

Selected Papers from Impact

# Acumulación de Mineral Óseo y de Calcio durante la Pubertad

## Bone Mineral and Calcium Accretion during Puberty

Donald A Bailey<sup>1</sup>, Alan D Martin<sup>1</sup>, Heather A McKay<sup>1</sup> y Susan Whiting<sup>1</sup><sup>1</sup>Departamento de Estudios del Movimiento Humano, Universidad de Queensland, Brisbane, Australia

### RESUMEN

En el presente estudio se evaluó el contenido mineral óseo (BMC) y se estimó la acumulación de calcio en niños para tener una visión de los requerimientos de calcio durante el crecimiento. Se realizaron dos evaluaciones antropométricas al año, y el BMC fue medido anualmente a través de Absorciometría Dual con Rayos X durante 4 años, en 228 niños (471 escaneos en 113 niños y 507 escaneos en 115 niñas). Se calcularon los valores medios para el BMC, superficie esquelética, y estatura para edades agrupadas por año, desde 9.5 hasta 19.5 años. Los análisis transversales de los datos en conjunto evidenciaron la velocidad pico de altura (PHV) y la velocidad pico de BMC (BMCPV), y las edades a las cuales ocurrían estos picos (13.3 años en los niños y 11.4 años en las niñas). La BMCPV no alcanzó el máximo hasta 1.2 años después de la velocidad pico de altura en los varones, y 1.6 años después en mujeres. Dentro del período de 3 años a cada lado de la BMCPV, los varones tuvieron consistentemente mayor BMC y mayor velocidad de BMC que las mujeres, y esta discrepancia se acentuó a lo largo de la pubertad. Tres años antes de la BMCPV, los valores del BMC en las niñas fueron el 69% de los valores en niños; tres años después de la velocidad pico de altura esta proporción cayó a 51%. La BMCPV fue de 320 g/año en los niños y de 240 g/año en las niñas. Asumiendo que el calcio compone el 32.2 % del contenido mineral óseo, estos valores correspondieron a una retención diaria de calcio de 282 mg en los varones y 212 mg en las mujeres. Los valores individuales pueden ser mucho mayores. En un niño, en un grupo de seis sujetos en los cuales había suficientes datos para análisis individuales, la BMCPV fue de 555 g de Ca/año, o 490 mg de Ca/día. Tan elevadas demandas óseas de calcio requieren grandes ingestas de calcio alimentario, y dichos requerimientos podrían no alcanzarse en forma inmediata en algunos niños.

**Palabras Clave:** Calcio, Mineral Óseo, Pubertad, Crecimiento, Altura, Absorsiométrica Dual con Rayos X

### ABSTRACT

We measured bone mineral content (BMC) and estimated calcium accretion in children to provide insight into dietary calcium requirements during growth. Anthropometric measurements were done semiannually and whole-body BMC was measured annually by dual-energy X-ray absorptiometry for 4 y in 228 children (471 scans in 113 boys and 507 scans in 115 girls). Mean values for BMC, skeletal area, and height were calculated for 1-y age groups from 9.5 to 19.5 y of age. Cross-sectional analysis of the pooled data gave peak height velocity and peak BMC velocity (PBMCV) and the ages at which these occurred (13.3 y in boys and 11.4 y in girls). PBMCV did not peak until 1.2 y after peak height velocity in boys and 1.6 y after peak height velocity in girls. Within 3 y on either side of PBMCV, boys had consistently higher BMC and BMC velocity compared with girls and the discrepancy increased steadily through puberty. Three years before PBMCV,

BMC values in girls were 69% of those in boys; 3 y after peak height velocity this proportion fell to 51%. PBMCV was 320 g/y in boys and 240 g/y in girls. Under the assumption that bone mineral is 32.2% calcium, these values corresponded to a daily calcium retention of 282 mg in boys and 212 mg in girls. Individual values could be much greater. In one boy in a group of six subjects for whom there were enough data for individual analysis through puberty, PBMCV was 555 g Ca/y or 490 mg Ca/d. Such high skeletal demands for calcium require large dietary calcium intakes and such requirements may not be met immediately in some children.

**Keywords:** Calcium, Bone Mineral, Puberty, Growth, Height, Dual X-Ray Absorptiometric

## INTRODUCCION

---

El esqueleto de una mujer joven tiene un contenido mineral óseo (BMC) de 2200 g aproximadamente, de los cuales el 32.2 % (1), o 708 g, está constituido por calcio elemental. Esta cantidad de calcio debe ser acumulada durante veinte años a una tasa promedio de acumulación de 35 g/año, o 97 mg/día. Este valor medio oculta la considerable variabilidad en la tasa de consumo de calcio de un esqueleto en desarrollo, y se ha sugerido que el valor pico para la retención de calcio podría ser de hasta 600 mg/día (2). Esto acentúa la pregunta sobre si, en algunos niños, la ingesta alimentaria de calcio puede ser elevada al valor necesario para cubrir tal demanda, aún considerando la mayor eficiencia de absorción en los adolescentes en comparación con los adultos (3).

Puede ser que tal consumo raramente sea alcanzado y que la demanda de calcio para el gran volumen esquelético en expansión no pueda ser cubierta en forma inmediata. El efecto de ello sería una cantidad subóptima de mineral óseo por unidad de volumen esquelético. El pico en la incidencia de fracturas del antebrazo cerca de la edad de velocidad pico de altura, por ej., cuando los huesos largos están creciendo a su máxima velocidad, respalda esta idea (4). Es posible que un déficit de mineral óseo debido a la fase de rápido crecimiento óseo pueda ser reconstituido posteriormente por la ingesta prolongada de calcio, en presencia de un incremento más lento en el volumen óseo (5). La confirmación de una fase de déficit de mineral óseo seguida por la fase de consolidación puede tener implicancias en la prevención de fracturas - en adolescentes, así como en pacientes con osteoporosis.

Los primeros intentos de investigar este fenómeno estuvieron limitados por la imposibilidad de estimar en forma precisa la acumulación de mineral óseo; estos estudios utilizaron indicadores como el diámetro metacarpiano y la densidad mineral ósea del antebrazo (6). Más recientemente, el uso de Absorciometría Dual con Rayos X (DXA) ha permitido realizar una estimación más exacta y precisa del calcio corporal total y de la acumulación de calcio en niños (7, 8). En el presente estudio reportamos las mediciones anuales del BMC de todo el cuerpo a lo largo de la "eclosión" puberal adolescente en niños y niñas, y estimamos la ingesta alimentaria de calcio necesaria para lograr estos elevados niveles de acumulación de minerales.

## METODOS

---

### Sujetos

Todos los sujetos estaban participando en el Estudio Pediátrico de Mineral Óseo de la Universidad de Saskatchewan. De 375 estudiantes elegibles que iban a dos escuelas primarias de Saskatoon, los padres de 228 estudiantes (113 niños y 115 niñas), y los mismos niños, dieron su consentimiento por escrito para participar del estudio. Posteriormente, otros niños se sumaron a este estudio longitudinal mixto que ya estaba en progreso, el cual comprendía la recolección de datos de alimentación y actividad física, y mediciones antropométricas cada seis meses y escaneros anuales de DXA en todo el cuerpo, columna lumbral antero-posterior (AP), y fémur proximal. Las evaluaciones óseas se realizaron durante un período de 2 meses en el otoño de cada año, eliminando, por lo tanto, los efectos de las estaciones. Este estudio está en su quinto año de evolución, y de la muestra original aún continúan involucrados 82 niños y 84 niñas.

### Mediciones Óseas

Todas las evaluaciones fueron realizadas en el Departamento de Medicina Nuclear del Hospital de la Universidad Royal, en Saskatoon. Los procedimientos experimentales fueron aprobados por los correspondientes Comités de Ética de la Universidad y del Hospital (6). Todas las evaluaciones fueron realizadas por dos operadores experimentados que utilizaron

DXA (QDR 2000; Hologic, Walham, MA) en el modo ordenado. Para minimizar la variabilidad relacionada con el Operador, una misma persona calificada analizó todos los escaneos usando un software mejorado (versión 5.56A) elaborado por el equipo de investigadores responsables de este estudio. En nuestro laboratorio, la reproductibilidad en vivos, en estudios a corto plazo de este procedimiento, es de 0.51%. Se midió la dosis de radiación inicial a través de una cámara de medición de iones (modelo 450p; Victoreen Inc., Cleveland). Cuando esta dosis superficial fue corregida para la atenuación del cuerpo, edad del sujeto, y tipo y volumen del tejido que estaba siendo irradiado, el equivalente de dosis efectiva fue <0.01 mSv.

### **Evaluación Antropométrica y Alimentaria**

Cada seis meses, a todos los sujetos se les realizó una serie completa de mediciones antropométricas, y durante un periodo de 4 años se efectuaron 12 evaluaciones alimentarias utilizando encuestas de 24 horas. La encuesta alimentaria era analizada con el programa del Sistema de Evaluación Nutricional, versión 3.7 (Quilchena Consulting, Victoria, Canadá). Las encuestas eran codificadas (controlando el mismo individuo todos los formularios) y analizadas de acuerdo a los procedimientos descriptivos en otras publicaciones (10). En base a las encuestas obtenidas desde 1991 hasta 1994, se determinaron para cada niño las ingestas diarias promedio de macronutrientes y micronutrientes, incluyendo calcio.

### **Análisis Estadísticos**

Los datos de 978 escaneos obtenidos durante 4 años fueron analizados transversalmente. Los grupos de edades fueron centrados en años enteros, combinando los sujetos cuya edad al momento de un escaneo determinado estaba dentro de 0.5 años del valor entero; por ej., todos los que tenían de 10.50 a 11.49 años eran agrupados en la categoría 11 años. Para todos los grupos se calculó el promedio de BMC, la superficie esquelética, y los valores de la talla. Estos datos fueron cargados en un programa que ajustó una curva de cuadrados mínimos (11), determinó una curva de velocidad de crecimiento, y condujo a valores destacados, incluyendo la edad de velocidad pico de crecimiento. De este modo, se determinó la velocidad pico de altura (PHV), la velocidad pico de BMC, la velocidad de la superficie esquelética (VPSE), y las edades a las cuales ocurrían estos fenómenos biológicos.

## **RESULTADOS**

---

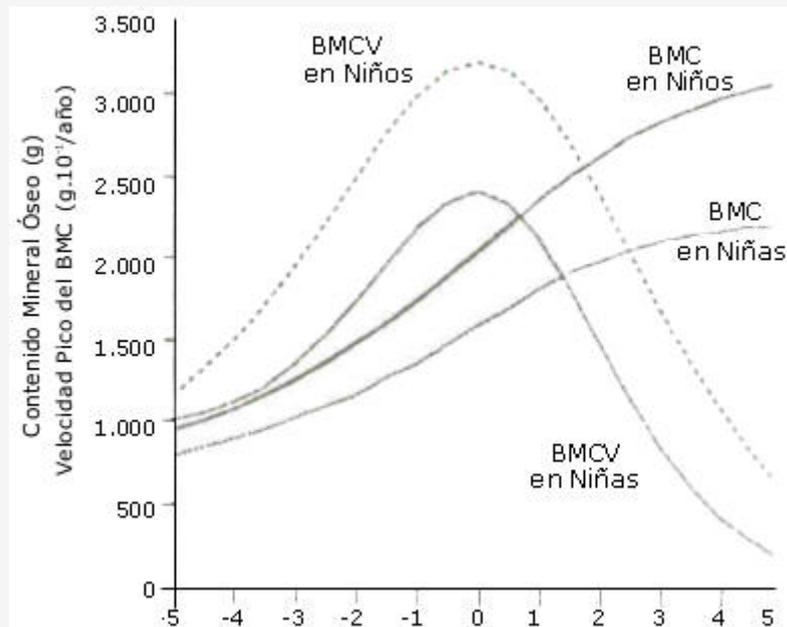
Los datos reportados en este trabajo están basados en un total de 471 escaneos de DXA en niños y de 507 en niñas. La determinación de la velocidad pico de altura estuvo basada en mediciones semianuales. Los análisis de los datos agrupados en categorías de a 1 año mostraron que la edad media para la velocidad pico de altura fue de 13.3 años en los varones y 11.4 años en las mujeres (Tabla 1). El desarrollo de la superficie esquelética medida por DXA fue posterior a la velocidad pico de altura en 0.2 años en los niños, y en 0.8 años en las niñas; sin embargo, la tasa de captación de mineral óseo no tuvo su pico hasta 1.2 y 1.6 años, respectivamente, después de la velocidad pico de crecimiento en altura (PHV) en niños y niñas.

En la Figura 1 se presenta la comparación entre varones y mujeres; en el gráfico los datos de BMC y velocidad están representados con respecto a la edad en la cual ocurre la acumulación pico de mineral óseo, que fue de 14.5 años en los varones y 13.0 años en las mujeres. Colocando estas edades como cero, se puede observar que los niños tuvieron un BMC consistentemente mayor, y que las discrepancias entre varones y mujeres aumentó en forma consistente a lo largo de la pubertad. Tres años antes de la adquisición pico de mineral óseo, los valores de BMC en las niñas fueron el 80% del de los varones, mientras que 3 años después de la velocidad pico de BMC, este porcentaje disminuyó al 74%. La tasa de adquisición de mineral óseo también fue consistentemente mayor en los varones. Tres años antes de la velocidad pico del BMC, el valor de la velocidad del BMC en las niñas fue el 69% del de los varones, mientras que tres años después del pico, este porcentaje cayó al 51%. En la acumulación pico de mineral óseo, los varones fueron ganando 320 mg/día. Ellis y cols. (1) reportaron recientemente que aproximadamente el 32.2% del BMC de todo el cuerpo, medido DXA (QDR2000, Hologic), está compuesto por calcio. Si este valor es utilizado como el porcentaje de calcio en el hueso, los valores picos de acumulación correspondieron a un promedio de retención diaria de calcio 282 mg en los niños y de 212 mg en las niñas. Debido a que la DXA fue realizada anualmente, es posible que los valores a corto plazo de la acumulación fueran mayores que estas cantidades.

En las niñas, las ingestas promedio de calcio, estimadas a través del cálculo de la media de los datos anuales de las encuestas alimentarias en el transcurso de 4 años, fueron de 903 mg de Ca/día en los sujetos con las edades entre 10-12 años, y de 954 mg de Ca/día en los que tenía entre 13 y 15 años. Los valores correspondientes para los varones fueron de 1045 mg y 1299 mg de Ca/día.

**Tabla 1.** Características de las curvas de velocidad de crecimiento en altura (PHV), de superficie ósea, y de contenido mineral óseo (BMC) en niños y niñas (1).

Características	Niños	Niñas
<i>Edad (años) de Velocidad Pico de:</i>		
Talla	13.3	11.4
Superficie ósea	13.5	12.2
BMC	14.5	13.0
<i>Valor en la Velocidad Pico de:</i>		
Talla (cm)	163	151
Superficie ósea (cm <sup>2</sup> )	1.872	1.604
BMC (g)	2.058	1.578
<i>Velocidad en la Velocidad Pico de:</i>		
Estatura (cm/año)	7.3	6.3
Superficie ósea (cm <sup>2</sup> /año)	212	174
BMC (g/año)	320	240
<i>Porcentaje del Valor Adulto (%)</i>		
Talla	89	91
Superficie ósea	73	75
BMC	65	71



**Figura 1.** Contenido mineral óseo (BMC) y velocidad de acumulación de mineral óseo (BMCV), durante 5 años, antes y después de la velocidad pico del BMC (BMCPV); n=507 escaneos con DXA de todo el cuerpo en 115 niñas, y 471 escaneos en 113 varones.

## DISCUSION

Los estudios sobre el balance de calcio tradicionalmente ven al cuerpo como una caja negra; para estimar la retención de calcio sólo se intenta considerar lo que fluye hacia adentro y afuera. También es posible estimar la retención o la pérdida de calcio determinando la diferencia entre dos estimaciones del calcio corporal total acumulado con el tiempo. Tales estimaciones se han realizado con datos del metacarpo (6) y valores de la densidad mineral ósea radial (12), pero la

extrapolación de datos de un sitio limitado al calcio total del cuerpo, requiere aceptar presunciones científicas de cuestionable validez. La activación neutrónica, una técnica que determina el calcio real en todo el cuerpo, requiere un nivel de radiación iónica que es inadecuada para los niños. Se ha utilizado Absorciometría Fotónica Dual (DPA) (13), pero la DXA ha hecho que ahora sea posible obtener una medición del BMC precisa y con un nivel de radiación lo suficientemente seguro para los niños. Sin dudas, el compuesto de calcio más abundante en el hueso es la hidroxi-apatita  $[\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2]$ , que contiene el 39.9% de calcio, a pesar de que el análisis por activación neutrónica del mineral óseo dio un valor de 32.2 % (1). Debido a que menos del 1 % del calcio corporal es extra-esquelético, la DXA puede ser utilizada para estimar en forma precisa el calcio de todo el cuerpo, y la tasa de acumulación o adquisición de calcio a lo largo de la pubertad.

Peacock (6) comparó dos estimaciones de tasa de acumulación de calcio durante el crecimiento. Bajo la presunción de que las relaciones entre el tamaño del metacarpo, la masa esquelética, y el contenido de calcio son fijas, el primer cálculo observó que los niños tenían una tasa máxima de acumulación de solo  $>300$  mg Ca/día a  $\sim 13$  años de edad. La tasa en las niñas tuvo un pico de 280 mg Ca/día a los 12 años. El segundo cálculo utilizó presunciones basadas en Absorciometría Fotónica Simple (SPA) en el radio en 234 varones y 317 mujeres, entre 6 y 29 años (12) para evaluar el calcio total. Las tasas máximas resultantes de acumulación de calcio fueron menores - 200 mg/día en los niños y 160mg/día en las niñas - y las edades a las cuales se alcanzaban estos picos fueron mayores (16 años en los varones y 12 en las mujeres). Este método de determinar la tasa de acumulación es sensible a los errores en la estimación del contenido total de calcio, y este hecho podría ser el responsable de la gran discrepancia entre estas dos estimaciones de la acumulación que tuvo un pico más pronunciado que la gráfica basada en los datos de la Absorciometría Fotónica Simple.

Dos estudios han utilizado DXA para estimar las tasas de acumulación de calcio durante el crecimiento. En un estudio controlado de seis meses con suplementación con calcio en adolescentes mujeres, Andon y cols. (7) observaron que las niñas que recibieron suplementación con 1000 y 500 mg de Ca/día tuvieron incrementos de 154 y 138 g, respectivamente, en el BMC total, mientras que el aumento en el grupo placebo fue de 125 g. Los incrementos en el BMC total corresponden a 272, 243, y 221 mg/día, respectivamente, si suponemos que el calcio constituye el 32.2% del mineral óseo (no el valor de 39% supuesto por Andon y cols.). En un estudio transversal, Matkovic y cols. (8) reportaron una retención promedio de calcio de 160 mg/día de los 8 a los 18 años de edad, y sugirió que, en un periodo más corto, la retención podría ser tanto como 300-400 g/día.

En este estudio, el BMC total en los niños aumentó rápidamente a lo largo de la "eclosión" puberal, desde 950 g a los 9.5 años hasta  $> 3000$  g a los 19.5 (Figura 1). En este rango de edad la pendiente de la curva de BMC, es decir, la tasa de retención de mineral óseo, aumento de 115 g/año hasta una máximo de 320 g/año a los 14.5 años de edad, luego disminuyó a los 19.5 años. En las niñas, el BMC aumentó de 774 g a los 8 años a 2200 g a los 18; la tasa máxima de acumulación fue de 240 g/año a los 13.0 años. La mayor tasa pico de acumulación de los niños ocurrió a los 1.2 años después de su edad para el pico de velocidad en altura (13.3 años), y 1.0 año después de su edad en la VPSE (12.2 años).

Si se presume que el 32.2 % del mineral óseo está compuesto por calcio, el pico de 320 g Ca/año en los varones correspondió a 282 mg Ca/día, mientras que el pico en las mujeres correspondió a 212 mg Ca/día. La masa media de calcio acumulada por los varones, en el lapso de 2 años de la edad de acumulación pico, fue de 100 g/ de Ca/año o 275 mg de Ca/día; los valores para las niñas fueron de 75 g de Ca/año o 204 de Ca/día. Estos valores son marcadamente mayores que las cifras de balance de calcio reportadas en las mujeres  $>21$  años, quienes normalmente tienen un pequeño balance positivo o un balance negativo (14, 15).

La ingesta de calcio necesaria para producir las tasas de acumulación reportadas en este trabajo pueden ser estimadas utilizando los datos publicados de absorción de calcio. En un estudio sobre el balance de calcio con 14 niñas de 13.1 años de edad promedio, se midió en forma directa la ingesta media de calcio alimentario, la cual correspondió a 1332 mg/día (15). Con la eliminación fecal promedio de 901 mg de Ca/día, la absorción fue, por lo tanto, de 325 mg Ca o 32.2 % Con una eliminación urinaria de 106 mg Ca/día, 325 mg de Ca fueron retenidos, la eficiencia de retención de 24.4%. Si la cantidad de calcio eliminado en la sudoración es estimada en 55 mg/día [valor extrapolado por Peacock (6) en base a los datos del peso corporal en adultos (16)], la retención de calcio es de 270 mg/día, y la eficiencia de retención disminuye al 20.3 %. Por lo tanto, si nuestros sujetos tuvieran una eficiencia de retención similar, las niñas habrían requerido una ingesta de calcio de 1005 mg/día para mantener la acumulación de mineral óseo durante los 2 años de adquisición pico del BMC. Es interesante observar que la eficiencia de retención de calcio en las niñas (promedio de edad: 11.3 años) que tomaron placebo, en el estudio de Andon y cols. (7), fue de 25.0 %. Si se utiliza la proporción de 20.3 % para la retención de calcio observada en los niños en este estudio, la retención de 275 mg/día reportada aquí, requeriría una ingesta media de 1355 mg de Ca/día durante un período de 2 años. Estos valores relativamente altos concuerdan con los resultados de Matkovic y cols. (17), quienes sugirieron que los requerimientos de calcio durante la adolescencia, cuando el crecimiento óseo es acelerado, son elevados. El aumento de la ingesta de calcio en mujeres adolescentes a 1600 mg/día no produjo un incremento significativo en la eliminación urinaria de calcio, lo cual sugiere que la capacidad del esqueleto en crecimiento de utilizar el calcio no estuvo saturada.

Es bien sabido que la estimación de las tasas de cambio de variables durante el crecimiento, a partir de datos transversales, resulta en un aplanamiento de los picos en los individuos; esto se debe a una variabilidad interpersonal en la edad de los valores pico que refleja amplias diferencias en el estado de maduración. Por los tanto, los valores pico reportados aquí, son casi con certeza subestimaciones para la mayoría de los niños. Aun así, muchos adolescentes que tienen la misma edad que nuestros sujetos consumen considerablemente menos calcio que las cantidades medias requeridas que nosotros estimamos. En nuestra muestra se midió la ingesta alimentaria, la que se reportó en otro trabajo (10). La ingesta media de calcio en los sujetos entre 13 y 15 años fue de 1300 mg/día en los varones y de 954 mg/día en las mujeres. Sin embargo, el uso de una estimación de probabilidad basada en el valor de la ingesta diaria recomendada de Canadá (1000 mg Ca/día) determinó que el 31 % de la niñas tuvo una ingesta inadecuada (10). Sin embargo, no existe una certeza total debido a las tendencias que tienen los adolescentes de sub-informar las ingestas alimentarias cuando utilizan encuestas (18).

A pesar de que los valores de BMC y las tasas de acumulación muestran que el esqueleto realmente aumenta, es probable que la demanda pico de calcio ocurra cuando la tasa de aumento del volumen óseo sea máxima. No se sabe la edad a la cual ocurre esto, debido a que el volumen esquelético es difícil de medir (19), pero es probable que sea en un punto cercano a la edad del pico de velocidad en altura (PHV). Esta especulación es respaldada comparando la edad de velocidad pico de altura con la edad de VPSE medida por DXA. En los varones, la VPSE ocurrió 0.2 años después que la velocidad pico de altura; en las mujeres ocurrió 0.8 años más tarde. Debido a que la demanda de calcio cerca de la edad de acumulación pico de BMC ya es muy elevada, es posible que la demanda cerca de la edad de velocidad pico de altura no pueda ser cubierta en forma inmediata por las fuentes alimentarias de calcio.

Para investigar este hecho más a fondo, seleccionamos 6 sujetos de los cuales teníamos suficientes puntos de datos en los años adolescentes para derivar curvas individuales de crecimiento en altura, superficie esquelética, y BMC. Determinamos los valores medios de ingesta de calcio para estos sujetos, basados en encuestas alimentarias de 24 hs obtenidas durante 4 años, de acuerdo a procedimientos estándar descritos en otros artículos (10). En la Tabla 2 se presentan los datos de 3 niñas - una con una baja ingesta de calcio, otra con una ingesta cercana al valor recomendado de 1000 mg/día, y la tercera con una ingesta elevada - y de 3 varones con consumos de calcio cercanos al valor recomendado en Canadá de 1200 mg/día. Nuestra muestra de varones no tuvo la amplia variación en ingestas observada en las niñas, y tampoco tuvo ningún sujeto con las ingestas sustancialmente bajas como se observó en algunas niñas.

Los datos de los seis individuos revelan algunas tendencias interesantes. En primer lugar, las velocidades individuales fueron mayores que las velocidades grupales medias para la altura, superficie esquelética, y BMC, observación que confirman el efecto de aplanamiento por el uso de datos transversales. La sincronización secuencial de la velocidad pico de altura, VPSE, y la velocidad pico de BMC, fue la misma en todos los sujetos. Las tres niñas reportaron ingesta de calcio de 576, 1039, y 1589 mg/día, lo cual las coloca en categorías baja, media, y alta de ingesta, respectivamente. Las niñas con consumos bajos y medios tuvieron valores muy similares de velocidad pico de altura y de edad de VP, pero comparada con la niña de baja ingesta, la que tuvo una ingesta media ganó 21% más mineral óseo durante los 2 años antes y después de la VPSE. La niña con alto consumo de calcio tuvo un aumento aún mayor (39%).

Estas ingestas pusieron de manifiesto un aparente déficit alimentario. Suponiendo un valor de retención del 20.3%, calculamos la ingesta de calcio necesaria para aportar el aumento medido de minerales óseos. En cinco de los seis sujetos este valor fue más elevado que la ingesta de calcio reportada. La discrepancia pudo haberse debido a : 1) eficiencia de retención mayores al 20.3% reportado por Weaver y cols. (15), basado en una carga de calcio de 1.332 mg/día; 2) sub-reportes de la ingestas alimentarias; 3) un porcentaje más pequeño de calcio en el contenido mineral óseo en adolescentes que el 32.2% reportado por Ellis y cols. (1); 4) alguna combinación de estos factores. Sin embargo, la asociación positiva entre la mayor retención de calcio y la mayor ingesta reportada es consistente con la hipótesis que durante esta fase de crecimiento rápido, la retención de mineral óseo puede estar limitada por bajas ingestas alimentarias de calcio.

**Tabla 2.** Datos de crecimiento para la altura, superficie esquelética, y contenido mineral óseo (BMC), y datos de la ingesta de calcio, en seis sujetos. PHV= velocidad de crecimiento en altura; VPSE = velocidad pico de superficie esquelética; BMCPV = velocidad pico de contenido mineral óseo; BMC = contenido mineral óseo. (2) Media o promedio.

	Niñas			Niños		
	1	2	3	4	5	6
Edad de PVH (años)	11.6	11.6	11.1	13.9	13.9	13.8
Velocidad en el PHV (cm/año)	9.6	9.6	10.4	10.5	9.7	11.2
Valor de la talla en el PHV (cm)	156	158	149	155	170	159
Edad de la VPSE (años)	11.8	11.7	11.4	14.2	14.2	13.9
Velocidad en la VPSE (cm <sup>2</sup> /año)	219	294	261	518	317	248
Valor de la BMCPV (g)	1555	1698	1606	1689	1866	1752
BMC 1 año antes de VPSE (g)	1019	1242	1207	1070	1603	1363
BMC 1 año después de VSPE (g)	1508	1831	1883	1931	2482	1996
Acumulación en 2 años (g)	488	589	676	861	379	633
Calcio retenido (mg/día)	215	260	298	380	388	279
Ingesta de calcio necesaria para una retención del 20.3% (mg/día) (2)	1059	1281	1468	1.872	1911	1374
Ingesta de calcio reportada (mg/día) (2)	576	1039	1589	1388	1547	1100
Eficiencia de la retención de calcio (%)	37	25	19	27	25	25

Parfitt (2) argumentó que la incapacidad de un individuo de retener suficiente calcio alimentario para cubrir la demanda pico puede ser compensada “pidiendo prestado” calcio a las estructuras corticales para aportar la cantidad adicional necesaria para apoyar la metafisis de los huesos largos en crecimiento rápido, durante el máximo crecimiento lineal. Por lo tanto, se podría incurrir en una deuda temporaria de hueso, acompañada por un aumento en la porosidad cortical. La “deuda” esquelética es repuesta más tarde cuando la demanda ósea disminuye, pero la retención sigue siendo alta. El costo de la “deuda” ósea es un periodo de relativa fragilidad esquelética responsable de la mayor incidencia de fracturas alrededor de la velocidad pico de altura (4, 20, 21). Parfitt (2) sugirió que “el aumento en la porosidad cortical es un mecanismo altamente eficiente para cubrir una demanda temporaria de calcio”.

Esto origina distintas preguntas. ¿Puede reducirse la fragilidad ósea de los adolescentes incrementando la ingesta alimentaria de calcio cerca del período del pico de velocidad de crecimiento de altura?. ¿Es el calcio alimentario un factor limitante en la adquisición de una óptima cantidad de minerales óseos en la madurez esquelética y desarrollo del esqueleto cerca de la edad de velocidad pico de altura o VPSE?. Un estudio con niños y adolescentes con alergia a la leche, indicó fuertemente que el calcio alimentario es un factor importante para la mineralización ósea y el desarrollo esquelético durante el crecimiento (22). También existen algunos datos que indican que la suplementación con calcio puede incrementar la densidad mineral ósea total y en la columna en niñas adolescentes (23), a pesar de que un estudio observó que este incremento ocurría en mellizos pre-púberes, pero no en púberes. A pesar de que no todos los estudios han observado una relación positiva entre la ingesta de calcio y la mineralización ósea en niños, algunos trabajos sugirieron que para asegurar el logro de una óptima cantidad de minerales óseos en el momento de la maduración esquelética, la ingesta alimentaria de calcio deberían ser mayores a la de muchos niños hoy en día (6, 25).

Es lamentable que los adolescentes reduzcan sus ingestas de calcio en el momento en que la necesidad es mayor. Cuando esta disminución está ligada a la reducción en los patrones de actividad física, observada en muchos niños durante su segunda década de vida, surge una tendencia que tiene influencia directa sobre la carga mecánica del esqueleto, cuadro perturbador de la adecuancia esquelética durante el crecimiento y la vida adulta.

## Agradecimientos

Este estudio fue respaldado, en parte, por una beca del Programa Nacional para Investigación y Desarrollo en Salud de Canadá.

## REFERENCIAS

1. Ellis K.S., Shypalio R.J., Hergenroeder A., P erez M., Abram S (1996). Total body calcium and bone mineral content: comparison of dual-energy X-ray absorptiometry with neutron activation analysis. *J Bone Miner Res*; 11: 843-8
2. Parfitt A.M (1944). The two faces of growth: benefits and risks to bone integrity. *Osteoporos Int*
3. Weaver C.M (1994). Age related calcium requirements due to changes in absorption and utilization. *J Nutr*; 124 (suppl. 8) 1418S-25S
4. Bailey D.A., Wedge J.H., McCullough R.G., Martin A.D., Bernhardson S.C (1989). Epidemiology of fractures of the distal end of the radius in children as associated with growth. *J Bone Joint Surg Am*, 71: 1225-31
5. Krabbe S, Christiansen C., Rodbro P., Transbol L (1979). Effect of puberty on rate of bone growth and mineralization. *Arch Dis Child* 54: 950-3
6. Peacock M (1991). Calcium absorption efficiency and calcium requirements in children and adolescents. *Am J. Clin. Nutr* 54 (suppl): 261S-5S
7. Andon M.B., Lloyd T., Matkovic V (1994). Supplementation trials with calcium citrate malate evidence in favor of increasing the calcium RDA during childhood and adolescence. *J. Nutr.* 124 (suppl 8): 141S-7S
8. Matkovic V., Jelic T., Wardlaw G.M., et al (1944). Timing of peak bone mass in Caucasian females and its implication for the prevention of osteoporosis. *J. Clin. Invest.* 93: 799-808
9. Faulkener R., Bailey D.A., Drinkwater D.T., Wilkinson A., Houston C.S., McKay H.A (1993). Regional and total body tissue composition in children 8-16 years of age. *Calcif Tissue Int* 53 7-12
10. Whithing S., Colleaux C., BacchettoT (1995). Dietary intakes of children age 8 to 15 years living in Saskatoon. *J. Can Diet Assoc* 56: 119-25
11. Preece M.A., Bainer M.J (1978). A new family of mathematical models describing the human growth curve. *Ann Hum Biol* 1978; 5: 1-24
12. Hui S.L., Johnston C.C., Mazess R.B (1985). Bone mass in normal children and young adults. *Growth*; 49: 34-43
13. Heymsfield S.B., Wang J., Heshka S., Kehayas J.J., Pierson R.N (1989). Dual photon absorptiometry: comparison of bone mineral and soft tissue mass measurements in vivo with established methods. *Am J Clin Nutr* 49: 1283-9
14. Matkovic V (1991). Calcium metabolism and calcium requirements during skeletal modeling and consolidation of bone mass. *Am J Clin Nutr* 54(suppl):245S-60S
15. Weaver C.M., Martin B.R., Plawewski K.L., et al (1995). Differences in calcium metabolism between adolescent and adult females. *Am J Clin Nutr* 61: 577-81
16. Charles P., Jensen F.T., Mosekilde L., Hanson H.H (1983). Calcium metabolism evaluated by <sup>47</sup>Ca kinetics: estimation of dermal calcium loss. *Clin sei*; 65: 415-22
17. Matkovic V., Fontana D., Tominac C., Goel P., Chesnut C.H (1990). Factors that influence peak bone mass formation: a study of calcium balance and the inheritance of bone in adolescent females. *Am J Clin Nutr*; 52: 878-88
18. Livingstone M.B., Prentice A.M., Coward W.A., et al (1992). Validation of estimates of energy intake by weighed dietary record and diet history in children and adolescent. *Am J Clin Nutr*; 56: 29-35
19. Trotter M., Hickson B (1974). Sequential changes in weight, density and percentage ash weight of human skeletons from an early fetal period through old age. *Anat Rec*; 179: 1-18
20. Alffram P.A., Bauer G.C (1962). Epidemiology of fractures of the forearm: a biomechanical investigation of bone strenght. *J Bone Joint Surg Am*; 44: 105-14
21. Blimkie C.J., Lefevre J., Neunen G.P., Renson R., Dequeker J., van Damme P (1993). Fractures, physical activity, and growth velocity in adolescent Belgian boys. *Med Sci Sports Exerc*; 25: 801-8
22. Henderson R, Hayes P (1994). Bone mineralization in children and adolescent with a milk allergy. *Bone Miner*; 27: 1-12
23. Lloyd T., Andon M.B., Rollings N., et al (1993). Calcium supplementation and increases in bone mineral density in adolescent girls. *JAMA*; 1993; 270: 841-4
24. Johnston C.C., Miller J.Z., Slemenda C.W., et al (1992). Calcium supplementation and increases in bone mineral density in children. *N Engl J Med*; 327: 82-7
25. Markovic V., Heaney R.P (1992). Calcium balance during human growth: evidence for threshold behavior. *Am J Clin Nutr*; 55: 992-6

### Cita Original

Martin, A. D., Bailey, D. A., McKay, H. A., & Whiting, S. (1997). Bone mineral and calcium accretion during puberty. *The American journal of clinical nutrition*, 66(3), 611-615. DOI: 10.1093/ajcn/66.3.611