



Revisión

Valoración de la maduración biológica: usos y aplicaciones en el ámbito escolar

R. Gómez-Campos^{a,b}, M. de Arruda^a, E. Hobold^a, C. P. Abella^c, C. Camargo^a, C. Martínez Salazar^b
y M. A. Cossio-Bolaños^d

^a Universidad Estadual de Campinas. UNICAMP. Campinas. Brasil.

^b Departamento de Educación Física, Deportes y Recreación. Facultad de Educación, Ciencias Sociales y Humanidades. Universidad de La Frontera. Temuco. Chile.

^c Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad Católica de Valencia. Valencia. España.

^d Departamento de Ciencias de la Actividad Física y Departamento de Educación Especial. Universidad Católica del Maule. Talca. Chile.

Historia del artículo:

Recibido el 28 de septiembre de 2012

Aceptado el 12 junio de 2013

Palabras clave:

Adolescencia.

Pubertad.

Maduración sexual.

Key words:

Adolescence.

Puberty.

Sexual maturation.

RESUMEN

Los indicadores de la valoración de la maduración biológica son ampliamente utilizados en diversas áreas. Proporcionan información relevante que permite determinar el ritmo o tiempo de maduración individual. El uso y la aplicación varía entre las técnicas, sin embargo, todos tienen un objetivo común, la clasificación de los niños y adolescentes en estadios de maduración. En este sentido, el objetivo de la presente revisión fue describir los indicadores de maduración biológica e indagar los posibles usos y aplicaciones dentro del ámbito escolar. Se concluye que a) la mayoría de los estudios coinciden en especificar que la maduración esquelética o edad ósea es el indicador más útil, aunque la predicción del pico de velocidad de crecimiento propuesta por Mirwald et al. (2002) es un indicador que permite valorar a poblaciones escolares de forma transversal y b) la valoración de la maduración, independientemente del tipo de metodología puede ser aplicada en el área clínica, la escuela, en el deporte y en la calidad de vida, como un medio de clasificación de grupos de trabajo para homogeneizar a los niños y adolescentes en circunstancias deportivas y no deportivas.

© 2013 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Assessment of biological maturation: Uses and applications in schools

The indicators for the assessment of biological maturation are widely used in various fields. Provide relevant information for determining the rate or time of individual maturation. The use and application varies between techniques, however, all have a common goal, the classification of children and adolescents in maturation stages. In this sense, the objective of this review was to describe indicators of biological maturation and investigate the possible uses and applications within the school. We conclude that a) most studies agree that specify skeletal maturity or bone age is the most useful indicator, although predicting the peak growth rate given by Mirwald et al. (2002) is an indicator for assessing school populations transversely, and b) the assessment of maturation, regardless of the methodology can be applied in the clinic, school, sports and quality of life as a means of classifying groups working to unify children and adolescents in circumstances competition and non-sports.

© 2013 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

R. Gómez-Campos

Correo electrónico: rossanagomez_c@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

La pubertad es un periodo de maduración biológica marcado por el surgimiento de las características sexuales secundarias, estirón de crecimiento y modificaciones en la composición corporal¹. Es en esta fase de desarrollo, similar a la del periodo fetal, hay crecimiento en altura y los cambios en la composición corporal son intensos y rápidos. De hecho, la cronología en intensidad y duración a lo largo de la pubertad son específicos para cada adolescente y pueden variar considerablemente entre ellos², por esta causa, la variabilidad entre los jóvenes de una misma edad cronológica muestra diferencias en estatura, peso, fuerza, velocidad y resistencia^{3,4}, surgiendo la necesidad de clasificar a los niños y adolescentes en función de la maduración biológica⁵.

Básicamente se consideran cuatro indicadores de maduración biológica (dental, sexual, somática y esquelética), a través de los cuales es posible su valoración buscando su aplicabilidad en el ámbito escolar. La literatura muestra varias metodologías disponibles que permiten evaluar la maduración biológica, sin embargo, la búsqueda de metodologías simples, prácticas y no invasivas para valorar la maduración biológica siempre fue una constante a lo largo de los años. En ese sentido, Malina y Bouchard⁴ señalan que los indicadores más usados para valorar la maduración biológica son a partir de los caracteres sexuales secundarios, la edad esquelética y el pico de velocidad de crecimiento (PVC), considerando, que a manera de consenso, varios estudios sugieren que la edad esquelética se constituye como el indicador de madurez más útil para caracterizar ritmos o "tiempos" de maduración durante el crecimiento⁶⁻⁸, así como también la propuesta de Mirwald et al.⁷ basada en medidas antropométricas simples, constituye una gran posibilidad para predecir el PVC de niños y adolescentes de forma transversal en un solo momento.

En este contexto, basados en la revisión bibliográfica se plantean los siguientes interrogantes: ¿qué indicadores de maduración biológica podrían ser considerados en el ámbito escolar y deportivo? y ¿qué usos y aplicaciones podrían darse, si se pudiera determinar el nivel de maduración biológica en niños y adolescentes? Por esta razón, debido al creciente interés por conocer el proceso de maduración biológica, el objetivo del presente artículo ha sido la realización de una revisión bibliográfica que permita describir los indicadores de maduración biológica e indagar sobre los posibles usos y aplicaciones dentro del ámbito escolar y deportivo. Para ello, como estrategia de búsqueda bibliográfica efectuada del 15 de octubre del 2011 al 15 de enero del 2012, se han localizado artículos en las bases de datos informatizadas *on line* más importantes en los ámbitos de las áreas de la salud y la educación física, incluyendo: *PubMed*, *Med-Line*, *Scopus*, *Scielo*, *Lilacs*, *Sport-Discus*, publicados posteriormente a 1995 y utilizando como palabras clave: adolescencia, maduración sexual, escolares, pubertad, métodos e indicadores. Se consideró como criterios de *inclusión*: a) estudios de revisión; b) estudios descriptivos y c) estudios de intervención), y de *exclusión*: a) estudios científicos publicados en forma de resumen y/o comunicaciones cortas; b) redactados en idioma distinto al inglés, español o portugués.

ASPECTOS CONCEPTUALES

La palabra maduración deriva del vocablo latino "*maturatio*" que significa "aceleración" y clásicamente es definida como el conjunto de fenómenos de crecimiento y de diferenciación celular que contribuyen a la aparición de determinadas funciones en el organismo⁹. La maduración

supone cambios programados a nivel genético, que se presentan con el tiempo de forma natural¹⁰, donde cada individuo nace con su propio reloj biológico que regula su progresión hacia el estado de madurez⁴.

Es importante considerar algunos términos como la edad cronológica, que Gallahue¹¹ define como la edad determinada por la diferencia entre un día indicado y el día del nacimiento de un individuo, que al presentarse en forma de fracción centesimal podría evitar errores metodológicos, sobre todo cuando se utiliza en investigaciones científicas. Por otro lado, la edad biológica se refiere según Lopes-Machado y Barbanti¹² a la edad de un individuo definida por los procesos de maduración y por influencias exógenas, siendo posible encontrar diferentes edades biológicas entre individuos de la misma edad cronológica.

En este sentido, el concepto de maduración relaciona la edad biológica de un individuo con su edad cronológica, puesto que para niños de la misma edad y el mismo sexo, la variación en edad biológica es muy grande, esto en razón a las diferencias individuales en el ritmo de desarrollo¹³, por lo que durante este proceso los niños y adolescentes pueden presentar maduración precoz, normal y/o tardía.

Una característica importante de la maduración indica que el desarrollo siempre ocurre en secuencias fijas¹³, donde todos los/as niños/as denominados normales pasan por las mismas secuencias de desarrollo y en el mismo orden¹⁴. De hecho, la maduración biológica es un proceso de importantes cambios fisiológicos que se manifiestan de forma más intensa durante la adolescencia y el tiempo de su aparición depende del sexo y la etapa de maduración¹⁵.

En suma podemos definir la maduración como un proceso gradual en el tiempo, en el que se presentan sucesivas modificaciones cualitativas en la organización anatómica y fisiológica, a través del cual se desencadena una gran movilización hormonal durante la pubertad hasta alcanzar el estado de madurez adulto. En este sentido, se destaca una gran cantidad de cambios biológicos que ocurren durante la pubertad, como la maduración sexual, aumento de la estatura y peso, así como la finalización del crecimiento esquelético que va acompañado por un marcado aumento de la masa ósea, cambios en la composición corporal¹⁶ e incrementos en el rendimiento físico¹⁷. De esa forma representa el puente evolutivo entre la segunda infancia y la edad adulta en la que se conjugan aspectos: biológicos, psicológicos, sociales y culturales. Por lo tanto, puede definirse por las conductas de los adolescentes referentes a la búsqueda de sensaciones, independencia, o la necesidad de explorar y de vivir nuevas experiencias, que posibiliten la adquisición de las habilidades necesarias para madurar y llegar a convertirse en personas adultas¹⁸.

Finalmente, es necesario destacar que el PVC, como un indicador somático de la maduración en la adolescencia⁴, indica la edad de máximo crecimiento durante la etapa del estirón del adolescente.

Importancia de la valoración de la madurez

La evaluación de la maduración biológica es importante cuando existe el objetivo de verificar la velocidad de maduración, que puede ser precoz, normal o tardía¹⁹. Se destaca la importancia de su valoración en diferentes áreas como: salud, pediatría, deporte e investigación.

Dentro del área de la salud, el Comité de Expertos de la Organización Mundial de la Salud especifica que el estado de madurez debe ser tomado en cuenta para relacionarlo con la salud y con el uso e interpretación de la antropometría basada en la edad cronológica²⁰, surgiendo la necesidad imprescindible de evaluar la maduración biológica durante la fase del crecimiento y desarrollo de niños y adolescentes, independiente-

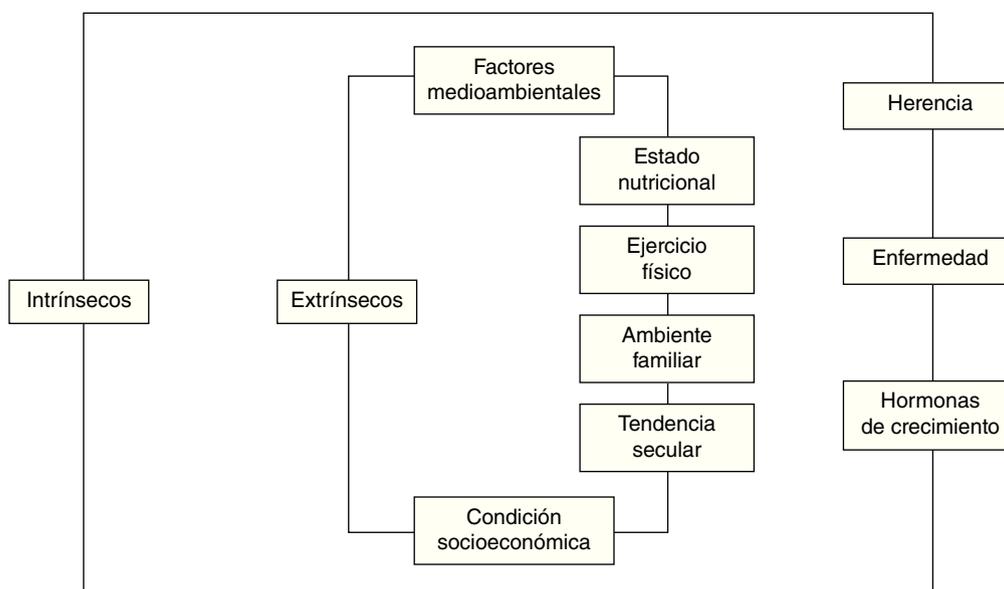


Fig. 1. Factores que influyen en la maduración biológica.

mente del método a utilizar, puesto que existe variabilidad en el crecimiento somático y biológico entre individuos de la misma edad cronológica, que se acentúa por el crecimiento en la etapa de la adolescencia²¹⁻²³.

En el área pediátrica en particular, permite la interpretación clínica de las enfermedades endocrinas, el estado del crecimiento²⁴ y la calidad de vida²⁵. En el ambiente deportivo, su valoración es esencial desde una perspectiva de la investigación y clasificación de los deportes juveniles⁷, ya que la edad cronológica es de limitada utilidad en la evaluación del crecimiento y la maduración²⁶, tanto para adolescentes deportistas como no deportistas. Varios son los casos que se encuentran en adolescentes con diferentes estadios de maduración dentro de un mismo grupo de entrenamiento o categoría competitiva, situación que puede favorecer a los más precoces en el proceso de desarrollo biológico, y puede desmotivar a otros más tardíos, con posibilidades de ser excelentes atletas en el futuro²⁷.

Factores que influyen en la maduración

El cuerpo humano es un complejo sistema de células, la mayoría de las cuales se agrupan en sistemas de órganos que tienen funciones especializadas y que pueden experimentar una serie de cambios a lo largo del crecimiento y desarrollo. En este sentido, clásicamente Gesell²⁸ considera que el desarrollo está influenciado por dos factores principales: el medio ambiente y el aspecto biológico (herencia). Sin embargo, aunque existe una relación recíproca entre herencia y ambiente, el desarrollo está determinado fundamentalmente por factores biológicos o genéticos. Este proceso se conoce como maduración. La maduración, entonces, está dirigida o gobernada por factores intrínsecos o innatos¹⁴ y por factores extrínsecos o ambientales que estimulan, modifican y contribuyen al proceso de desarrollo, pero no lo generan como señala Gesell²⁸. La figura 1 muestra los diversos factores que influyen en la maduración biológica.

Pues bien, el crecimiento somático y la maduración son influenciados por varios factores que actúan de forma independiente o en conjunto para modificar el potencial genético del crecimiento de un individuo²⁹. Esta interacción entre genética y medio ambiente es compleja y no aditiva.

Dentro de los factores intrínsecos, a nivel hormonal surge una transformación de las gónadas de un estado infantil a uno adulto³⁰ y como consecuencia una mayor segregación hormonal. Así también el factor genético, según Malina³¹, tiene una gran participación en la determinación de las potencialidades máximas para la estatura, distribución de la masa corporal, longitud de los miembros, estructura ósea y aspecto facial, características que pueden verse afectadas y no alcanzar su máxima potencialidad debido a la presencia de enfermedades.

Por otro lado, para explicar el efecto de los factores ambientales sobre el potencial genético, se puede observar que los habitantes de países industrializados y algunas naciones en desarrollo con mejor nivel socioeconómico alcanzan la talla adulta a una edad más temprana³² y muestran una maduración sexual más temprana que las precedentes, lo que significa que el fenómeno de maduración en la actualidad es mayor que en las anteriores generaciones, esto explica el efecto de la tendencia secular.

Así, todas estas condiciones de vida, relacionadas con el nivel socioeconómico, la higiene, la alimentación inadecuada o insuficiente, estado nutricional, oportunidades para el desarrollo de actividades físicas y la tendencia secular podrían determinar la presencia de una temprana, normal o tardía maduración.

Predicción de la estatura adulta

Aunque el control genético del ritmo de crecimiento parece ser independiente de la forma y tamaño del cuerpo, los cambios inducidos por el medio ambiente en el tiempo no parecen alterar significativamente la estatura del adulto³³. En consecuencia, el potencial genético está determinado por la adquisición de una estatura que represente el 100% de su capacidad de crecimiento y cuando existe disminución del material genético, exceso o expresión anormal del mismo, la estatura será en general menor a la esperada del promedio de los padres y se manifestará desde la vida intrauterina.

Su valoración puede efectuarse a través de los valores expresados en porcentaje que se alcanza a determinada edad. Bayley³⁴ elaboró un cuadro que permite pronosticar con cierta seguridad la futura estatura de un individuo a partir de las mediciones individuales tomadas durante la

Tabla 1
Porcentaje de la estatura de madurez alcanzada a diferentes edades, según Bayle (1954)

Edad cronológica (años)	Porcentaje de estatura	
	Hombres	Mujeres
1	42,2	44,7
2	49,5	52,8
3	53,8	57,0
4	58,0	61,8
5	61,8	66,2
6	65,2	70,3
7	69,0	74,0
8	72,0	77,5
9	75,0	80,7
10	78,0	84,4
11	81,1	88,4
12	84,2	92,9
13	87,3	96,5
14	91,5	98,3
15	96,1	99,1
16	98,3	99,6
17	99,3	100,0
18	99,8	100,0

niñez (tabla 1). Algunos estudios en gemelos sugieren que la estatura es un continuo rasgo complejo en el que sugieren que el 80-90% es heredable^{35,36}. La previsión de la estatura definitiva prevista (EDP) se obtiene a partir de la siguiente fórmula:

$$EDP = (Estatura \cdot 100) / (\% Estatura)$$

Por otro lado, la correlación entre la estatura media de los padres y la estatura del hijo (expresada en centímetros) es de 0,75 - 0,78 y expresada en desviaciones estándar la DE es de 0,55 - 0,60³⁷ entre los 2 y 9 años. Existen tablas de correlación entre la estatura media de los padres (estatura materna + estatura paterna / 2) (EMP) y la estatura del niño entre 2 y 9 años descritas por Tanner, Goldstein, Whitehouse³⁸. En este sentido, para calcular la estatura del hijo de una determinada pareja de esposos, asumiendo que el proceso de herencia fue normal y que los factores ambientales han influido de forma similar en ambas generaciones, el método más usado es el propuesto por Tanner:

Niños: $(Estatura\ padre + [Estatura\ madre + 13]) / 2 = EMP + 6,5\text{ cm} (\pm 10)$.

Niñas: $([Estatura\ padre - 13] + Estatura\ madre) / 2 = EMP - 6,5\text{ cm} (\pm 9)$.

Indicadores de maduración

La búsqueda de metodologías para evaluar la maduración biológica siempre fue una constante a lo largo de los años. Las primeras evaluaciones de maduración esquelética se remontan a principios del siglo XX⁶, posteriormente fue introducida la técnica descrita por Tanner³⁹, para evaluar las características sexuales secundarias, surgiendo como un método auxiliar para clasificar el desarrollo de la maduración⁴⁰. Ya en la actualidad existen otras metodologías que apuntan a la valoración de la edad ósea o esquelética en el que utilizan radiografías, ultrasonido, ecografía y hasta resonancia magnética⁴¹⁻⁴³.

La sucesión de los cambios biológicos, psicológicos y cognitivos que se inician en la pubertad¹⁶ producen una gran cantidad de desviaciones en la edad de aparición, tanto en la duración como en el ritmo de estos eventos dentro y entre los jóvenes. Esa variabilidad entre los jóvenes se explica cuando en una misma edad cronológica se observan diferencias en estatura, peso, fuerza, velocidad y resistencia⁴⁵, y en algunos casos,

entre los adolescentes nacidos en el mismo año puede existir una diferencia de edad biológica de hasta 5 años. Esto explica la necesidad de clasificar a los niños y adolescentes en función de la maduración biológica⁶, con la intención de disminuir las desventajas entre compañeros. De ahí que surge la búsqueda de las mejores posibilidades, que permitan seleccionar una adecuada metodología para valorar la maduración biológica, la cual depende de algunos factores como: la simplicidad, fiabilidad y bajo coste, no obstante, todas las metodologías que evalúan los mecanismos de la maduración presentan limitaciones⁴⁴.

Los indicadores más usados para valorar la maduración biológica son a partir de los caracteres sexuales secundarios, edad esquelética y PVC (Malina, Bouchard, Bar-Or²), (tabla 2). Cabe destacar que la edad dental es también considerada como otra técnica muy amplia y de limitada aplicación, a pesar de que su uso es relevante para los odontólogos en general, ortodontistas y pediatras en relación a las decisiones terapéuticas⁴⁵.

Por lo tanto, la edad esquelética constituye el indicador de madurez biológica más útil para caracterizar ritmos o "tiempos" de maduración durante el crecimiento⁶⁻⁸, ya que otros indicadores tradicionalmente utilizados se limitan a ciertas etapas de la vida y muestran gran variabilidad en especial durante la pubertad. A continuación se describen de forma más detallada cada uno de los indicadores más comunes de valoración de la maduración biológica.

Maduración dental

La estimación de la edad dental es un método muy utilizado, no sólo en la atención médica y estomatológica, sino también en antropología física. Su eficiencia podría ser comparable con el crecimiento esquelético⁵⁴ y su determinación tiene un papel importante en la medicina forense, al permitir la identificación de cuerpos, las conexiones con crímenes y accidentes⁵⁵, así como también en la evaluación del crecimiento y desarrollo de niños sanos, en endocrinología pediátrica y en niños con diferentes enfermedades o síndromes⁵⁶.

La edad dental, al igual que la edad esquelética, actúa como un índice de maduración biológica y es determinada por dos métodos: estado de erupción dental y el estadio de gemación, donde se compara el estado de desarrollo radiológico de los diferentes dientes frente a una escala de maduración, de esta forma, no sólo se mide la última fase de desarrollo dental, sino todo el proceso de remineralización. La valoración se efectúa adjudicando a cada diente una puntuación según su estado de desarrollo, de esa forma, la suma de los diferentes puntos señala el valor de la madurez, que se puede convertir directamente en la edad ósea con ayuda de tablas convencionales, y cuanto menor es la suma de puntos, menor es la edad dental y viceversa⁵⁰.

Maduración sexual

La maduración sexual se da por cambios hormonales que se reflejan en todo el cuerpo²⁹. El sistema reproductivo se desarrolla y los caracteres sexuales secundarios se manifiestan⁵⁷. En ambos sexos se presenta la aparición del vello púbico y axilar. En los hombres cambia la voz y nace la barba, el 85% de los hombres pueden presentar un cambio de voz adulta en el pico de crecimiento, aunque este cambio se cuestiona porque puede ocurrir en cualquier momento del crecimiento puberal. Sin embargo, Hagg y Taranger⁵⁸ sugieren que se puede evaluar a partir de la menarquía y el cambio de voz.

La valoración de la maduración sexual, también conocida como escala de Tanner, se basa en la observación de las características sexuales secundarias de los adolescentes. Esta técnica propuesta por Tanner³⁹ permite clasificar durante el examen físico en una escala que varía el

Tabla 2
Indicadores de maduración

Indicadores	Características	Ventajas	Limitaciones
Esquelético	Se evalúa mediante la estandarización de placas de rayos X (RX) que determinan la maduración del esqueleto ⁴⁶	Es el mejor método para la valoración de la edad biológica ⁴⁶ Permite estudiar la madurez biológica desde la niñez hasta la edad de adulto joven	Requiere de equipo especializado, por lo que es costoso ^{7,47} Implica la exposición a radiación de RX ⁴⁸ Depende de la experiencia del observador
Sexual	Basada en el estudio del desarrollo de las características sexuales secundarias ⁴⁵	Técnica no invasiva	Como indicador de madurez, limitan su utilización a la edad puberal ⁴⁸ Se realiza por observación visual, por intermedio del método de autopercepción, que puede generar una sobrestimación o superestimación de los estadios de maduración En una situación no clínica se considera no comfortable para niños, adolescentes y padres ⁷
Somático	Se evalúa a través de la determinación de la edad en la que sucede el pico de velocidad de crecimiento (PVC) ⁷ Indica la edad de máximo crecimiento durante el estirón del adolescente ⁷ Es usado en estudios longitudinales ⁴ y transversales	Puede ser valorada a través de técnicas no invasivas ¹² , como las técnicas antropométricas Es una herramienta simple, de práctica utilización y bajo costo operacional Para estudios transversales, es muy práctica y requiere una única evaluación de pocas variables	El PVC se obtiene a través de ecuaciones de predicción que al utilizar en diferentes poblaciones puede haber una pérdida en la precisión de predicción ⁷ Puede verse influenciado por problemas de mala nutrición, enfermedades o estrés mental. En estudios longitudinales, se requiere evaluar varios años que rodean la ocurrencia del pico ⁷ , no siendo posible realizar en una sola medición
Dental	Se evalúa de acuerdo con el número de dientes en la cavidad oral (visualizar los dientes erupcionados), o por los estadios de calcificación de los dientes (evaluación de RX) ⁴⁹	Método simple y no invasivo De rápida ejecución El desarrollo de los dientes es permanente, pudiendo ser preservados por mucho más tiempo que otros tejidos del organismo ⁵⁰ , abarcando un amplio período desde el periodo embrionario hasta cerca del periodo adulto Posee importancia clínica como herramienta de auxilio en el diagnóstico, tratamiento y ejecución de tratamientos	Puede ser alterado por problemas como mala nutrición, pérdida prematura de dientes y caries dentaria ⁴⁹ A partir de los 14 años la mayoría de los dientes, con excepción del tercer molar, ya completaron su desarrollo, tornándose más difícil identificar la edad ⁵¹⁻⁵³

estadio de 1 a 5. En la decisión de clasificar el desarrollo del vello púbico, los genitales y las mamas entran en juego factores éticos y culturales⁴⁰, lo que limitaría su diagnóstico. Sin embargo, surge la posibilidad de realizar una autoevaluación en privado. Esta técnica de valoración se limita al periodo de la adolescencia y en una situación no clínica se considera particularmente para los niños, adolescentes y padres como incómoda⁷.

En líneas generales, la valoración de la maduración sexual permite a los profesionales de la salud determinar el grado de maduración puberal que se produjo en los adolescentes, independientemente de su edad cronológica¹⁶, convirtiéndose en un indicador de rutina, tanto en la clínica como en la escuela y en los clubes deportivos.

Algunos estudios consideran que la maduración sexual se correlaciona muy bien con el crecimiento lineal, cambios en el peso y la composición corporal y con los cambios hormonales⁵⁹, lo que permitiría estimar el momento del crecimiento esquelético del adolescente⁶⁰, puesto que la osificación y calcificación del esqueleto durante la adolescencia llega a su término a los 17-20 años⁶¹.

En la evaluación de la maduración sexual hay tres estadios, considerando que el estadio 1 es prepúber, 2 - 4 progresión en la pubertad (púber) y 5 constitución adulta (postpúber), tanto en el desarrollo de las mamas (M), genitales (G) y vello púbico (P) (fig. 2).

Maduración esquelética

La maduración esquelética u ósea es la más útil para caracterizar ritmos o "tiempos" de maduración durante el crecimiento⁶², es costosa, requiere de equipo especializado e interpretación y cuestiones que incurren en

la seguridad radiológica⁷, siendo necesario durante su interpretación considerar la decisión de al menos dos observadores experimentados⁵⁷, evitando errores de interpretación por falta de experiencia.

La edad ósea se describe por el grado de maduración de los huesos de un niño⁶³, y su medición se realiza a través de la interpretación de los indicadores de madurez, que son características radiográficamente visibles de los huesos que se someten a sucesivos cambios durante la maduración. La mayoría de los indicadores reflejan la sustitución del cartílago por el hueso, pero algunos indican el crecimiento del hueso en las superficies o el subperiostio del hueso⁴³, pudiendo existir diferencias en las tasas de crecimiento individuales; así en el esqueleto de los niños de la misma edad cronológica pueden observarse marcadas diferencias en la madurez. Por lo tanto, la edad esquelética no sólo puede ser utilizada para determinar la edad biológica, sino también ayuda a comprender el potencial genético, crecimiento y desarrollo de los niños⁶⁴. En consecuencia, su valoración puede cubrir todo el periodo del crecimiento, desde el nacimiento hasta la madurez⁷.

Las técnicas para su valoración implican exposición a los rayos X (RX), que por mínima que ésta sea, no suele estar justificada, a menos que estén indicadas por un médico que necesite de pruebas radiográficas⁶⁵⁻⁶⁷. Según García de la Rubia, et al.⁶¹ los métodos analíticos basados en la valoración de al menos las radiografías de la mitad del esqueleto, han sido descartados por la dependencia que tienen de la experiencia del observador y por el exceso de radiación que se administra. Los métodos cualitativos basados en el atlas de Greulich y Pyle (G-P)⁶⁴ y los métodos de puntuación basados en el atlas de Tanner-

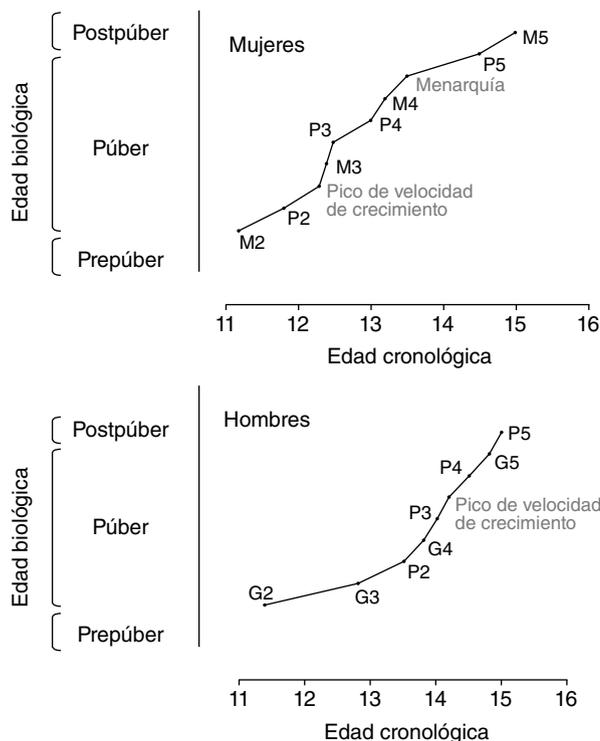


Fig. 2. Estadios de la maduración sexual. M: estadio maduracional de mamas; P: vello púbico; G: genitales; M2: etapa embrionaria; M3: diámetros areolares de las mamas aumentan de tamaño; M4: segunda elevación de las mamas; M5: etapa adulta; P2: primer vello; P3: vello oscuro, rizado y visiblemente pigmentado; P4: vello similar al tipo adulto pero de menor extensión; P5: etapa adulta; G2: inicio del desarrollo del pene; G3: ampliación en la longitud del pene, crecimiento de testículos y descenso del escroto; G4: similar al adulto, mayor desarrollo del glande; G5: etapa adulta.

Whitehouse⁶⁷, son los que se siguen utilizando en la actualidad para la valoración de la edad ósea. Como indicadores de madurez se toman los centros de osificación individuales, ya que tienden a ocurrir y desarro-

llarse con regularidad en un orden definido⁶⁷. Las zonas anatómicas varían de método a método (tabla 3):

Maduración somática

La liberación simultánea de la hormona de crecimiento, hormona tiroideas y los andrógenos estimulan la rápida aceleración de la estatura y el peso. Este aumento dramático de la estatura se conoce como el segundo estirón que se presenta en la adolescencia, o también conocido como el PVC.

En estudios longitudinales el PVC es considerado como un indicador de maduración en la adolescencia⁴, el cual se caracteriza por ser una técnica muy utilizada durante el periodo de la maduración⁷, presentando mayor precisión en relación a otras técnicas de medición.

La maduración somática puede ser valorada a través de técnicas antropométricas, donde las variables de peso y estatura por lo general son comparadas con tablas referenciales de tipo transversal y/o longitudinal. Así, en el caso de las niñas se considera que la media del pico de velocidad (PV) de estatura en niñas es de 9cm/año a los 12 años y el aumento total de estatura es de 25cm durante el crecimiento puberal⁶⁹, sin embargo, en el caso de los niños el promedio del PV de la estatura es de 10,3 cm/año, presentándose dos años más tarde en relación a las niñas, y corresponde al estadio 4 de los genitales de Tanner, aumentando 28cm de estatura^{21,69}.

Respecto al peso corporal, en los niños el PV del peso se produce aproximadamente al mismo tiempo que el pico de velocidad de la estatura y es de 9kg/año. En las niñas el aumento del peso máximo se produce antes del PV de la estatura (6 meses) y llega a 8,3kg/año a los 12,5 años aproximadamente³³.

En suma, la maduración somática puede ser valorada a través de dos técnicas: velocidad de crecimiento durante el tiempo y por medio del PVC diagnosticado a través de medidas antropométricas.

Velocidad de crecimiento. Se refiere a la tasa de crecimiento de un individuo en un determinado lapso de tiempo y no se puede utilizar en

Tabla 3
Métodos de valoración de la maduración esquelética

Método	Características
Greulich-Pyle (1959)	Es un método cualitativo, donde es necesario una serie de estándares de referencia para hombres y mujeres, y a través de comparaciones sucesivas permite aproximar la edad del examinado al estándar más próximo, considerando que la coincidencia perfecta entre todos los signos de la radiografía y de estándar no es probable, debido a variaciones óseas individuales ⁴⁹ . El atlas de la mano y muñeca consta de 29 huesos y los estándares de comparación van en intervalos de medio año o 1 año, y en algunas edades el atlas de Greulich-Pyle tiene intervalos entre dos estándares consecutivos de más de un año. Así, si la radiografía de un niño de 8 años se ajusta con la radiografía estándar para niños de 9 años, la edad ósea de ese niño es de 9 años. En esta técnica no valora la maduración esquelética, pero sí se compara con la maduración que presenta la media de la población a esa determinada edad cronológica
Tanner Whitehouse (1975)	Es un método que utiliza una puntuación y describe tres formas de calcular la maduración ósea utilizando la mano y muñeca: a) el carpo, emplea los 7 núcleos del carpo; b) el RUS emplea 13 núcleos: radio, cúbito y los huesos cortos de la mano; c) 20 huesos, utilizando los 7 del carpo más los 13 del RUS. El método RUS es el más usado y preferido por varios estudios y el más eficaz para predecir la talla adulta
Fels (1988)	Este método se basa en el umbral en el cual los indicadores de maduración están presentes en el 50% de la población de referencia. Los indicadores específicos están dados para el radio, cúbito, huesos del carpo y metacarpianos y las falanges del primer y quinto dedo. Las calificaciones se realizan en función de la edad y sexo ⁶ . Es posible también usar el índice metacarpiano (IMC) que es la relación entre la longitud media y la anchura media del metacarpiano segundo al quinto, medidos en su punto medio. En consecuencia, debido a las muchas ventajas sobre otros métodos, el método Fels puede ser valorado por medio de radioabsorciometría de doble energía (DEXA), puesto que la exposición a la radiación es inferior en relación a otras pruebas radiográficas
SHS (1988)	Este método fue desarrollado por Hernández et al ⁶⁸ en una población española. Este método se basa en una radiografía lateral del pie y tobillo izquierdos. Su interpretación se realiza por medio de un método numérico y valora cinco núcleos de osificación (calcáneo, cuboides, tercera caña y las epífisis distales de tibia y peroné) a los que se les da una determinada puntuación dependiendo de los criterios madurativos que cumplan. La suma de todos ellos nos dará la maduración ósea, que la compararemos con los estándares de la población general. Se aplica a los niños de 0 - 2 años

Tabla 4
Ecuaciones de regresión para predecir el pico de velocidad de crecimiento

Ecuaciones
PVC = -9,232 + 0,0002708 (LMI*ATC) - 0,001663 (E*LMI) + 0,007216 (E*ATC) + 0,02292 (P/Est) (hombres)
PVC = -9,37 + 0,0001882 (LMI*ATC) + 0,0022 (E*LMI) + 0,005841 (E*ATC) - 0,002658 (E*P) + 0,07693 (P/Est) (mujeres)

LMI: longitud de los miembros inferiores; ATC: altura tronco cefálica; E: edad; P: peso; Est: estatura.

una sola vez⁷⁰. Requiere de dos mediciones con intervalos no menores de tres meses y no mayores de 18 meses. La velocidad de crecimiento se considera normal cuando se ubica al niño y/o adolescente entre los percentiles 10 y 90. Para el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$VC (cm/año) = \frac{\text{Estatura actual} - \text{Estatura anterior}}{\text{Edad decimal actual} - \text{Edad decimal anterior}}$$

Pico de velocidad de crecimiento. Esta técnica es propuesta por Mirwald et al⁷, en la que es necesario medidas antropométricas como peso, estatura, altura tronco cefálica (estatura sentado) y la diferencia entre la estatura y la altura tronco cefálica. Es considerada como práctica y no invasiva¹⁵ y permite predecir la proximidad y el alejamiento del PVC en años desde -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, donde cero (0) significa el PVC. Las ecuaciones de regresión para ambos sexos se observan en la tabla 4.

Estudios que engloban la maduración biológica

A partir de los estudios que utilizan indicadores de maduración se puede inferir que varios son los factores que afectan el crecimiento y desarrollo de niños y adolescentes. Estos factores actúan de forma independiente o en conjunto para modificar el potencial genético de un individuo²⁹.

Tendencia secular

La tendencia secular en la estatura y el desarrollo de los adolescentes es una prueba más de la influencia significativa de los factores ambientales sobre el potencial genético para el crecimiento lineal en un individuo⁷¹. De hecho, hace un siglo y medio la talla promedio del hombre se alcanzaba a los 23 años, en contraste con los 17 años actuales, y la edad de la menarquía ha declinado de 17 a 12,5 años⁷². Esta tendencia secular parece haberse nivelado en los últimos 50 años⁷³, sobre todo en países industrializados, aunque el cambio en el ritmo del crecimiento y maduración de los adolescentes en países subdesarrollados continúa mejorando. En este sentido, varios estudios documentan ampliamente una tendencia secular positiva en varias regiones del mundo sobre el crecimiento físico de niños y adolescentes⁷⁴⁻⁷⁸. Por lo tanto, la explicación más evidente de este fenómeno es producto de la mejora nutricional, la reducción en la frecuencia y duración de las enfermedades durante la infancia⁷², así como mejores condiciones de vida, saneamiento y en general la salud pública⁷⁹.

Nutrición

La nutrición es la que ejerce mayor influencia sobre el crecimiento y desarrollo, dado que una alimentación sana y equilibrada durante los primeros años de vida y durante la fase de crecimiento garantiza el normal desarrollo de los niños y adolescentes. Un aporte adecuado de calorías es esencial para el normal crecimiento de los seres humanos y las necesidades varían según la fase de desarrollo. En este sentido, el estado nutricional tiene un importante efecto modulador en el desarrollo se-

xual de los adolescentes²⁹, que se explica porque la obesidad y el sobrepeso están asociados con el inicio precoz de la maduración sexual⁸⁰⁻⁸², a su vez, la desnutrición está asociada con la pubertad tardía^{64,76}. Por lo tanto, las deficiencias de energía⁸⁴ en proteínas⁸⁵ y zinc⁸⁶ han sido relacionadas con la falta de crecimiento, sin embargo, las dietas ricas en grasa están asociadas al aumento del peso y obesidad⁸⁷.

Condición socioeconómica

La condición socioeconómica conlleva una serie de hábitos, comportamientos, condiciones y estilos de vida familiar, lo que se traduce en términos de pobreza y riqueza. El Comité de FAO/WHO⁸⁸ destaca que la condición socioeconómica está relacionada con el estado nutricional, ya que el consumo alimenticio depende de la capacidad para comprar los alimentos. En este sentido, en una familia numerosa con ingresos limitados los niños no reciben una nutrición adecuada. Como consecuencia, los niños de condición socioeconómica alta son más altos y presentan mayor peso con el transcurso de la edad cronológica y maduran más temprano que aquellos niños de condición económica baja⁸⁹.

En suma, el impacto de la pobreza y bajo nivel socioeconómico sobre el crecimiento y la malnutrición en la preadolescencia y la adolescencia, tanto en países desarrollados y en desarrollo son ampliamente analizados por varios estudios⁹⁰⁻⁹², lo que permite identificar las relaciones entre pobreza y desnutrición infantil⁹², inclusive la falta de acceso a las condiciones de saneamiento y asistencia sanitaria imposibilitan la consecución de un adecuado potencial genético. A su vez, la variación de estatura que se observa entre grupos de personas de diferentes condiciones socioeconómicas se manifiesta en diferentes intensidades⁹³, así la clase social a la que pertenecen los niños y adolescentes desempeña un papel preponderante en el proceso de crecimiento y desarrollo, ya que en los países menos desarrollados las diferencias entre los centros urbanos, marginales y rurales son marcadas y probablemente se deban a factores socioeconómicos y nutricionales, respectivamente.

Actividad física

Existe una asociación entre la maduración biológica y la actividad física sistemática, que se explica en razón a que las variaciones que se dan en la composición corporal se relacionan con el estadio de maduración, y consecuentemente surgen diferencias en relación al rendimiento motor, esto se explica debido a que los cambios en la estructura morfológica poseen relación directa con las respuestas fisiológicas frente al ejercicio⁹⁴, pudiendo observarse claramente cuando se compara individuos de la misma fase etaria, pero con diferente estadio de maduración, donde los adolescentes con una edad biológica acelerada van a poseer mayores valores en tamaño físico, con aumento de la masa mineral ósea y de la masa magra en relación a los adolescentes que se encuentran en edades biológicas atrasadas²⁷, y como consecuencia de ello, mejores valores en relación al nivel de rendimiento motor, como fue mostrado por Ara, et al.⁹⁵ en individuos prepúberes que participaron en programas de actividad física durante tres horas semanales, observándose una disminución de la grasa corporal del tronco y del cuerpo en general, además de que aumentaron significativamente el nivel de aptitud física.

Por otro lado, Malina⁹⁶ señala que la edad de la menarquía en las adolescentes que entrenan en un deporte es más tardía en relación con las que no entrenan, por lo que la práctica del entrenamiento físico regular conlleva un retraso en el comienzo de los ciclos menstruales. El retraso del crecimiento y la maduración sexual se encuentra bien docu-

mentado en ciertos grupos de atletas de elite, especialmente en corredores de distancia, gimnastas y bailarinas⁹⁷. En este sentido, de la Paz⁹¹ considera que la intensidad y la duración del trabajo físico durante la pubertad podrían tener una influencia en la maduración, debido a que la energía gastada en la actividad física es muy alta y produciría un desequilibrio en la alimentación⁹⁹, y consecuentemente se asocia con el retraso de la pubertad y los bajos niveles de gonadotropina¹⁰⁰. Sin embargo, los estudios realizados en varones indican que no existe ningún efecto adverso sobre la maduración sexual¹⁰¹. Por lo tanto, las preocupaciones acerca de la influencia del entrenamiento deportivo sobre la maduración sexual en mujeres deportistas advierte que los ejercicios prolongados y extenuantes, y el bajo nivel de grasa corporal, podrían retrasar la maduración sexual, disminuir el crecimiento esquelético y finalmente la estatura (Asociación Médica Americana, Asociación Dietética Americana)¹⁰².

Altitud

Finalmente, otro de los factores que podrían influir o alterar el crecimiento y desarrollo es la altitud; condición que genera una presión atmosférica reducida, frío, terreno irregular y cuyas características podrían ejercer profundos efectos sobre la vida vegetal y animal, determinando las especies de plantas a ser cultivadas, las especies de animales a ser criados, así como el nivel socioeconómico y el grado de aislamiento de las comunidades que conforman estos ecosistemas¹⁰³. En consecuencia, los niños que viven bajo estas condiciones de estrés ambiental generado por la hipobaría muestran reducido tamaño corporal en todas edades después del nacimiento¹⁰⁴, a su vez, presentan una reducción porcentual en la velocidad del crecimiento, especialmente en la pubertad¹⁰⁵, con lo que se produce retardo en el crecimiento lineal, maduración esquelética y sexual, respectivamente¹⁰⁶⁻¹⁰⁷.

SUGERENCIAS Y RECOMENDACIONES FINALES

La mayoría de los estudios revisados sugieren el uso de técnicas para valorar y controlar la maduración biológica de niños y adolescentes, independientemente de los efectos que puedan producir los factores extrínsecos (condiciones de vida, nivel socioeconómico, higiene, alimentación, estado nutricional, actividad física, tendencia secular); sin embargo, son pocos los estudios que suponen proponer nuevas técnicas y metodologías para valorar la maduración biológica, considerando como ventajas los bajos costes, alta reproducibilidad, facilidad en su uso y aplicación, y principalmente que sea no invasivo.

En general sugerimos futuros estudios que abarquen muestras específicas de niños y adolescentes, practicantes y no practicantes de modalidades deportivas específicas, así como en escolares que viven en regiones de moderadas y elevadas altitudes, y de diversas razas y etnias, con la intención de verificar la edad cronológica aproximada en que se pudiera presentar la maduración somática, sexual y/o esquelética. Tales informaciones podrían contribuir en la clasificación de grupos específicos más homogéneos acordes a su realidad.

Los estudios en niños y adolescentes necesitan de un control y seguimiento para tener en cuenta los efectos de la maduración. Los diferentes indicadores (dental, sexual, somático y esquelético) proporcionan relevante información, que permite determinar el ritmo o tiempo de maduración individual. En este sentido, las características de la población de niños y adolescentes, como la edad, sexo y tamaño de la población, son determinantes en el momento de seleccionar el método a utilizar para

su evaluación. En base a los estudios analizados, recalamos que la maduración esquelética o edad ósea es el indicador más útil, sin embargo, se considera que la predicción del PVC propuesta por Mirwald et al. (2002) es un método fiable, no invasivo, de bajo coste, de fácil aplicación, que permite valorar a grandes poblaciones.

En relación a los posibles usos y aplicaciones, la valoración de la maduración, independientemente del tipo de metodología, constituye una herramienta que puede ser utilizada en el área clínica, escuela, deporte, investigación y en la calidad de vida; sirviendo como un medio de clasificación y estratificación de grupos de trabajo para homogeneizar a los niños y adolescentes en circunstancias deportivas y no deportivas, dentro y fuera de la escuela, así como auxiliar en la interpretación entre maduración y rendimiento motor.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Chipkevitch E. Avaliação clínica da maturação sexual na adolescência. *J Pediatr (Rio J)*. 2001;77(Supl.2):S135-S142.
2. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. Growth maturation and physical activity, 2nd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2004.
3. McCloy CH. The measurement of Athletic Power. New York: Barnes & Co; 1934;1-36.
4. Malina RM, Bouchard C. Growth, Maturation and Physical activity. Champaign, IL: Human Kinetics; 1991:501-2.
5. Bergmann GG, Bergmann MLA, Lorenzi TDC, Pinheiro ES, Garlipp DC, Moreira RB. Pico de velocidade em estatura, massa corporal e gordura subcutânea de meninos e meninas dos 10 aos 14 anos de idade. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*. 2007;9(4):333-8.
6. Malina R. Skeletal Age and age verification in youth sport. *Sport Med*. 2011;41(11):925-47.
7. Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2002;34:689-94.
8. Koc A, Karaoglanoglu M, Erdogan M, Kosecik M, Cesur Y. Assessment of bone ages: is the Greulich-Pyle method sufficient for Turkish boys? *Pediatr Int*. 2001;43(6):662-5.
9. Schneirla TC. The concept of development in comparative psychology. En: Harris DB, editor. *The concept of development: An issue in the study of human behavior*. Minneapolis: University of Minnesota Press; 1957. p. 78-108.
10. Woolfolk A. Psicología educativa. México: Prentice-Hall Hispanoamericana SA; 1996. p. 26.
11. Gallahue DL. Understanding motor development: infants, children, adolescents. Indiana: Benchmark; 1989.
12. Lopes-Machado D, Barbanti V. Maturacao esquelética e crescimento em crianças e adolescentes. *Ver Bras Cineantropom. Desempenho Hum*. 2007;9(11):12-20.
13. Crain WC. Theories of development: concepts and applications. Prentice Hall.1992.
14. Gesell A. Maturation and the infant behavior pattern. *Psychological Review*.1929; 36(4):307-19.
15. Machado D, Botta-Bonfim M, Trevizan-Costa L. Pico de velocidade de crescimento como alternativa para classificação maturacional associada ao desempenho motor. *Rev Bras Cineantropom Desempenho Hum*. 2009; 11(1):14-21.
16. Stang J, Story M. Adolescent Growth and development. En: Stang J, Story M, editors. *Guidelines for Adolescent Nutrition Services*. Minnesota: University of Minnesota Press; 2005.
17. Carvalho H, Coelho-Silva M, Goncalves C, Philippaerts R, Castagna C, Malina R. Age-related variation of anaerobic power after controlling for size and maturation in adolescent basketball players. *Annals of Human Biology*. 2011;38(6):721-7.
18. Spear LP. The adolescent brain and age-related behavioral manifestations. *Neurosci Biobehav Rev*. 2000;24:417-63.
19. Malina RG. Biological maturity status of Young athletes. En: Malina RM, editor. *Young Athletes: Biological, Psychological, and educational perspectives*. Champaign: Human Kinetics; 1988:121-40.

20. De Onis M, Habicht JP. Anthropometric reference data for international use: recommendations from a World Health Organization Expert Committee. *Am J Clin Nutr.* 1996;64:650-8.
21. Marshall WA, Tanner JM. Variation in the pattern of pubertal changes in girls. *Arch Dis Childhood.* 1969;4:1:291-303.
22. Tanner JM. *Foetus into Man: Physical Growth from conception to Maturity*: London: Open Books; 1978:75-83.
23. Juliano-Burns S, Mirwald RL, Bailey DA. Timing and magnitude of peak height velocity and peak tissue velocities for early, average, and late maturing boys and girls. *Am J Hum Biol.* 2001;13:1-8.
24. Sun SS, Schubert CM, Chumlea WC, Roche AF, Kulin HE, Lee PA, Himes JH, et al. National estimates of the timing of sexual maturation and racial differences among US children. *Pediatrics.* 2002;110:911-9.
25. Cumming S, Gillison F, Sherar L. Biological maturation as a confounding factor in the relation between chronological age and health-related quality of life in adolescent females. *Quality of Life Research.* 2011; 20(2): 237-42.
26. Malina RM. Growth and maturation: do regular physical activity and training for sport have a significant influence. En: Armstrong N, van Mechelen W, editors. *Paediatric Exercise Science and medicine*. Oxford: Oxford University Press; 2000. p. 95-106.
27. Ré AHN, Bojikian LP, Teixeira PT, Bohme MTS. Relação entre crescimento, desempenho motor, maturação biológica e idade cronológica de jovens do sexo masculino. *Revista brasileira de educação física e esportes.* 2005;19(2):153-62.
28. Gesell A. The role of maturation in the patterning of behavior. En: Murchison C, editor. *A handbook of child psychology*, 2nd. ed rev. New York: Russell & Russell/Atheneum Publishers; 1933. p. 209-35.
29. Rogol A, Clark P, Roemmich J. Growth and pubertal development in children and adolescents: effects of diet and physical activity. *Am J Clin Nutr.* 2000;72(Suppl):521S-8S.
30. Tourinho-Filho H, Tourinho L. Crianças, adolescentes e atividade física: Aspectos maturacionais e funcionais. *Ver Paul Educ Fis Sao Paulo.* 1998; 12(1):1-84.
31. Malina RM. *Growth and development*. Mineapolis: Burgess; 1975.
32. Tanner JM. Earlier maturation in man. *Sci Am.* 1968;218(1):21-7.
33. Tanner JM. *Fetos into man: Physical growth from conception to maturity*. Cambridge, MA: Harvard University Press; 1989.
34. Bayley N. De accurate prediction of growth and adult height. *Moder problems in Pediatrics.* 1954;7:234-55.
35. Macgregor S, Cornes B, Martin N, Visscher P. Bias, precision and heritability of self-reported and clinically measured height in Australian twins. *Hum Genet.* 2006;120: 571-80.
36. Perola M, Sarmalisto S, Hiekkalinna T, Martin NG, Visscher PM. Combined Genome Scans for Body Stature in 6,602 European Twins: Evidence for Common Caucasian Loci. *PLoS Genet* 3: e97; 2007.
37. Luo ZC, Albertsson-Wikland K, Karlberg J. Target height as predicted by parental height in population-based study. *Pediatr Res.* 1998;44:563-71.
38. Tanner JM, Goldstein H, Whitehouse RH. Standards for children's height at ages 2 - 9 years allowing for height of parents. *Arch Dis Child.* 1970; 45:755-62.
39. Tanner JM. *Growth at adolescence*, 2nd.ed. Oxford: Blackwell Scientific; 1962.
40. Ross WD, Marfell-Jones MJ. *Kinanthropometry*. En: MacDougall JD, Wenger HA, Geen HJ, editors. *Physiological testing of elite athlete*. London: Human Kinetics; 1991:223-308.
41. Khan KM, Miller BS, Hoggard E. Application of ultrasound for bone age estimation in clinical practice. *J. Pediatr.* 2009;154:243-13.
42. Mentzel HJ, Vogt S, Vilser C. Abschätzung des Knochenalters mit einer neuen Ultraschellmeto. *Forts Rontgenstr.* 2005;35(177):1699-705.
43. Roche AF, Chumlea WC, Thissen D. *Assessing skeletal maturity of the hand-wrist: FELS method*. Springfield: Charles C Thomas Publisher; 1988. p. 41-7.
44. Beunen GP. Biologic age in pediatric exercise research. En: Bar-Or, editor. *Advances in Pediatric Sport Sciences*. Champaign, IL: Human Kinetics; 1989. p. 1-39.
45. Ogodescu AE, Bratu E, Tudor A, Ogodescu A. Estimation of child's biological age based on tooth development. *Rom J Leg Med.* 2011;19:115-24.
46. Izquierdo M, Ibañez J. Crecimiento y maduración del deportista joven. Aplicación para el desarrollo de la fuerza (resumen). *Publice Premium.* 25/04/2007. Pid: 808.
47. Baxter-Jones A, Eisenmann J, Sherar L. Controlling for maturation in pediatric exercise science. *Peditric Exercise Science*, Amsterdam. 2005;17: 18-30.
48. Peres-Klug D, Santos da Fonseca P. Análise da maturação feminina: um enfoque na idade de ocorrência da Menarca. *R. da Educação Física/UEM. Maringá,* 2006;17(2):139-47.
49. Pereira-Viera S. Correlação entre a idade cronológica e a mineralização do terceiro molar através do método de Demirjian. *Disertacao de Mestrado em Medicina dentaria. Faculdade de ciências da saúde/Universidade Fernando Pessoa, Porto* 2001.
50. Kvaal S, Kolltveit-Thomsen I, Solheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Science International.* 1995;74:175-85.
51. Prieto J, Barbería E, Ortega R, Magaña C. Evaluation of chronological age base don third molar development in the Spanish population. *International Journal of Legal Medicine.* 2005;119:349-54.
52. Acharya A. Accuracy of predicting 18 years of age from mandibular third molar development in an Indian samples using Demirjian's ten-stage criteria. *International Journal of Legal Medicine.* 2010.
53. Rai B, Kaur J, Jafarzadeh H. Dental age estimation from the developmental stage of thrd molars in Iranian population. *Journal of Forensic and Legal Medicine.* 2010;17:309-11.
54. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new sistem of dental age assessment. *Hum Biol.*1973;45:211-27.
55. Butti AC, Clivio A, Ferraroni M, Spada E, Testa A, Salvato A. "Haavikko's method to assess dental age in Italian children", *European Journal of Orthodontics.* 2009;31:211-27.
56. Ogodescu A, Ogodescu A, Szabo K, Tudor A, Bratu E. Dental Maturity a biologic indicator of chronological age: Digital radiographic study to assess Dental age in Romanian children. *International Journal of Biology and Biomedical engineering.* 2011;1(5).
57. Dimeglio A. Growth in Pediatric Orthopaedics. *J Pediatr Orthop.* 2001; 21(4).
58. Hagg U, Taranger J. Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1982;82(4):299-309.
59. Gong EJ, Heald FP. Diet, nutrition and adolescence. En: Shils ME, Olson JA, Shike M, editors. *Modern nutrition in health and disease*. Philadelphia: Lea & Febiger; 1994. p. 759-69.
60. Neinstein LS. Adolescent health care: a practical guide. En: Neinstein LS, Kaufman FR, editors. *Abnormal growth and development*. Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins; 2002.
61. Domínguez La Rosa P, Espeso-Gayte E. Bases fisiológicas del entrenamiento de la fuerza con niños y adolescentes. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.*2003;3(9): 61-8.
62. Ceglia A. Indicadores de maduración de la edad ósea, dental y morfológica. *Revista Latinoamericana de Ortodoncia y Odontopediatría.* 2005;1-11.
63. Gertych A, Zhang A, Sayre J. Bone age assessment of children using a digital hand atlas. *Computerized Medical Imaging and Graphics.* 2007;31: 322-31.
64. Greulich WW, Pyle SI. *Radiographic atlas of skeletal development of hand wrist.* 2ed ed. Stanford, CA: Stanford University Press; 1971.
65. Ross WD, Marfell-Jones RJ. *Cinanthropometria*. En: Duncan J, MacDougall H, Wenger A, Green HJ, editors. *Evaluación fisiológica del deportista*. Barcelona: Paidotribo; 1995.
66. García de la Rubia S, Santoja-Medina F, Pastor-Clemente A. Valoración de la edad ósea. Su importancia en medicina del Deporte. *Ortopedia.* 1998; 7(3):160-8.
67. Sarria A, Moreno L, Bueno M. Análisis del atlas de Greulich y Pyle mediante los métodos TW2 y TW2-A. *An Esp Pediatr.* 1986;24(2):105-10.
68. Hernández M, Sánchez E, Sobradillo B, Rincón JM, Narvaiza JL. A new method for assessment of skeletal maturity in the first 2 years of life. *Pediatr Radiol.* 1988; 18: 484-9.
69. Kelch RP, Beitins IZ. Adolescent sexual development. En: Kappy MS, Blizard RM, Migeon CJ, editors. *The diagnosis and treatment of endocrine disorders in childhood and adolescence.* 4th ed. Springfield, IL: Charles C Thomas; 1994:193-234.
70. Sherar LB, Baxter-Jones ADG, Mirwald RL. Limitations to the use of secondary sex characteristics for gender comparisons. *Annals of Human Biology.* 2004;31(5):586-93
71. Rogol A, Roemmich J, Clark P. Growth at Puberty. *Journal of adolescent health.* 2002;31:192-200.
72. Rosembloom A. Fisiología del crecimiento. *Ann Nestlé [Esp].* 2007;65:99-110.
73. Smith DW. *Growth and Its Disorders*. Philadelphia: Saunders; 1977.
74. Fleta J, Rodríguez G, Mur L, Moreno L, Bueno M. Tendencia secular del tejido adiposo corporal en niños prepúberes. *An Esp Pediatr.* 2000;52(2): 116-22.
75. Zhen-Wang B, Cheng-Ye J. Secular growth changes in body height and weight in children and adolescents in Shandong, China between 1939 and 2000. *Ann Hum Biol.* 2005;32(5):650-65.
76. Simsek F, Ulukol B, Gulnar SB. The secular trends in height and weight of Turkish school children during 1993-2003. *Child Care Health Dev.* 2005;31(4):441-7.
77. Chrzanowska M, Koziel S, Ulijaszek SJ. Changes in BMI and the prevalence of overweight and obesity in children and adolescents in Cracow, Poland, 1971- 2000. *Econ Hum Biol.* 2007;5(3):370-8.

78. Boddy LM, Hackett AF, Stratton G. Changes in BMI and prevalence of obesity and overweight in children in Liverpool, 1998-2006. *Perspect Public Health*. 2009;129(3):127-31.
79. Beunen GP, Rogol D, Malina R. Indicators of biological maturation and secular changes in biological maturation. *Food and Nutrition Bulletin*. 2006;27(4):244-56.
80. Freedman DS, Khan LK, Serdula MK, Dietz WH, Srinivasan SR, Berenson GS. The relation of menarcheal age to obesity in childhood and adulthood: the Bogalusa Heart Study. *BMC Pediatr*. 2003;3:3.
81. Adair L, Gordon-Larsen P. Maturation timing and overweight prevalence in US adolescent girls. *Am J Public Health*. 2001;91:642-4.
82. Forbes GB. Influence of nutrition. En: Forbes GB, editor. *Human Body composition: growth, aging, nutrition and activity*. New York: Springer-Verlag; 1987;209-47.
83. Simondon KB, Simondon F, Simon I, Diallo A, Benefice E, Traissac P, et al. Preschool stunting, age at menarche and adolescent height: a longitudinal study in rural Senegal. *Eur J Clin Nutr*. 1998;52:412-8.
84. Torun B, Davies PS, Livingstone MB, Paolisso M, Sackett R, Spurr GB. Energy requirements and dietary energy recommendations for children and adolescents 1 to 18 years old. *Eur J Clin Nutr*. 1996;50(Suppl 1):S37-81.
85. Golden MH. The role of individual nutrient deficiencies in growth retardation of children as exemplified by zinc and protein. En: Waterlow JC, editor. *Linear growth retardation in less developed countries*. New York: Raven Press; 1988. p. 143-63.
86. Chen P, Soares AM, Lima AA, Gamble MV, Schorling JB, Conway MV, et al. Association of vitamin A and zinc status with altered intestinal permeability: analyses of cohort data from northeastern Brazil. *J Health Popul Nutr*. 2003;21:309-15.
87. Tremblay A. Dietary fat and body weight set point. *Nutr Rev*. 2004; 62(7 pt 2):S75-7.
88. Committee FAO/WHO/Unicef. Committee of experts in nutrition, Methodology of nutrition vigilance. WHO, series of technical information, n°593, Ginebra;1976.
89. Malina RM. Crescimento de crianças latino-americanas: comparações entre os aspectos socioeconômicos, urbano-rural e tendência secular. *Revista Brasileira de Ciência e Movimento*. 1990;4(3):46-75.
90. Bielicki T, Welon Z. Growth data as indicators of social inequalities: the case of Poland. *Yearb Phys Anthropol*. 1982;25:153-67.
91. Martorell R, Mendoza F, Castillo R. Poverty and stature in children. En: Waterlow JC, editor. *Linear growth retardation in less developed countries*. New York: Raven Press; 1988. p. 57-70.
92. Blakely T, Hales S, Kieft C, Wilson N, Woodward A. The global distribution of risk factors by poverty level. *Bull World Health Organ*. 2005;83: 118-26.
93. Koziel S, Lipowicz A. Concurrent Effect of Social Factors and Maturity Status on Height and BMI of Adolescent Girls. *J Life Sci*. 2009;1(2):133-7.
94. Rowland TW. *Developmental exercise physiology Champaign*. Human Kinetics. 1996.
95. Ara I, Rodríguez GV, Ramírez JJ, Dorado C, Sánchez JAS, Calbet JAL. Regular participation in sports is associated with enhanced physical fitness and lower fat mass in prepubertal boys. *Int J Obes*. 2004;28(1):1585-93.
96. Malina RM. Menarche in athletes: Asynthesis and hypothesis. *Ann Hum Biol*. 1983;10:1-24.
97. Malina RM. Physical growth and biological maturation of young athletes. *Exerc Sport Sci Rev*. 1994;22:389-433.
98. De La Paz MM. Child labor: its implications to nutrition and health in the Philippines. Ph.D. Dissertation. Ithaca, NY: Cornell University; 1990. p. 394.
99. Cameron JL. Nutritional determinants of puberty. *Nutr Rev*. 1996;54: S17-S22.
100. Warren MP. The effects of exercise on pubertal progression and reproductive function in girls. *J Clin Endocrinol Metab*. 1980;51:1150-7.
101. American Academy of Pediatrics. Committee on Sports Medicine and Fitness. *Intensive Training and Sports Specialization in Young Athletes*. Pediatrics. 2000;106(1).
102. American Medical Association/American Dietetic Association. *Targets for adolescents health: Nutrition and physical Fitness*. Chicago: American medical Association; 1991.
103. Crespo I, Valera J, Gonzales G, Guerra-García R. Crecimiento y desarrollo de niños y adolescentes a diversas alturas sobre el nivel del mar. *Acta Andina*. 1995;4(1):53-64.
104. Cossio-Bolaños MA, Arruda M, Núñez-Álvarez V, Lancho Alonso JL. Efectos de la altitud sobre el crecimiento físico en niños y adolescentes. *Rev Andal Med Deporte*. 2011;4(2):71-6.
105. Hass JD, Baker PT, Hunt EE. The effects of high altitude on body size and composition of the newborn infant in southern Peru. *Am J Phys Anthropol*. 1982;59:251-62.
106. Stinson S. The effect of high altitude on the growth of children of high socioeconomic status in Bolivia. *Am J Phys Anthropol*. 1982;59: 61-71.
107. Greksa L. Growth and development of Andean high altitude residents. *High Alt Med Biol*. 2006;7:116-24.