

Características somáticas del proceso puberal

DR. RAÚL CALZADA LEÓN,* DRA. MARÍA DE LA LUZ RUIZ REYES,* DRA. NELLY ALTAMIRANO BUSTAMANTE*

RESUMEN

Durante la pubertad ocurren cambios somáticos importantes, particularmente en la estatura, el peso, proporciones corporales, relaciones entre los tejidos adiposo, muscular y el contenido de agua corporal; en la mineralización ósea, y en las condiciones funcionales del corazón, presión arterial, pulmones, hígado, cerebro y riñón. Las modificaciones corporales, sobre todo en las características sexuales secundarias, dependen de cambios funcionales de las glándulas adrenales y las gónadas. La intensidad de las manifestaciones puberales depende de la capacidad de respuesta del organismo a estos cambios hormonales, y muchas de ellas presentan diferencias entre la población latinoamericana y las descritas para europeos.

Palabras clave: Pubertad, estatura, peso, características sexuales secundarias.

ABSTRACT

Puberty is associated with dramatic changes in somatic characteristics, especially height, weight, body proportionality, relationship between adipose tissue, muscular tissue and total body water, bone mineralization, and cardiac, lung, hepatic, brain and kidney function. The body modifications, specially the secondary sexual characteristics, depend on functional changes of the adrenal glands and the gonads. Intensity of pubertal manifestations depend on body capacity to respond to hormonal changes, and there are differences between Latin-American and European populations.

Key words: Puberty, height, weight, secondary sexual characteristics.

Los cambios corporales de la pubertad son de tal magnitud que explican las variaciones en la apariencia física de niños de la misma edad, particularmente en la estatura y en la composición corporal; mismos responsables de la gran diferencia de forma y tamaño que se observa en los adultos de diferente sexo. Las posibilidades de variación en este proceso son ilimitadas, ya que cada niño sigue un patrón de crecimiento propio, por la influencia de factores genéticos, étnicos y ambientales (nutrición, afecto, hipoxia, etc.), acentuados por las diferencias en el momento de inicio del "estirón" puberal.

TALLA

Esta medida antropométrica es resultado de la suma de tres componentes: cabeza, tronco y extremidades

inferiores, pero durante la pubertad, refleja fundamentalmente el incremento en longitud de las extremidades inferiores y el tronco; representa sólo el crecimiento del tejido óseo. Ya que el tronco es el que crece más y por un tiempo más prolongado en este período, es el factor más importante de la magnitud del crecimiento; el empleo de medidas adicionales, como las de los segmentos corporales permite una mejor apreciación de la armonía corporal.

Las curvas de crecimiento lineal representan el conjunto del crecimiento de maduradores tempranos y tardíos y cuando se basan en estudios de corte transversal con un gran número de niños, no dan una idea adecuada del patrón individual de crecimiento en la adolescencia. Estas variaciones pueden causar preocupación, sobre todo en niños que consultan por talla baja, en quienes se requiere un diagnóstico de normalidad o patología antes de recurrir a medidas terapéuticas.¹

En el varón, durante la pubertad, la velocidad de crecimiento alcanza un promedio de 8.7 cm en el primer año y 6.5 cm en el segundo. Durante el año de máxima velocidad de crecimiento, que ocurre entre

* Servicio de Endocrinología, Instituto Nacional de Pediatría. Correspondencia: Dr. Raúl Calzada León. Instituto Nacional de Pediatría. Insurgentes Sur 3700 C. Col. Insurgentes Cuicuilco, México, 04530, DF.

Recibido: febrero, 2001. Aceptado: abril, 2001.

los 13 y 14 años con una desviación estándar de 0.92 años, la ganancia es de 7 a 12 cm; sin embargo, el ritmo es variable en cada niño y guarda relación con el momento de inicio de la pubertad, cuando los varones, debido a que inician su estirón dos años después que las niñas, ya tienen por lo menos 10 cm más de lo que alcanzaron ellas en ese momento. La talla final suele alcanzarse hasta cinco años después, y en los tres años de máximo crecimiento algunos agregan unos 23 cm o más a su talla previa.²

En la niña, la velocidad media es de 7.5 cm en el primer año y 5.5 cm en el segundo de la pubertad. Durante el año de máxima aceleración que ocurre en promedio a los 12 años (10.5 a 11.5 años en la población mexicana), con una desviación estándar de 0.88 años, la ganancia de talla es de 6 a 11 cm. Alcanzan la talla final aproximadamente cuatro años después del principio de la pubertad, con un incremento global de unos 20 cm. Las variaciones individuales en el sexo femenino son de mayor magnitud que en el masculino, pero en general la talla aumenta 20 a 25% en relación con los valores anteriores a esta fase.³

La causa de estos cambios en el patrón de crecimiento, en ambos sexos, se debe al efecto de los estrógenos que se producen por la aromatización intracelular de la testosterona, que aumenta la producción hipotalámica de la hormona liberadora de hormona de crecimiento (GHRH). En las mujeres este efecto se aprecia desde la aparición de las características sexuales secundarias, en tanto que en los varones sucede hasta la etapa III o IV de desarrollo puberal cuando se aprecia este cambio.⁴

Como consecuencia de lo anterior, aumentan los niveles basales y los picos secretorios de hormona de crecimiento (GH), en magnitud y en duración, de tal manera que la secreción integrada es mayor; llega incluso a triplicarse con respecto al patrón previo. La máxima producción de GH tiene lugar entre la etapa III y IV de desarrollo, y se asocia con un aumento lento y progresivo del factor de crecimiento tipo insulina I (IGF-I), particularmente en mujeres. Alcanza su máximo un año después de la máxima velocidad de crecimiento. También se modifican concentraciones de las proteínas transportadoras de IGF-1 (IGFBP-1 disminuye e IGFBP-3 aumenta). Sin embargo la proteína transportadora de GH no se modifi-

ca tan intensamente, lo que sugiere que en cierta medida su síntesis es independiente de los niveles de GH, IGF-1 e IGFBP-3, así como de los esteroides gonadales. Esto garantiza que los niveles de GH libre sean mayores, y que por lo tanto puedan unirse con el receptor.^{5,6}

Concomitantemente, aumenta la secreción de la hormona estimuladora del tiroides (TSH), seguido por aumento en los niveles de tiroxina (T_4) y triyodotironina (T_3); se mantiene inicialmente la misma proporción entre estas dos últimas que en etapas anteriores; posteriormente la deiodinización periférica de T_4 aumenta y la relación de T_4/T_3 disminuye.⁷

El crecimiento postpuberal en mujeres mexicanas muestra que la pierna deja de crecer después de los 14 años, mientras que el muslo continúa haciéndolo. Las relaciones de antebrazo \times 100/miembro superior y pierna \times 100/miembro inferior, sugieren gradientes postmenarca específicos e independientes del gradiente céfalo-caudal.

Todas las medidas de talla y longitud de los subsegmentos se hacen asintóticas cinco años después de la menarca, a excepción de las longitudes del pie y mano que se detienen a partir de la menarca.

Entre dos y cinco años posteriores a la menarca, las mujeres mexicanas tienden a acumular más grasa, y la relación del área grasa vs el área total del cuerpo, que es de 33.1% antes de la menarca, alcanza 36.9% en este lapso. El aumento de peso postmenárquico se acompaña de cambios en la composición corporal, debidos a una mayor acumulación relativa de grasa que de músculo. Tardíamente, cuando el peso se hace asintótico, se pierde grasa del brazo con aumento relativo de su área muscular.

PESO

Durante la etapa puberal, la evolución del peso es casi simultánea con la talla, cuando los varones logran la máxima velocidad de crecimiento y ganancia ponderal a la misma edad, 14 años, y las niñas alrededor de los 13 años, es decir unos seis meses después de su crecimiento más acelerado. Esto significa que las mujeres siguen aumentando aceleradamente de peso, a pesar de que la curva de velocidad de crecimiento estatural se encuentra en declive. Independen-

dientemente de la edad, el peso para una misma talla es siempre superior en las mujeres.⁸

El aumento máximo de peso en niñas mexicanas ocurre entre los 11.5 y los 12 años de edad, a partir de la cual comienza a disminuir la velocidad de aumento del peso, que es mayor entre los 12 y 13 años, es decir, en el lapso en que se presenta la menarca, a diferencia de las poblaciones europeas, en las que el peso continúa aumentando en el primer año postmenarca.

Los varones mantienen un peso superior al de las niñas hasta los 10 años, edad en que éstas comienzan a tener, como grupo, más peso que se mantiene así hasta los 15 años cuando los pesos tienden a igualarse para después mostrar valores superiores en los varones. El peso final para el percentil 50 en las jóvenes cubanas es de 50 kg a los 19 años, mientras que para las francesas es de 55 kg y las americanas 56.6 kg. En los varones es de 57.7, 62.5 y 63 kg, respectivamente. Al igual que con la talla, la distancia entre los centiles extremos es mayor en la adolescencia debido a que unos niños maduran más temprano que otros. Después de este período la diferencia se hace menor.⁹

En condiciones normales, los adolescentes ganan entre 0.7 y 0.8 kg por cada centímetro de talla, 8.3 kg/año para las niñas y 9 kg/año en los varones durante el año de máxima velocidad de crecimiento; el 50% del peso adulto se gana durante esta etapa.¹⁰

CABEZA

El crecimiento del cráneo durante la pubertad es fundamentalmente debido al engrosamiento, ya que el cerebro es esencialmente adulto en esta época. Sin embargo los huesos faciales presentan cambios que afectan sus proporciones: el aumento del cráneo y los senos frontales producen una prominencia en la frente y los huesos de la quijada crecen hacia adelante, especialmente la mandíbula. Esto produce enderezamiento del perfil facial, particularmente marcado en el varón. En ambos sexos las medidas verticales del perfil aumentan más que las horizontales y la parte superior de la cara crece más rápidamente que la inferior, hasta cerca de los 10 años para después invertir el sentido. Así, la porción inferior de la cara,

es decir la mandíbula, muestra entonces un crecimiento acelerado, a los 21 años la cara guarda las mismas proporciones que a los tres años. Durante la adolescencia, el crecimiento de la mandíbula y de los dientes (cuadro 1) son los que causan los cambios más importantes en la apariencia facial.^{11,12}

El crecimiento se completa primero en el cráneo, luego en la anchura de la cara y finalmente en la longitud y profundidad. El máximo crecimiento ocurre entre los tres y cinco años de edad, seguido de una desaceleración continua hasta los 13 años y luego la nueva aceleración de la adolescencia, para cesar casi completamente a los 21 años. Sin embargo, ciertas medidas como la longitud de la nariz, continúan aumentando. Conforme avanza la edad, la mayoría de las medidas craneofaciales, a excepción de la anchura facial y longitud nasal se reducen, particularmente debido a los tejidos blandos. La bóveda craneal normalmente aumenta su capacidad hasta los 15-16 años. Después de ello hay un ligero incremento durante tres a cuatro años, debido al engrosamiento de los huesos. La metodología de medición completa requiere el uso correcto de ciertos instrumentos como la cinta métrica, calibrador, radiografías y en ocasiones fotografías.¹²

SEGMENTOS

En la adolescencia existe un orden más o menos regular para la aceleración de las diferentes dimensiones. El segmento inferior (SI), representado sobre todo por la longitud de las extremidades inferiores, tomada desde el borde superior de la sínfisis del pu-

Cuadro 1. Calcificación y erupción de los dientes definitivos (en años)

Dientes	Calcificación		Erupción Maxiliar inferior
	Completa	Maxilar superior	
Incisivos centrales	09-10	07-08	06-07
Incisivos laterales	10-11	08-09	07-08
Caninos	12-15	10-12	09-11
Primeros premolares	12-13	08-09	08-09
Segundos premolares	12-14	10-12	11-13
Primeros molares	09-10	06-07	06-07
Segundos molares	14-18	12-13	12-13
Terceros molares	18-25	17-25	17-25

bis al suelo, es el primero en alcanzar el máximo incremento. En este segmento también los pies aceleran su crecimiento, seguidos por las piernas y el muslo. Las extremidades superiores muestran crecimiento que se inicia por el extremo distal, lo que da aspecto algo disarmónico de los adolescentes y explica la torpeza motora que existe por algún tiempo. Por eso se dice que, al inicio de la pubertad, los jóvenes crecen “más allá de sus zapatos y de sus pantalones antes que de su saco”. Las piernas en esta etapa, tienen su máxima velocidad de crecimiento cerca de 9 meses antes que el tronco y su estirón es considerablemente menor, aunque en los varones incrementan aproximadamente 4 cm/año. La columna vertebral, igual que la amplitud de los hombros y tórax, continúa aumentando un tiempo después que las extremidades se han detenido. El segmento superior (SS) se mide restando el SI de la talla y representa en la adolescencia, el tamaño del tronco, pues la altura cefálica no se modifica en esta etapa. El crecimiento del SS continúa a un ritmo sostenido como de 2 cm/año hasta la pubertad, en que aumenta a 3 cm/año en los varones y permanece sin cambios en las mujeres. En las niñas el máximo incremento de estatura en la pubertad se debe casi sólo a este segmento, es decir a un aumento en la altura de las vértebras, seguido meses después por la anchura del cuerpo. Los adultos masculinos tienen una relación SS/SI menor que el sexo femenino, pues generalmente tienen piernas más largas. En general, la relación es mayor a 1 en la etapa prepuberal, de 1 al iniciar la pubertad, y menor a 1 a partir de entonces.

La altura del sujeto sentado es otra medida más fácil de obtener y algo más precisa que el SI. Permite calcular el índice cormico, dividiendo la altura del sujeto sentado entre la estatura y multiplicada por 100. En este caso la estatura se compone de la suma de la altura del sujeto sentado más la longitud subisquial. Los valores de este índice oscilan entre un máximo de 57 y un mínimo de 47 entre los 16 años de edad. Los cubanos tienen entre los 10 y 16 años un índice aproximado de 52, explicable por el carácter poliétnico de su población.¹³

Estas dimensiones son útiles para definir las diferentes formas de crecimiento desproporcionado y para

distinguir las de la inmadurez o crecimiento retrasado. También existen diferencias étnicas y familiares en las diferentes relaciones corporales. Los valores más altos, que implican un segmento inferior más corto, se ven en asiáticos, y los más bajos, con segmento inferior más grande corresponden a los africanos o negroides. Los europeos y sus descendientes presentan valores intermedios.

BRAZADA

También conocida como envergadura, mide la distancia entre los extremos de los dedos más largos de ambas manos, tomada con los brazos en extensión. Al igual que la relación entre segmentos corporales superior e inferior y la altura en posición sedente, sirve para apreciar la correspondencia entre el sexo y la morfología, así como la armonía del crecimiento. Una brazada normal para la edad no tiene más de 4.0 cm de diferencia con la media para dicha edad. Durante la infancia y la niñez temprana esta medida es menor que la talla, se iguala con ella alrededor de los 10 años en niños y 12 años en las niñas, y finalmente la supera.¹⁴

DIÁMETROS

Los diámetros corporales son otro elemento de variación importante en la pubertad. La relación entre el diámetro biacromial (máxima distancia entre el acromion derecho e izquierdo, o ancho de hombros) y el diámetro bicrestal (distancia entre los puntos laterales más prominentes de la cresta ilíaca) es un buen indicador de maduración sexual y de morfología masculina o femenina. Ambas medidas son útiles para evaluar el ancho del tronco con el cual presentan un incremento simultáneo. Entre ambos sexos existe mayor diferencia en la distancia biacromial que en la bicrestal; la ganancia de diámetro biacromial promedio en niños es de 8 cm y en las niñas de 6 cm; representan 21 y 17% de los valores adultos, respectivamente; y la del bicrestal es de 5 cm y 6 cm, respectivamente. Por ello es que la mayor variación en el ancho de cadera refleja diferencias del tejido blando en ambos sexos, no del óseo.¹¹⁻¹⁴

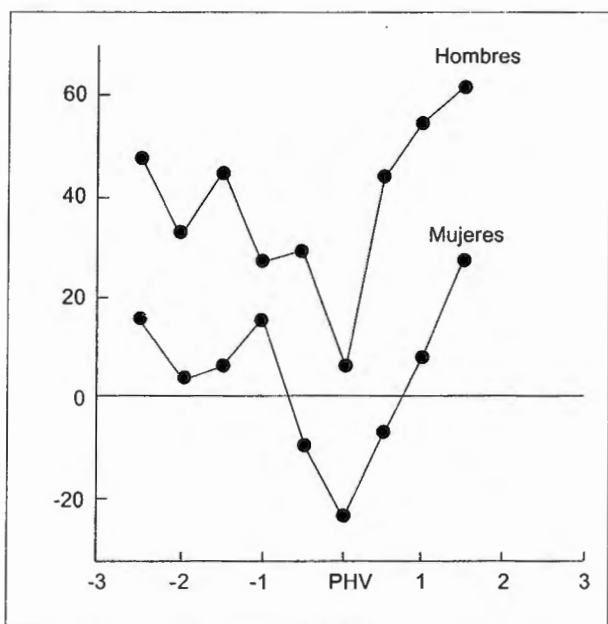


Figura 1. Incremento de grasa (unidades de área/año) en varones y mujeres, de acuerdo con la máxima velocidad de crecimiento.

TEJIDO ADIPOSEO

Durante la pubertad la acumulación de grasa en los niños de ambos sexos se desacelera conforme se acercan a la máxima velocidad de crecimiento; las mediciones radiológicas permiten apreciar entonces una pérdida de grasa en varones, no en las niñas (figura 1).

El porcentaje de grasa corporal se mantiene entre 12 y 16% durante la niñez. A partir de este momento aumenta en las adolescentes hasta el 20 ó 25%, pero hay amplias variaciones entre individuos de la misma edad y sexo. La cantidad de tejido graso es la fracción de la composición corporal que más varía en todas las edades, y existen diferencias entre un individuo y otro en un rango aún mayor que la proporción de tejido adiposo en relación con la masa corporal.

Las extremidades de los varones se adelgazan, en contraste con las de las niñas que tienden a engordar, aunque lo hacen más lentamente durante este período. Al comenzar la pubertad las diferencias son mínimas, pero al final de ésta las mujeres tienen casi el doble de grasa que los hombres.

La adolescencia es un período crucial para el desarrollo de la obesidad adulta y la morbilidad asociada, pero los mecanismos en este sentido aún no han sido aclarados. Una explicación posible estaría en relación con el patrón de acumulación de grasa que ocurre en esta época. Los varones, y en menor medida las mujeres, depositan la grasa central y pierden la periférica conforme maduran. A este respecto, se sugiere que el dimorfismo observado está en relación con las diferencias regionales de los receptores para estrógenos, progesterona y andrógenos presentes en los adipocitos. Por otra parte el momento de aparición de una segunda curva de incremento ponderal guarda relación estrecha con la adiposidad del adolescente y el adulto.¹⁵⁻¹⁸

La mayor parte de la grasa se almacena en el tejido adiposo subcutáneo, que sigue una evolución similar a la grasa total y es fácilmente apreciada midiendo los pliegues cutáneos. La medición del pliegue tricéptico es uno de los métodos más prácticos para determinar el espesor de la capa grasa, y para establecer una correlación de 0.7 a 0.8 con la grasa corporal y guarda una buena correlación con otros métodos más complejos como el ultrasonico y la conductividad eléctrica (cuadro 2).¹⁸

Para jóvenes de ocho a 18 años, es útil una ecuación que asocia las medidas de dos pliegues cutáneos: tríceps y pantorrilla, y permite obtener el porcentaje de grasa corporal (figura 2). En las ecuaciones siguientes, los pliegues se expresan en milímetros y "see" corresponde al error estándar para el estimado. Para varones el cálculo utiliza la fórmula: $0.735 (\text{tríceps} + \text{pantorrilla}) + 1.0$ (see = 3.8 %); para mujeres, $0.610 (\text{tríceps} + \text{pantorrilla}) + 5.1$ (see = 3.8 %).¹⁸

Cuadro 2. Relación entre el grosor del tejido subcutáneo del tríceps (mm) y el porcentaje de grasa corporal

Varones		Mujeres	
Pliegue tríceps	% grasa corporal	Pliegue tríceps	% grasa corporal
06.4	05-09	06.4	08-13
12.7	09-13	12.7	13-18
19.1	13-18	19.1	18-23
25.4	18-22	25.4	23-28
31.8	22-27	31.8	28-33

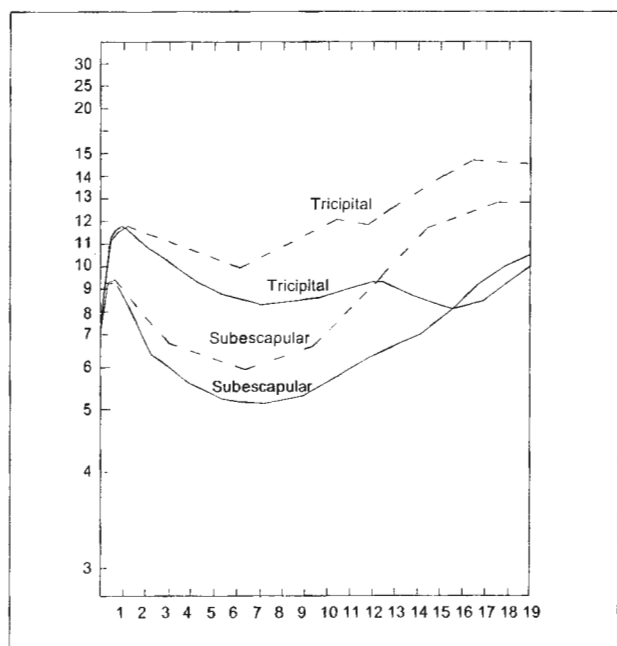


Figura 2. Grosor (mm) de los pliegues cutáneos tricípital y subescapular en varones y mujeres de distintas edades.

MASA MUSCULAR

La masa muscular aumenta en la adolescencia en ambos sexos, sobre todo en el varón, como lo demostró Cheek, quien midió el ADN en biopsia de músculo glúteo de lactantes y niños hasta los 16 años de edad, partiendo de la premisa que el músculo glúteo era representativo de todos los músculos del cuerpo.¹⁹

El largo de los músculos depende de la distancia entre sus inserciones, lo que es obvio en el caso de las extremidades, donde los músculos crecen longitudinalmente hasta que las epífisis se fusionan; posteriormente puede aumentar el ancho, pero no la longitud ni el número de sus fibras (cuadro 3 y figura 3).

El aumento del tamaño muscular en la adolescencia no es paralelo al incremento de su fuerza. En algunos estudios, la máxima velocidad de ganancia en fuerza muscular ocurre aproximadamente 14 meses después de la máxima velocidad de crecimiento y 9 meses después de la máxima

Cuadro 3. Masa muscular como porcentaje del peso corporal

Edad en años	Varones	Mujeres
5	42	40
9	46	42
11	46	44
13	46	43
15	50	43
17	53	42
19	52	40

velocidad de ganancia de peso. El desempeño muscular en varones aumenta por lo menos hasta los 17 ó 18 años y quizá hasta los 20, es decir, algún tiempo después de haber completado la aparición de caracteres sexuales secundarios; alcanza una potencia muscular dos a cuatro veces superior hacia el final de la pubertad. En las niñas el incremento es más o menos sostenido durante la niñez; se logra el máximo de su fuerza muscular poco después de la menarquia, en el estadio M-3 de Tanner, hasta alcanzar una meseta en promedio a los 14 años.

AGUA CORPORAL

El agua corporal total se va reduciendo paulatinamente durante la infancia y en la mujer disminuye aún durante la pubertad por un descenso en el contenido

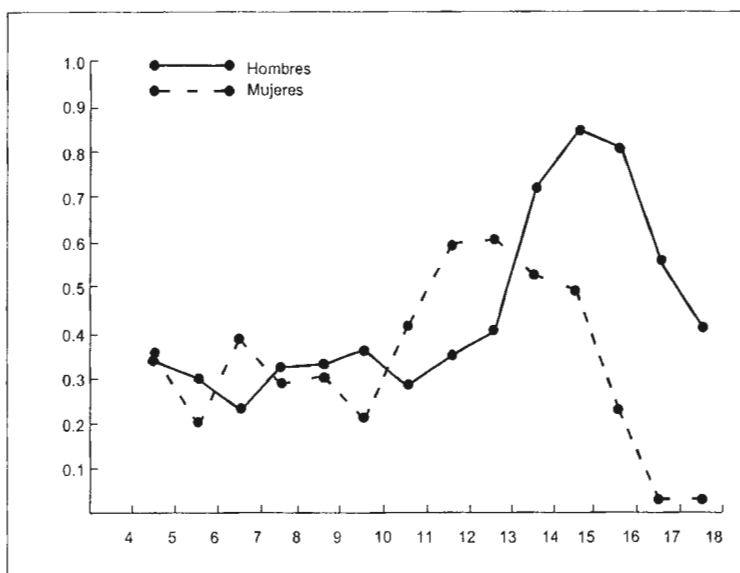


Figura 3. Velocidad de crecimiento muscular en varones y mujeres de distintas edades.

Cuadro 4. Contenido de agua en la masa magra (%)

Edad en años	Niños	Niñas
9		77.0
10		77.0
11		80.2
12	75.5	77.5
13	74.8	77.7
14	74.3	76.4
15	73.6	71.4
16	73.1	73.7
17	72.6	
18	71.9	

relativo de agua en la masa magra y por incremento de la grasa corporal. En el varón, en cambio, hay un ligero aumento, que probablemente depende de su mayor masa muscular. Con la fórmula de Mellits y Cheek se observa que el agua total, expresada como porcentaje del peso, aumenta de 57.5 a 60.1% en los varones y se reduce de 57.4 a 51.4% entre los 10 y 17 años en adolescentes que residen en lugares altos²⁰ (cuadro 4).

Desde 1985 se usa la impedancia bioeléctrica para calcular el agua corporal total, como método rápido y no invasivo, lo cual ofrece grandes ventajas en niños; falta estandarizarla para una mejor interpretación.

POTASIO TOTAL

Son grandes las limitaciones metodológicas para esta medición, que usualmente se logra mediante un contador de cuerpo entero para rayos gamma. Los valores son similares para ambos sexos hasta los tres años, con poca variación en las niñas, que alcanzan valores de adulto a los 10 años (2.5 g/kg), e incremento en los valores hasta alcanzar la talla final (2.76 g/kg).²⁰

EDAD ÓSEA

En el varón la edad ósea es de aproximadamente 12.5 años al inicio de la pubertad y de 10.5 a 11 años en la niña, y avanza paralelamente a los cambios de los caracteres sexuales secundarios para finalmente producirse la osificación total de los cartílagos de crecimiento. Por esta razón se utiliza en las fórmulas de predicción de estatura final de Bailey y Pinneau, Roche y Thisen o Tanner y Whitehouse.²¹

MINERALIZACIÓN ÓSEA

Durante la pubertad se logra la máxima acumulación de masa y contenido mineral óseo. Su importancia radica en que mientras mayor sea la masa y mineralización ósea en la pubertad y adultez temprana, menor será el riesgo de desarrollar osteoporosis clínica significativa en la edad adulta. En estudios longitudinales prácticamente la mitad del calcio óseo se deposita en este período, y el mayor incremento es entre los 13 y los 17 años en los varones y entre los 11 y los 14 años en las jóvenes. Los estudios de absorciometría de doble fotón de rayos X (DEXA) muestran que el contenido mineral óseo (CMO) en niñas aumenta con la edad. En la columna lumbar y cuello femoral que son las áreas más ricas en el hueso trabecular metabólicamente activo, ocurre el mayor aumento en las niñas más jóvenes y en las que recién inician la menstruación, para luego caer dramáticamente dos años después de la menarquia. En varones este proceso continúa hasta los 20 años, pero no es muy significativo.²²⁻²⁴

El análisis de las relaciones entre el CMO, edad, peso, talla y estadio puberal, indica que 55% del incremento mineral en la columna y 99% de los cambios en el contenido mineral corporal total pueden atribuirse a la expansión ósea más que al incremento del mineral óseo por unidad de volumen.²⁵

La densidad mineral ósea (DMO) en la adolescencia en la muñeca y la columna se ve influida positivamente por una mayor relación peso/talla y exposición a estrógenos. Por otra parte, la DMO del pie se afectó negativamente con una intensa actividad física y pobre exposición a estrógenos, demostrando así un efecto hormonal significativo en la obtención de máxima densidad ósea durante la adolescencia. La DMO, que puede ser confundida por los cambios en el grosor y tamaño del hueso durante la adolescencia, es la medida que mejor correlaciona con el estadio puberal, peso, puntuación estrogénica y nivel de testosterona.²⁶

Estos cambios esqueléticos en la pubertad se deben sobre todo a la hormona del crecimiento y esteroides sexuales; no es sólo la cantidad de ellos sino el momento, lo cual demanda un equilibrio muy fino cuando se trata de suplementar las deficiencias hormonales correspondientes.²⁷

CORAZÓN

Como cualquier músculo, el corazón muestra un crecimiento rápido que coincide con el estirón puberal, en magnitud similar para ambos sexos, según unos, y algo menos en el sexo femenino, según otros. En este sentido, al año siguiente a la menarquía, habría una reducción temporal del crecimiento y división de las células miocárdicas, así como una "remodelación" cardíaca, como una falta de incremento del grosor de la pared del ventrículo izquierdo y la duración del tiempo de resistencia. La frecuencia cardíaca disminuye paulatinamente durante la niñez, pero en la pubertad los varones presentan un descenso más notable y prolongado que las niñas, por lo que al final la diferencia es de 5 a 8 pulsaciones/minuto. Estas diferencias se inician en el estadio de maduración sexual 2 según Tanner, y se hacen más notorias en el estadio 3. Por otra parte la frecuencia cardíaca durante el esfuerzo máximo no cambia mucho durante la adolescencia.²⁸

PRESIÓN ARTERIAL

Los niveles de presión arterial sistólica y la presión del pulso aumentan en ambos sexos, pero más en los varones, y se correlacionan con el peso, la talla y la edad, por lo que es mejor emplear las tablas de centilas que correlacionan estas dos últimas variables. Los valores de la presión arterial varían en el mismo individuo, en diferentes visitas, sin importar el método usado. Por ello la Academia Americana de Pediatría recomienda la evaluación de niños y adolescentes que muestran hipertensiones sostenidas sobre la centila 95 al menos en tres visitas consecutivas. Es posible que los estilos de vida en esta etapa expliquen por qué en la adolescencia avanzada los porcentajes de hipertensos son similares a los de la población adulta.

APARATO RESPIRATORIO

Los pulmones, en radiografías, muestran un crecimiento acelerado en ancho, coincidiendo con la máxima velocidad de crecimiento, pero la máxima longitud se alcanza cinco meses después. La capacidad vital aumenta más en niños que en niñas, tanto en

términos absolutos como en relación con la superficie corporal durante la pubertad. Por otra parte, la frecuencia respiratoria y la ventilación necesaria por cada litro de oxígeno disminuyen en esta etapa, conforme aumenta el tamaño. Los cambios son más notables en varones que en mujeres.^{29,30}

CEREBRO

El desarrollo del cerebro es más difícil de observar. No hay muchos estudios al respecto. Sin embargo, el peso total, al nacer se encuentra más cerca del tamaño adulto que cualquier otro órgano del cuerpo, exceptuando los ojos; a los tres años ha alcanzado el 95% de su peso final. Después de los dos años no es posible describir el desarrollo cerebral con mayor detalle y menos aún saber cuáles son las últimas partes en madurar. Se puede decir que la mielinización de todas las partes del cerebro no se completan hasta la adolescencia. La fórmula de Dobbing ($CC^3/100 - 3000/2CC$) permite estimar el peso del cerebro a partir de la medida de la circunferencia cefálica (CC).³¹

HÍGADO

El hígado continúa creciendo por aumento de tamaño y proliferación de los hepatocitos; éstos tienen la capacidad de mitosis continua que persiste aun cuando el organismo ha dejado de crecer. El peso de este órgano en gramos por 100 g de peso corporal varía desde 3.7 en el recién nacido a término hasta 2.4 a los 18 años.

ÍNDICES HEMATOLÓGICOS

La hemoglobina, hematócrito y volumen corpuscular medio también aumentan durante la pubertad, aumentando sobre todo los dos primeros años en los varones (cuadro 5).³²

RIÑÓN

Las células de este órgano aumentan en número y tamaño desde el nacimiento, pero no se sabe a qué edad deja de aumentar cada uno de estos parámetros. Sin embargo, la talla es la principal referencia para

Cuadro 5. Índices hematológicos a partir de la edad escolar

Edad en años	Hb (g % ± 2 DE)	Hto (% ± 2 DE)	VCM (fl ± 2 DE)
06-12	13.5 ± 11.5	40 ± 35	86 ± 77
12-18 varones	14.5 ± 13.0	43 ± 36	88 ± 78
12-18 mujeres	14.0 ± 12.0	41 ± 37	90 ± 78
Adultos varones	15.5 ± 13.5	47 ± 41	90 ± 80
Adultos mujeres	14.0 ± 12.0	41 ± 36	90 ± 80

Hb: hemoglobina; Hto: hematocrito; VCM: volumen corpuscular medio.

calcular el tamaño renal mediante la fórmula de Hodson:³³ tamaño renal (cm) = talla (cm) ' 0.057 + 2.646. En aspectos de fisiología, el flujo plasmático renal (FPR) puede estimarse con bastante aproximación mediante la depuración de para-aminohipurato (PAH). Los valores medios en el adulto varón son de 643 ± 140 mL/min/1.73 m²; en las mujeres de 585 ± 128 mL/min/1.73 m². En niños de 2 a 12 años de edad, para ambos sexos, es de 654 ± 120 mL/min/1.73 m².³⁴

La creatinina se produce en cantidad proporcional a la masa muscular total y depende de la talla. La depuración de ésta es el método más utilizado para estimar la velocidad de filtración glomerular. En adolescentes, la fórmula de Cockcroft y Gault (con edad en años, peso en kilos y concentración sérica de creatinina en mg/dL) parece ser la más indicada.³⁴

$$\text{Varones: Ccr (mL/min)} = \frac{140 - \text{edad} \times \text{peso}}{72 \times \text{creatinina}}$$

$$\text{Mujeres: Ccr (mL/min)} = \frac{140 - \text{edad} \times \text{peso}}{85 \times \text{creatinina}}$$

En general, el tamaño de los órganos internos corresponde al del cuerpo; la mayoría guarda una proporción algo mayor del peso corporal al nacimiento que en la adolescencia, a excepción del bazo que mantiene una proporción constante. Así, que un individuo de baja estatura tiene vísceras de menor tamaño que uno más alto, y las mujeres tienden a tener órganos más pequeños que los varones. Algunos órganos, como el hígado, páncreas, suprarrenales, ovarios y testículos, pueden continuar creciendo hasta mucho después de que ha terminado el aumento en longitud del esqueleto. Sin embargo, dejan de crecer cuando su tamaño es proporcionado para el organiz-

mo del que forman parte. Parecería que el estímulo del crecimiento desaparece una vez que se ha llegado a un tamaño funcionalmente adecuado para las actividades que deben desempeñar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Marshall WA. Growth and sexual maturations in normal puberty. *Clin Endocrinol Metab* 1975;4:3-25
2. Tanner JM. *Fetus into man: Physical growth from conception to maturity*. Cambridge. Harvard University Press, 1978;60-70, 117-53.
3. Marshall W, Tanner JM. Variations in patterns of pubertal changes in girls. *Arch Dis Child* 1969;44:291-303.
4. Argente J, Evain-Brion D, Muñoz Villa A, *et al*. Relationship of plasma growth hormone-releasing hormone levels to pubertal changes. *J Clin Endocrinol Metab* 1986;63:680-2.
5. Prader A. Hormonal regulation of growth and the adolescent growth spurt. In: Grumbach M, Sizonenko P, Aubert M, editors. *Control of the onset of puberty*. Baltimore. Williams and Wilkins, 1990;pp 534-50.
6. Martha PM, Rogol AD, Carlsson LMS, *et al*. A longitudinal assessment of hormonal and physical alterations during normal puberty in boys. I: Serum growth hormone binding protein. *J Clin Endocrinol Metab* 1993;77:452-7.
7. Michaud P, Foradori A, Rodríguez PJ, *et al*. A prepubertal surge of thyrotropin precedes an increase in thyroxine and 3,5,3'-triiodothyronine in normal children. *J Clin Endocrinol Metab* 1991;72:976-81.
8. Barnes HV. Physical growth and development during puberty. *Med Clin North Am* 1975;59:1305-17.
9. Jordan JR. *Desarrollo humano en Cuba*. La Habana. 1984.
10. Tanner JM, Whitehouse RH, Takaishi M. Standards from birth to maturity for height, weight, height velocity, and weight velocity for British children. Parts I y II. *Arch Dis Child* 1966;41:454, 613.
11. Pierson M, Deschamps JP. Croissance normale. En: Pierson M, Job JC (editores). *Endocrinologie Pédiatrique et Croissance*. 2a ed. Flammarion Médecine Sciences, 1981;pp 1-45.
12. Hall JG, Froster-Iskenius UG, Allanson JE. *Handbook of physical measurements*. Oxford Medical Publications, 1989.
13. *Harriet Lane Handbook*. John Hopkins Hospital. Mosby-Yearbook. Wolfe Publishing, 1992.
14. Tanner JM, Whitehouse RH, Marubini E, *et al*. The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden Growth Study. *Ann Hum Biol* 1976;3:109-26.
15. Dietz WH. Critical periods in childhood for the development of obesity. *Am J Clin Nutr* 1994;59:955-9.
16. Rolland-Cachera MF, Deheeger M, Guillaud Bataille M, *et al*. Tracking the development of adiposity from one month of age to adulthood. *Ann Hum Biol* 1987;4:219-29.
17. Freyre E. La salud del adolescente. Aspectos médicos y psicosociales. CONCYTEC, Lima 1994;pp 55-118.
18. Slaughter MH, Lohman TG, Boileau RA, *et al*. Skinfold equations for estimation of body fatness in children and youth. *Hum Biol* 1988;60:709-23.

19. Malina RM. Growth of muscle tissue and muscle mass. In Falkner F, Tanner JM, editors. Human Growth. London. Bailliere-Tindall, 1978;pp 273-94.
20. Roche AF. Methodological considerations in the assessment of childhood obesity. Ann NY Acad Sci 1993;699:6-17.
21. Bayley N, Pinneau SR. Table for predicting adult height from skeletal age revised use with the Greulich-Pyle hand standards. J Pediatr 1952;40:423-41.
22. Rahim A, Holmes SJ, Shalet SM. Bone mineralization at puberty: Clinical relevance for health and disease. Clin Pediatrics 1996;4:349-64.
23. Theintz GE, Howald W, Weiss U, Sizonenko PC. Evidence of reduction of growth potential in adolescent female gymnasts. J Pediatr 1993;122:306-13.
24. Bonjour JP, Thientz G, Buchs B, *et al.* Critical years and stages of puberty for spinal and femoral bone mass accumulation during adolescence. J Clin Endocrinol Metab 1991;73:555-63.
25. Katzman DK, Bachrach LK, Carter DR, Marcus R. Clinical and anthropometric correlates of bone mineral acquisition in healthy adolescent girls. J Clin Endocrinol Metab 1991;73:1332-9.
26. Dupher S, Warren MP, Brooks-Gunn J, Fox R. Effects of hormonal status on bone density in adolescent girls. J Clin Endocrinol Metab 1990;71:1083-8.
27. Finkelstein W, Roffwarg HP, Boyar RM, *et al.* Age-related changes in the 24-hour spontaneous secretion of growth hormone. J Clin Endocrinol Metab 1972;26:1173.
28. Milicevic G, Rudan P, Fabecio Sbadi V, Markicevic K. Heart "growth stagnation" during the year following menarche. Ann Hum Biol 1997;24:69-80.
29. Simon G, Reid L, Tanner JM y cols. Growth of radiologically determined heart diameter, lung width, lung length from 5-19 years with standards for clinical use. Arch Dis Child 1972;47:373-81.
30. Ferris BG, Smith CW. Maximum breathing capacity and vital capacity in female children and adolescents. Pediatrics 1953;12:341-52.
31. Dobbins J, Sands J. Head circumference, biparietal diameter and brain growth in fetal and postnatal life. Early Hum Develop 1978;2:81-87.
32. Nathan D, Oski FA. Hematology of infancy and childhood. WB Saunders, 1981.
33. Hodson CJ, Drewe JA, Karn MN, King. Renal size in normal children. Arch Dis Child 1962;37:616.
34. Rodríguez J, Vallo A. Fisiología: Función renal y su estudio. En: Gordillo PG, editor. Nefrología Pediátrica. Mosby/Doyma Libros, 1996.