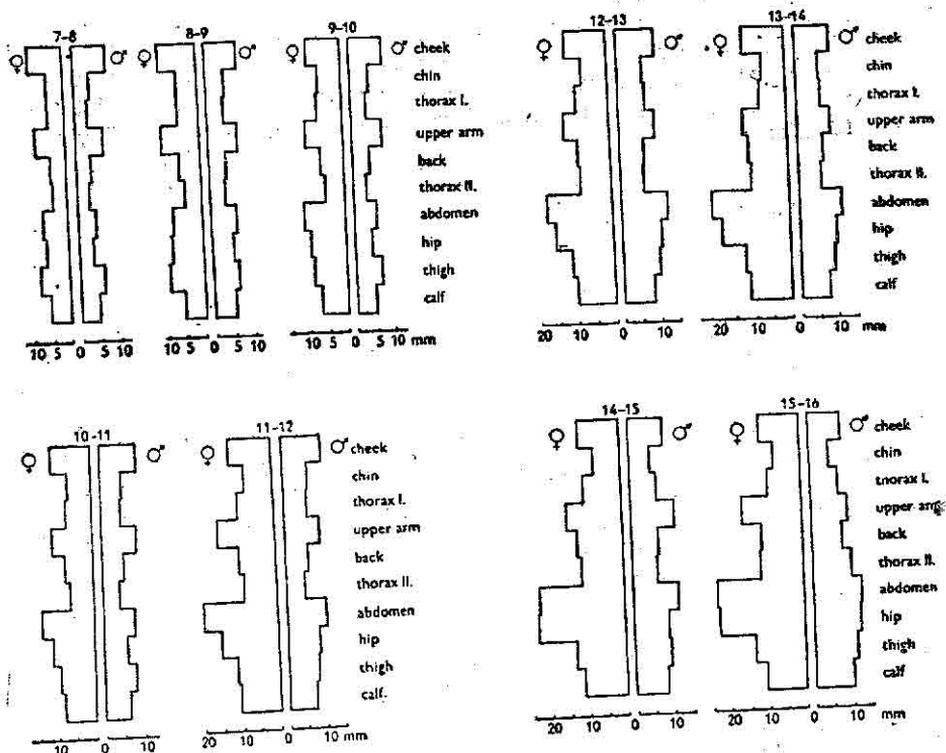


Fig. 8-2

Comparación del grosor del pliegue cutáneo en diferentes sitios, durante el crecimiento, en niños y niñas. La mitad izquierda, niñas; la derecha, niños. La escala inferior indica el grosor de pliegue cutáneo, en milímetros empezando por la línea media.

de un conjunto mínimo de medidas seleccionadas para caracterizar el estado nutricional en el hombre, especificó dos sitios: el dorso del brazo y la región inmediatamente debajo de la escápula. Se indicó la localización de ambas zonas, describiendo en detalle el procedimiento a seguir en la medición (véase también Brozek, 1956). Las medidas de los pliegues cutáneos, hechas por diversos investigadores resultan comparables solamente si se presta atención especial a la estandarización de las técnicas empleadas, incluyendo la presión ejercida por el compás (10 g/mm cuadrado de la superficie de contacto).

Las normas en percentiles del espesor del pliegue cutáneo sobre el tríceps y por debajo de la escápula, para niños británicos, fueron dadas por Tanner y Whitehouse (1962; véase Figura 8-3).

Los estándares británicos resultarían demasiado conservadores para los niños norteamericanos. Sin embargo, los valores canadienses para el pliegue cutáneo sobre el tríceps, reportados por Pett y Ogilvie (1956), fuera de toda expectación, resultaron ser aún más bajos. Estos se refieren a grupos de 2 años en adelante.

Los pliegues cutáneos reflejan la diferencia en gordura más claramente que el peso total del cuerpo, ya que éste representa un compuesto a base de varios constituyentes. Una hidratación excesiva, típicamente presente en niños desnutridos, oculta la pérdida de tejidos. Smith (1960), empleando tritio para medir el agua total del cuerpo en 24 niños desnutridos menores de 2 años, observó que en el momento de su admisión, el agua total promedio del cuerpo representaba un 84.5% del peso del cuerpo. Después de su recuperación, el valor bajó a un 62.6%.

Al usar los pliegues cutáneos o cualquier otro indicador de la composición del cuerpo con el fin de caracterizar el estado nutricional de un individuo, o de un grupo, se debe tener en mente que el tamaño del cuerpo y su composición son determinados tanto por la herencia como por el medio ambiente (específicamente, la nutrición).

Hablando en términos precisos, las medidas del cuerpo pueden usarse como índices "nutricionales" al comparar diferentes poblaciones, solamente si las bases genéticas de éstas son parecidas. Lo mismo es válido también, al estudiar a una población determinada en relación con su tendencia secular. Esta última sólo puede interpretarse sin riesgo en términos nutricionales, si los determinantes genéticos no han sido alterados por la selección o algún otro mecanismo (Hiernaux, 1964) y cuando los factores ambientales, tales como el nivel general de higiene y de salud, no han cambiado esencialmente.

Si los pliegues cutáneos en los niños pertenecientes a una comunidad determinada varían de acuerdo con el status económi-

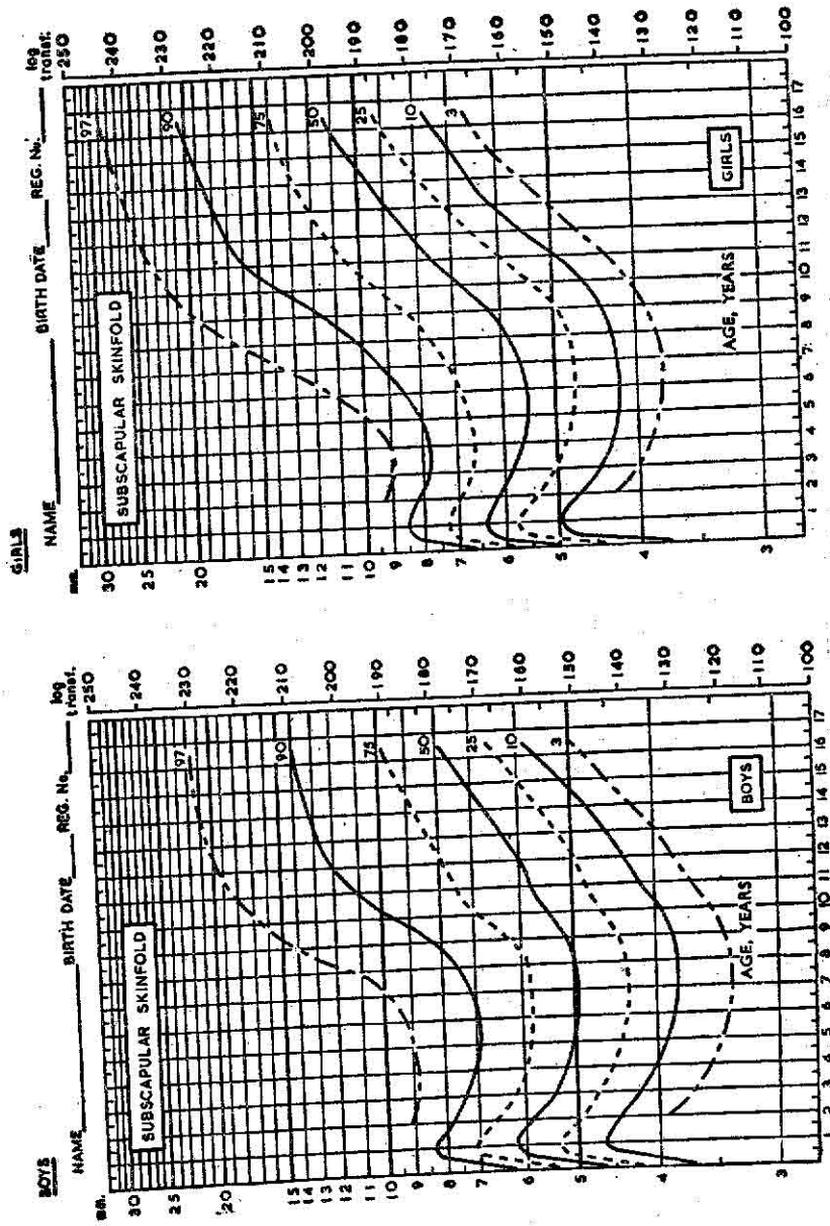
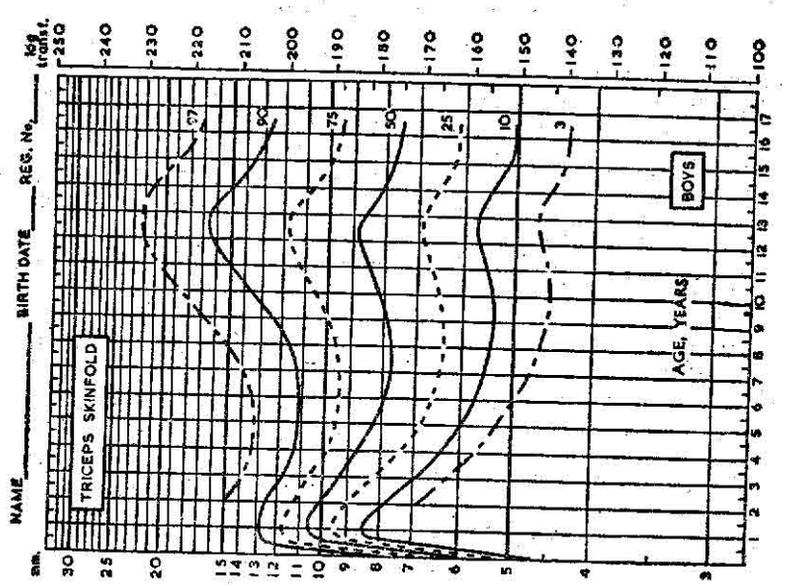


Fig. 8-3

'Standards' para pliegues cutaneos, para ambos sexos, en las regiones del triceps y sub-escapular (Tanner y Whitehouse, 1962, pp. 7-8)

BOYS



GIRLS

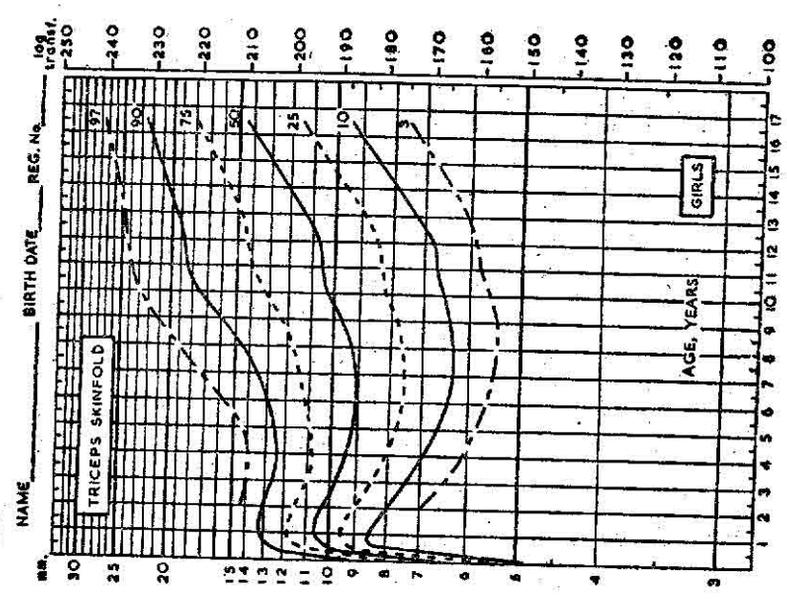


Fig. 8-3 (continuación)

co de la familia, es probable que el factor principal es nutricional. De este modo A. Ferro-Luzzi y G. Ferro-Luzzi (1962) informaron, que los niños de Libia, pertenecientes a un nivel económico superior, presentan pliegues cutáneos más gruesos que otros de la misma edad, pero pertenecientes a un nivel económico inferior. Bajo estas condiciones, por lo menos provisionalmente, los valores obtenidos para los primeros pueden utilizarse como "estándares deseables" para todos los niños de una región dada.

Sin embargo, es bueno recordar la afirmación hecha por Tanner y Whitehouse (1962) en relación con las normas para el pliegue cutáneo, pero aplicable a cualquier conjunto de datos somatométricos descriptivos: "Los estándares representan una serie de valores realmente encontrados en niños de Londres; no nos dicen cuáles pueden ser los valores óptimos." Proporcionar información acerca de las proporciones óptimas del crecimiento y de la composición del cuerpo, es una tarea atrayente para la investigación del futuro.

Lehigh University, Bethlehem, Pennsylvania, (Estados Unidos).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, T. H., E. C. ANDERSON and W. H. LANGHAM.
1960 Total Body potassium and gross composition in relation to age. *J. Gerontol.*, 15: 348-357.
- ANDERSON, E. C.
1963 Three-component body composition analysis based on potassium and water determination. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 189-210.
- ANDERSON, E. C. and W. H. LANGHAM.
1959 Average potassium concentration of the human body as a function of age. *Science*, 130: 713-714.
- 1961 Estimation of total body fat from potassium-40 content. *Science*, 133: 1917.
- ANDERSON, E. C., R. L. SCHUCH, V. N. KERR and M. A. VAN DILLA.
1962 Humco II: A New four pi liquid scintillation counter. Pp. 31-44 in *Radiactivity in Man*, ed. by G. R. Meneely. C. C. Thomas, Springfield, Illinois.
- BEHNKE, A. R.
1963 Anthropometric evaluation of body composition throughout life. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 450-464.
- BROZEK, J.
1956 Physique and nutritional status of adult men. *Human Biol.*, 28: 124-40.

- 1958 Review of Chemical Anthropology: A New Approach to Growth in Children, by Icie G. Macy and Harriet J. Kelly. *Amer. J. Physical Anthropol.*, 16: 489-493.
- 1960 The measurement of body composition. Pp. 78-120 in *A Handbook of Anthropometry*, by M. F. Ashley Montagu. C. C. Thomas, Springfield, Illinois.
- 1961 *Determinación somatométrica de la composición corporal*. Instituto Nacional de Antropología e Historia. México. 47 pp.
- 1962 Some somatic age changes observed in man in the context of in vivo studies of body composition. *Ceskoslav. Morfologie*, 10: 151-160. Praha, Checoslovaquia.
- 1963 Quantitative description of body composition: Physical anthropology's "fourth" dimension. *Current Anthropology*, 4: 3-39.
(Editor.)
- 1963a Body Composition. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: Part I, pp. 1-424; Part 2, pp. 425-1018.
(Editor.)
- 1965 *Human Body Composition: Approaches and Applications*. Pergamon Press. Oxford, England.
- 1965a Methods for the study of body composition: some recent advances and developments, pp. 1-29 in *Human Body Composition. Approaches and Applications*, edited by J. Brozek. Pergamon Press. Oxford, England.
- 1965b Age trends and adult sex differences in Body Composition, pp. 23-35 in vol. II, *Homenaje a Juan Comas*. México.
- BROZEK, J., F. GRANDE, J. T. ANDERSON and A. KEYS.
1963 Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140.
- BROZEK, J., A. HENSCHEL. (Editors.)
1961 *Techniques for Measuring Body Composition*. *Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Council*. Washington, D. C. 300 pp.
- BROZEK, J. y A. KEYS.
1952 Evaluación de la obesidad-emaciación en el hombre. Normas e inter-relaciones. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana*, 32: 340-349.
- BROZEK, J. and H. MORI.
1958 Some interrelations between somatic, roentgenographic and densitometric criteria of fatness. *Human Biol.*, 30: 322-336.
- BROZEK, J., H. MORI and A. KEYS.
1958 Estimation of total body fat from roentgenograms. *Science*, 128: 901.

- BUSKIRK, E. R.
 1961 Underwater weighing and body density: A review of procedures. Pp. 90-106 in *Techniques for Measuring Body Composition*, ed. by J. Brozek and A. Henschel. *Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Council*, Washington, D. C.
- CHRISTIAN, J. E., W. V. KESSLER and P. L. ZIEMER.
 1962 A 2 pi liquid scintillation counter for determining the radioactivity of large samples, including man and animals. *Internat. J. Appl. Radiation and Isotopes*, 13: 557-564. Oxford, England.
- Committee on Nutritional Anthropometry, Food and Nutrition Board,
 1956 National Research Council. Recommendations concerning body measurements for the characterization of nutritional status. Pp. 1-13 in *Body Measurements and Human Nutrition*, ed. by J. Brozek, Wayne Univ. Press, Detroit, Mich.: also *Hum. Biol.*, 28: 111-123.
- CORSA, J. Jr., J. M. OLNEY, R. W. STEINBURG, Margaret R. BALL and F. D. MOORE.
 1950 The measurement of exchangeable potassium in man by isotope dilution. *J. Clin. Investigation*, 29: 1280-1296.
- DAMON, A. and R. F. GOLDMAN.
 1964 Predicting fat from body measurements: Densitometric validation of ten anthropometric equations. *Human Biol.*, 36: 32-44.
- EDELMAN, I. S.
 1961 Body water and electrolytes. Pp. 140-154 in *Techniques for Measuring Body Composition*, ed. by J. Brozek and A. Henschel. *Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Council*, Washington, D. C.
- FALKNER, F.
 1963 An air displacement method of measuring body volume in babies. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 75-79.
- FERRO-LUZZI, A. and G. FERRO-LUZZI.
 1962 Study on skinfold thickness of school children in some developing countries. *Metabolism*, 11: 1064-1076.
- FOMON, S., R. L. JENSEN and G. M. OWEN.
 1963 Determination of body volume in infants by a method of helium displacement. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 80-90.
- FORBES, G. B.
 1962 Human body composition: Methods for determining composition of the human body. *Pediatrics*, 29: 477-494.
- FORBES, G. B., J. GALLUP and J. B. HURSH.
 1961 Estimation of total body fat from potassium-40 content. *Science*, 133: 101-102.
- FORBES, G. F. and J. B. HURSH.
 1963 Age and sex trends in human body mass calculated from K⁴⁰ measurements. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 255-263.
- FRIIS-HANSEN, B.
 1965 Hydrometry of growth and aging. Pp. 191-209 in *Human Body Composition*, ed. by J. Brozek. Pergamon Press, Oxford, England.

GARN, S. M.

1957 Roentgenogrammetric determinations of body composition. *Human Biol.*, 29: 337-353.

1961 Radiographic analysis of body composition. Pp. 36-58 in *Techniques for Measuring Body Composition*, edited by J. Brozek and A. Henschel. Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Council. Washington, D. C.

GARN, S. M. and Joan A. HASKELL.

1959 Fat changes during adolescence. *Science*, 126: 1615-1616.

GOLDMAN, R. F., B. BULLEN and C. SELTZER.

1963 Changes in specific gravity and body fat in overweight female adolescents as a result of weight reduction. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 913-917.

HEALD, F. P., E. E. HUNT JR., R. SCHWARTZ, R., C. D. COOK, O. ELLIOT and B. VAJDA.

1963 Measures of body fat and hydration in adolescent boys. *Pediatrics*, 31: 226-239.

HEWITT, D.

1958 Sib resemblance in bone, muscle and fat measurements of the human calf. *Ann. Human Genet.*, 22: 213-221.

HIERNAUX, J.

1964 *Personal communication.*

HUNT, E. E., Jr.

1961 Measures of adiposity and muscularity in man: Some comparisons by factor analysis. Pp. 192-211 in *Techniques for measuring Body Composition*, ed. by J. Brozek and A. Henschel. Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Council, Washington, D. C.

HUNT, E. E., Jr. and F. P. HEALD.

1963 Physique, body composition, and sexual maturation in adolescent boys. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 532-544.

JOKL, E.

1963 Physical activity and body composition: Fitness and fatness. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 778-794.

KEYS, A. and J. BROZEK.

1963 Body fat in adult man. *Physiol. Rev.*, 33: 245-325.

LESSER, G. T. and G. ZAK.

1963 Measurement of total body fat in man by the simultaneous absorption of two inert gases. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 110: 40-54.

LIM, T. P. K.

1963 Critical evaluation of the pneumatic methods for determining body volume: Its history and technique. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 72-74.

MACY, Icie G. and Harriet J. KELLY.

1957 *Chemical Anthropology: A New Approach to Growth in Children.* Univ. of Chicago Press. 149 pp.

- 1960 Chemical and physiological growth. Ch. 6, pp. 252-283 in *Handbook of Research Methods in Child development*, ed. by P. H. Mussen Wiley, New York.
- MARESH, Marion M.
1961 Bone, muscle and fat measurements. *Pediatrics*, 28: 971-984.
- 1963 Tissue changes in the individual during growth from X-rays of the extremities. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 465-474.
- MATIEGKA, J.
1921 The testing of physical efficiency. *Am. J. Phys. Anthropol.*, 4: 225-230.
- MENEELY, G. R., R. M. HEYSSEL, con O. T. BALL, R. L. WEILAND, A. R. LORIMER, C. CONSTANTINIDES and Ethelwynne U. MENEELY.
1963 Analysis of factors affecting body composition determined from potassium content in 915 normal subjects. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 271-281.
- MILLER, C. E. and A. P. REMENCHIK.
1963 Problems involved in accurately measuring the K content of the human body, *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 175-188.
- MOORE, F. D., K. H. OLESEN, J. D. McMURREY, H. V. PARKER, Margaret R. BALL, and C. M. BOYDEN.
1963 *The Body Cell Mass and its Supporting Environment: Body Composition in Health and in Disease*. W. B. Saunders, Philadelphia-London. xxv + 535 pp.
- NOVAK, L. P.
1963 Age and sex differences and sexual maturation in adolescent boys *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 545-577.
- PARIZKOVA, Jana.
1960 The development of subcutaneous fat in normal and obese children. *Physiol. Bohemoslov.*, 9: 516-523. Praha, Czechoslovakia.
- 1961 Age trends in fat in normal and obese children. *J. Appl. Physiol.*, 16: 173-174.
- 1961a Total body fat and skinfold thickness in children. *Metabolism*, 10: 794-807.
- 1963 Impact of age, diet, and exercise on man's body composition. *Annals N. Y. Acad. Sci.*, 110: 661-674.
- 1965 Physical activity and body composition. Pp. 161-176 in *Human Body Composition: Approaches and Applications*, ed. by J. Brozek. Pergamon Press. Oxford, England.
- PETT, L. B. and G. F. OGILVIE.
1956 The Canadian weight-height survey. *Human Biol.*, 28: 177-188.

RATHBUN, Edith H. and N. PACE.

- 1945 Studies on body composition. I. Determination of body fat by measure of the body specific gravity. *J. Biol. Chem.*, 158: 667-676.

REYNOLDS, E. L.

- 1951 The Distribution of Subcutaneous Fat in Childhood and Adolescence. *Monogr. Soc. for Res. in Child Develop.*, Nº 50, Evanston, Illinois.

SCAMMON, Richard E.

- 1942 Developmental Anatomy, pp. 9-52 in *Morris' Human Anatomy*, edited by J. P. Schaeffer. Blackiston, Philadelphia.

SHIEFFERDECKER, G. E., W. V. KESSLER and J. E. CHRISTIAN.

- 1964 Whole body radioactivity: measurement and significance. *J. Pharmaceut. Sci.*, 53: 269-272.

SILVER, S.

- 1962 *Radioactive Isotopes in Medicine and Biology: Medicine*. Lea and Febiger, Philadelphia.

SIRI, W. E.

- 1961 Body volume measurement by gas dilution. Pp. 108-117 in *Techniques for Measuring Body Composition*, ed. by J. Brozek and A. Henschel. Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Council, Washington, D. C.

-
- 1961a Body composition from fluid spaces and density: Analysis of methods. Pp. 223-244 in *Techniques for Measuring Body Composition*, ed. by J. Brozek and A. Henschel. Nat. Acad. Sci. and Nat. Res. Council, Washington, D. C.

SMITH, R.

- 1960 Total body water in malnourished infants. *Clin. Science*, 19: 275-285. Cambridge University Press. London.

STERN, B.

- 1963 Determination of body volume by helium dilution. *Scand. J. Clin. Lab. Investigation*, 15: 339-352. Oslo.

STITT, Kathleen, R.

- 1962 *Skinfold measurement: A method of determining subcutaneous fat*. Dept. of Foods and Nutrition, School of Home Economics, Univ. of Alabama.

STUART, H. C., Penelope HILL and Constance SHAW.

- 1940 The growth of Bone, Muscle, and Overlying Tissues as Revealed by Studies of Roentgenograms of the Leg Area. *Monogr. Soc. for Res. in Child Develop.*, Nº 26, Evanston, Illinois.

STUART, H. C., R. B. REED, Isabella VALADIAN and Joan CORNONI.

- 1962 Growth of fat tissue. *Mod. Probl. Pediat.*, 7: 71-89. Basel.

SUÁREZ, M.

- 1952 *Métodos de estudio del crecimiento*. VIII Congreso Nacional de Pediatría. Barcelona (especialmente cap. VII, Desarrollo muscular. Panículo adiposo, pp. 134-173).

SUÁREZ, M. y G. MARQUESAN.

1957 Valoración radiográfica y química del agua corporal en la infancia. In: *Estudios de Pediatría*, v, pp. 77-127. Barcelona-Madrid.

TALSO, P. J., C. E. MILLER, A. J. CARBALLO and I. VÁZQUEZ.

1960 Exchangeable potassium as a parameter of body composition. *Metabolism*, 9: 456-471.

TANNER, J. M.

1959 The measurement of body fat in man. *Proc. Nutrition Soc.*, 18: 148-155. Cambridge Univ. Press.

TANNER, J. M. and R. H. WHITEHOUSE.

1962 Standards for subcutaneous fat in British children: Percentiles for thickness over triceps and below scapula. *Brit. Med. J.* 1: 446-450.

TANNER, J. M.

1965 Radiographic studies of body composition in children and adults. Pp. 211-236, in *Human Body Composition*, ed. by J. Brozek. Pergamon Press, Oxford, England.

WIDDOWSON, Elsie M.

1965 Chemical analysis of the body. Pp. 31-47, in *Human Body Composition*, ed. by J. Brozek. Pergamon Press, Oxford, England.

WIDDOWSON, Elsie M. and J. W. T. DICKERSON.

1964 Chemical Composition of the body. Pp. 2-247 (references, pp. 207-247) in *Mineral Metabolism: An Advanced Treatise*, vol. 2, Part A., ed. by C. L. Comar and F. Bonner. Academic Press. New York and London.

WILMER, H. A.

1940 Changes in structural components of human body from six lunar months to maturity. *Proc. Soc. Exper. Biol. Med.*, 43: 545-547.