



Revista Andaluza de Medicina del Deporte

Rev Andal Med Deporte. 2011;4(2):71-76

www.elsevier.es/ramd



Revisión

Efectos de la altitud sobre el crecimiento físico en niños y adolescentes

M.A. Cossio-Bolaños^{a,b}, M. de Arruda^a, V. Núñez Álvarez^b y J.L. Lancho Alonso^b

^aDepartamento de Ciencias del deporte. FEF. Unicamp. Brasil.

^bDepartamento de Ciencias Morfológicas de la Facultad de Medicina. Universidad de Córdoba. España.

Historia del artículo:

Recibido el 12 de febrero de 2010

Aceptado el 11 de septiembre de 2010

Palabras clave:

Crecimiento.

Hipobaría.

Altitud.

Niños y adolescentes.

Key words:

Growth.

Hypobaría.

Altitude.

Children and adolescents.

RESUMEN

Las poblaciones que habitan en altitudes elevadas presentan un pequeño retardo en el crecimiento lineal y un mayor diámetro y circunferencia del tórax que los habitantes de regiones próximas al nivel del mar. Estas diferencias se atribuyen al fenómeno de la hipobaría, así como a factores socioeconómicos, nutricionales y ambientales. El propósito de la presente revisión es dar a conocer los efectos que produce la altitud y resumir las investigaciones que evalúan el impacto en elevadas altitudes sobre las variables del crecimiento físico. Dado que no existen estudios estandarizados que evalúen el crecimiento físico en poblaciones en proceso de crecimiento, se utilizan como norma los estudios realizados sobre el nivel del mar (Organización Mundial de la Salud y NCHS). Por lo tanto, es necesario desarrollar estudios en poblaciones de altitud que utilicen muestras representativas y puedan ser generalizables a este tipo de realidad.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

ABSTRACT

Effects of altitude on physical growth in children and adolescents

Populations living at high altitudes have a slight delay in linear growth and a larger diameter and chest circumference of the inhabitants of regions near the sea level. These differences are attributed to the phenomenon of hypobaría, as well as socioeconomic, nutritional and environmental. The purpose of this review is to show the effects that altitude and summarize the research evaluating the impact in high altitudes on the physical growth variables. Consequently there are no standardized studies to assess physical growth in population in the process of growth, thus using as a standard studies of sea level (World Health Organisation and NCHS). Therefore, it is necessary to develop studies in populations of altitude using representative samples and can be generalized to this type of reality.

© 2010 Revista Andaluza de Medicina del Deporte.

Correspondencia:

M.A. Cossio-Bolaños.

Av. Erico Verissimo 701.

Cidade Universitaria, CEP, 13083-851.

Campinas, SP; Brasil.

Correo electrónico: mcossio30@hotmail.com

Introducción

El crecimiento humano es un proceso dinámico y complejo que comienza con la fertilización del óvulo y se completa con la fusión de las epífisis y las metafisis de los huesos largos, que caracteriza la terminación de la adolescencia¹. Este proceso se produce en tres fases como son la infancia, niñez y adolescencia², terminando con el cierre de la senectud. Su valoración puede realizarse a través de medidas antropométricas, cuyas variables son aceptadas como importantes instrumentos en el control de la salud y evaluación del estado nutricional de los niños³, a la vez que permite evaluar el impacto de los factores ambientales y genéticos en la adaptación biológica de las poblaciones humanas, tanto del nivel del mar como de altitud. De hecho, los estudios referenciales, como los de la Organización Mundial de la salud (OMS) y NCHS, fueron desarrollados con base en poblaciones sobre el nivel del mar. Por lo que las observaciones, las mediciones y el uso de las gráficas de curvas estandarizadas no pueden utilizarse en poblaciones que habitan en altitud durante el proceso de crecimiento físico. A pesar de que muchos estudios tienen demostrado los efectos de la altitud sobre las características fisiológicas^{4,5} y sobre el crecimiento físico⁶⁻⁸. En este sentido, es necesario desarrollar estudios poblacionales que permitan proponer referencias internacionales oriundas para el 6% de la población mundial que vive en altitud. El patrón de crecimiento de los niños que habitan a gran altitud es muy sensible en comparación con los del nivel del mar, ya que algunos estudios tienen demostrado que los efectos de la hipobaría producen un retardo en el crecimiento lineal⁸⁻¹¹. También los fenómenos del estirón puberal, la maduración ósea y sexual parecen estar igualmente retrasados frente a las pautas de desarrollo general¹²⁻¹⁴.

Por lo tanto, el objetivo de la presente revisión es analizar los efectos que produce la altitud sobre las variables del crecimiento físico de niños y adolescentes, así como resumir las investigaciones que evalúan el impacto en elevadas altitudes.

Generalidades relacionadas con el crecimiento físico

Aspectos conceptuales

El crecimiento físico ha sido definido clásicamente por Meredith¹⁵, como la secuencia de modificaciones somáticas que sufre un organismo biológico en su historia de vida ontogenética o, alternativamente, como toda la serie de cambios anatómicos y fisiológicos que tienen lugar entre el comienzo de la vida prenatal y el cierre de la senectud. Este fenómeno biológico comprende el aumento en el número y tamaño de las células que componen los diversos tejidos del organismo¹⁶, a través del cual, los seres vivos, al mismo tiempo que incrementan su masa, maduran morfológicamente y adquieren progresivamente su plena capacidad funcional¹⁷. Este hecho se explica como resultado de tres procesos celulares, a saber, hiperplasia, hipertrofia y agregación^{18,19}. La hiperplasia se describe como el aumento en el número de células, la hipertrofia es el aumento en el tamaño de las mismas y la agregación es el incremento de la capacidad de los substratos intercelulares para agregarse a las células.

Durante las primeras 16 semanas de gestación el crecimiento fetal se caracteriza por los fenómenos de hiperplasia celular, seguida por la combinación de esta con la hipertrofia de la células (de 16 a 32 semanas de gestación). A partir de ese momento ocurre el aumento adicional de grasa y proteína, respectivamente. Es decir, el fenómeno de la agregación.

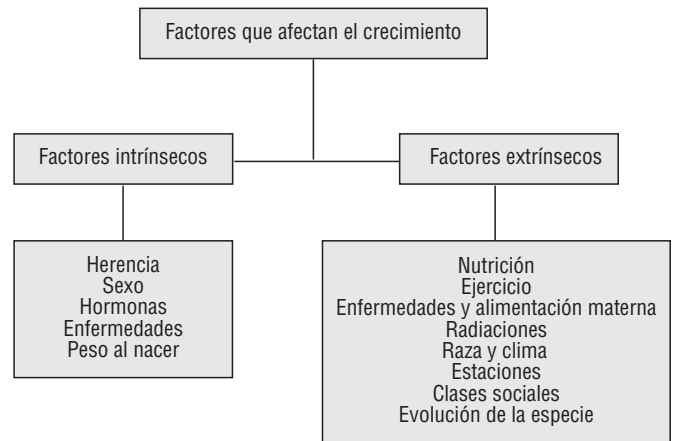


Fig. 1. Factores que afectan el crecimiento.

El crecimiento constituye un encadenamiento de fenómenos de orden celular, fisiológicos y morfológicos, predeterminados genéticamente y modificables por los fenómenos que traslucen al medio ambiente. Encadenamiento, donde el crecimiento y el desarrollo están íntimamente ligados como verdaderos procesos indisolubles. Craig²⁰ considera que el desarrollo se refiere a los cambios cualitativos que tienen lugar simultáneamente con los cambios cuantitativos del crecimiento, siendo por lo tanto, el resultado de las interacciones e intercambios entre el organismo y su medio ambiente²¹, respectivamente. Pues estos procesos van desde la concepción, pasando por la maduración, hasta la muerte.

Finalmente, con relación al análisis de las curvas de crecimiento de diferentes partes y órganos del cuerpo, Scamom²² hace más de 80 años presentó un esquema que facilita su interpretación, que se resume en cuatro patrones de crecimiento: curva general, curva neural, curva genital y curva linfoide. Estas curvas para algunos autores son el punto de partida en discusiones sobre el crecimiento físico^{18,23}, independientemente del sexo, raza y condición geográfica.

Factores que afectan

El crecimiento humano es un proceso dinámico y complejo, influido por factores genéticos, nutricionales, ambientales y hormonales¹. Estos se reflejan en factores intrínsecos y extrínsecos. Los intrínsecos están concentrados en el sistema neuro-endocrino, en el esqueleto y en la rigidez de los órganos efectores terminales y en las células. En este caso, el crecimiento puede ser influido por la herencia, las hormonas y las enfermedades. En el caso de los extrínsecos, podemos resaltar que abarcan una extensa gama de características ambientales, en el que el desarrollo del crecimiento depende mucho del potencial genético de la persona. Por ello, aspectos como la condición socioeconómica, actividad física, tendencia secular, alimentación pueden influir en los niños, adolescentes y adultos, así como también en condiciones medioambientales de baja, media y elevadas altitudes. Por lo tanto, desde esa perspectiva, se considera que la mezcla de distintos grupos, a partir de condiciones sociales similares, étnicas, alimenticias y bajo condiciones climáticas diversas, las características físicas se modifican, y se muestra un perfil poblacional que se diferencia de otros grupos humanos²⁴, como son los niños y adolescentes que viven en condiciones ambientales afectadas por la hipobaría (fig. 1).

Evaluación referencial del crecimiento

Para la evaluación del crecimiento físico es necesario tomar en consideración las medidas antropométricas, como estatura, peso corporal, circunferencias, pliegues cutáneos y diámetros óseos^{19,25}, aceptadas como importantes instrumentos en el control de la salud y evaluación del estado nutricional de los niños³. Los desvíos de normalidad, así como la detección y corrección de los problemas que interfieren en el crecimiento pueden corregir problemas de repercusiones futuras en la salud²⁶, y sirven para reflejar el estado de salud, estado social, y situación socioeconómica de las poblaciones³.

Por otro lado, los estudios referenciales que abarcan grandes poblaciones fueron desarrolladas en el nivel del mar^{10,27-30}, usando las normas internacionales como parámetro. Sin embargo, podemos destacar que el 93,8% de la población mundial vive por debajo de los 1.500 m sobre el nivel del mar (msnm), y solo el 6% en poblaciones de altitud³¹. Esta pequeña proporción de habitantes presenta diversas características geográficas, sociales, culturales, económicas, étnicas, entre otras, que son consideradas como heterogéneas para el resto del mundo. A su vez, podemos destacar que en México, el 50,5% de la población vive en ciudades de altitud (> 1.500 msnm)³¹. En el caso del Perú, el 33% vive por encima de los 3.000 msnm¹⁴. En Colombia, Ecuador, Bolivia, norte de Chile y nordeste de Argentina existen poblaciones que viven en ciudades de elevadas altitudes³², cerca de los 2.000 msnm.

Bajo esos argumentos, los estudios de la OMS³³ y NCHS³⁴ no pueden ser aceptados como normas referenciales de crecimiento en poblaciones como las anteriormente citadas, ya que los resultados de los procesos de evaluación y los puntos de corte pueden producir errores en la estimación, dado que algunos estudios tienen ampliamente demostradas diferencias con el patrón de referencia, tanto en niños, como en adolescentes y adultos que habitan en altitud^{9,35-40}. Por lo tanto, se sugiere generar estudios referenciales en poblaciones por encima de los 1.500 msnm, que den origen a sus propios patrones referenciales.

Efectos de la hipoxia sobre el crecimiento físico

Antecedentes

Desde muchos años atrás se estudia la respuesta adaptativa de la vida humana en elevadas altitudes⁴¹. Pues a través de la historia se conoce que antiguamente el ser humano vivía cerca del mar y poco o nada en la montaña, dado que el hombre llegó mucho más tarde a las regiones de altitud⁴², fruto de las continuas exploraciones de la época. Destacan algunos acontecimientos como el de Marco Polo en el Tíbet, donde sufrió algunos trastornos fisiológicos típicos de las ascensiones a las montañas. Así como también el de los frailes que llegaron a cristianizar las Américas, quienes fueron los primeros en dar las descripciones de los síntomas de la patología de altitud, comúnmente conocido como «mal de montaña». Estos hechos permitieron que hoy en día se interprete como adaptación⁶.

En las montañas de los Andes del Perú, los incas conocían perfectamente las distintas condiciones del organismo humano, tanto en altitud como en el nivel del mar⁴². Cuando los españoles llegaron al Perú en el año de 1533 a conquistar el Tawantinsuyo (Cuzco) al mando de Francisco Pizarro, se iniciaron una serie de exploraciones y durante el trayecto a Cuzco, los españoles percibieron que no podían continuar con el ascenso, ya que el equipo presentaba una serie de trastornos fisiológicos típicos de altitud;

es entonces cuando Pizarro ordenó acampar (adaptación) y permanecer unos días en mitad de camino, para luego continuar con el viaje.

Esos hechos sucedieron después de la conquista del Perú y quedaron marcados en la historia de la fisiología de altitud, como una forma de adaptación para las poblaciones de elevadas altitudes. En 1928, en Perú, el investigador Alberto Hurtado realizó las primeras investigaciones del mundo en altitud con relación al metabolismo en poblaciones nativas de los Andes⁴³. En la década de los 40, el médico Carlos Monge (hijo) trabajó bajo la orientación de Hurtado investigando el papel de la glucosa, el ácido láctico y el ácido pirúvico tanto en el nivel del mar como en altitud⁴⁴. Esto confirma que las primeras investigaciones relacionadas con la fisiología de la altitud fueron desarrolladas en el Perú.

Por lo tanto, esas regiones geográficas en la actualidad son consideradas multi-estresantes, al presentar características de temperatura ambiental fría, escasa humedad relativa, potente radiación solar y bajo nivel de oxígeno^{45,46}. Estas marcadas variaciones geográficas son un impedimento para el desarrollo social y económico de dichas poblaciones, al imposibilitar el mejoramiento de las condiciones de vida.

Clasificación de la altitud

Los criterios para la clasificación de la altitud muestran factores como la temperatura ambiental, latitud, susceptibilidad individual⁴⁷, pero también cabe señalar un criterio biológico, como la hipobaría (tabla 1).

Hipoxia

Las características multi-estresantes que presentan las regiones de elevadas altitudes pueden influir en muchos aspectos en las poblaciones que viven en esas zonas geográficas y el impacto puede ser observado en diferentes niveles de severidad¹⁶ y consecuentemente, se perciben causas de muerte muy precoz en niños³⁵⁻³⁷, ya que las poblaciones que experimentan mayores efectos son las regiones rurales que se encuentran ubicadas por encima de los 3.000 msnm. Estas poblaciones generalmente se encuentran asociadas a escasos recursos ecológicos y bajo nivel socioeconómico³², así como a condiciones medioambientales estresantes^{48,49} producidas por la hipobaría. En consecuencia, para ascender a elevadas altitudes es necesario de un periodo de aclimatación, hasta alcanzar la adaptación. Los estudios sostienen que las personas que nacieron y se desarrollaron en dichas regiones se adaptan completamente a la altitud^{50,51}, no así las personas que son del nivel del mar, las cuales no llegan a alcanzar dicha adaptación.

Efectos sobre el peso corporal y estatura

El crecimiento físico de los niños y adolescentes que viven en localidades de elevadas altitudes es objeto de estudio de muchos investigadores^{7,10,45,52,53}, cuya finalidad es estudiar el efecto de la altitud sobre el crecimiento físico humano⁵⁴. La mayoría de esos estudios reportan datos de crecimiento en peso corporal y estatura, de niños y adolescentes, utilizando como norma el nivel del mar^{27,29,30}.

Bajo esa perspectiva, se puede manifestar que en relación a investigaciones realizadas en países con variaciones geográficas de elevadas altitudes como el Perú y Bolivia se ha demostrado que la hipobaría está asociada a un pequeño retardo en el crecimiento físico^{33,45,55-57}, así como también limita el crecimiento físico lineal. Algunos estudios consideran que el mencionado efecto es relativamente pequeño^{40,56}.

Los niños que viven bajo estas condiciones de estrés ambiental generado por la hipobaría muestran reducido tamaño corporal en todas las

Tabla 1
Clasificación de la altitud

Nivel de altitud	(m)	Descripción
Muy elevada altitud	Más de 5.000	Vida permanente imposible
Elevada altitud	2.000-5.000	Se pueden observar modificaciones fisiológicas en reposo y muy acentuadas en ejercicios
Media altitud	1.000-2.000	Disminución del rendimiento físico
Baja altitud	0,00-1.000	No hay efecto fisiológico: ni en reposo ni en ejercicio

Tomada de Terrados-Cepeda⁵⁰.

edades después del nacimiento, a su vez también presentan una reducción porcentual en la velocidad del crecimiento, especialmente en la pubertad⁵⁸. Entretanto, resultados de otros estudios sugieren que pueden existir factores semejantes como el potencial genético, factores socioeconómicos, estado nutricional^{59,60} y eso puede ser una explicación para que las poblaciones por encima de los 3.000 msnm sean poco desarrolladas y normalmente presenten bajo nivel socioeconómico³², sobre todo cuando se trata de zonas rurales, en las que el contenido nutricional es pobre⁷ y presentan diferencias en el tipo de alimentación en relación con los habitantes del nivel del mar⁶¹.

Por otro lado, en un estudio realizado en niños a 2.320 msnm de Arequipa (Perú) se concluyó que los niños de condición socioeconómica media presentan menor estatura que los patrones de referencia y son más pesados, tanto en hombres y mujeres de 6 a 12 años⁸. De esa forma, el crecimiento físico en elevadas altitudes se ve afectado por un pequeño (1-4 cm) retardo sobre el crecimiento lineal y maduración esquelética y sexual^{40,56}, respectivamente.

Efectos sobre las proporciones corporales

Varias han sido las investigaciones con la intención de comprender los ajustes entre el medio ambiente y las variaciones biológicas y culturales de los habitantes de elevadas altitudes^{7,61}. Se han tratado de verificar los efectos de la altitud sobre las características fisiológicas^{3,37,50,57,62,63}, la composición corporal y la estructura somática⁵⁷ aunque se han encontrado pocos estudios relacionados con las proporciones corporales durante el proceso de revisión bibliográfica. El grado de conocimiento en esta área, aún poco explorada, es escaso, lo que abre nuevas posibilidades de estudio en esta área del crecimiento físico, incluidas variables físicas relacionadas con el rendimiento físico y la salud.

En relación con la descripción morfológica del tórax se considera que el cuerpo humano de los habitantes de altitud en respuesta a la hipobaría reparte más energía para el crecimiento del corazón y los pulmones, que al crecimiento somático⁷. Por ello, podría explicarse que niños y adolescentes de elevadas altitudes presentan diferencias significativas en la morfología del tórax en relación con niños del nivel del mar⁶⁴. Dado que autores como Moore et al⁴¹ consideran que grandes volúmenes del pulmón están asociados con el incremento del área superficial para el cambio gaseoso⁴¹ y este incremento se produce alrededor de los 11 años y aumenta hasta los 19 años⁶⁵, consecuentemente, los volúmenes pulmonares resultan de la exposición a elevadas altitudes durante la etapa del crecimiento y desarrollo físico⁴¹. Se ha determinado que la circunferencia del tórax en estos niños es entre un 12 y un 15% mayor comparados con niños americanos y peruanos del nivel del mar⁶⁶.

Por otro lado, pocos estudios han analizado pliegues cutáneos, circunferencias y diámetros óseos. Sin embargo, en un estudio realizado en el sur del Perú se compararon los diámetros del tórax anterior y transverso en niños y adultos de la costa (valle), de Tambo (nivel del mar) y Nuñoa (4.150 msnm), y se concluyó que los habitantes de altitud presentan mayores diámetros, y que probablemente esas diferencias se deban atribuir a orígenes medioambientales^{9,67}, es decir, por efectos de la exposición a la altitud.

En relación con los pliegues cutáneos y la circunferencia del brazo, que son utilizados como indicadores del estado nutricional⁵⁵, los estudios muestran valores inferiores del pliegue tricaptal y de la circunferencia del brazo en comparación con los habitantes de media altitud de 2-18 años⁶⁸. De la misma forma, se encontraron diferencias entre niños y adolescentes de zona urbana y rural (Tintaya-Marquiri)⁴⁵, con esas diferencias atribuidas al tipo de alimentación^{61,68}. Esto puede deberse a que la dieta de los habitantes de altitud (Andes) está basada en productos como el maíz, harina, tubérculos, carnes rojas, en diferente cantidad y calidad^{69,70}, mientras que los habitantes del nivel del mar (costa) se alimentan en función de los productos del mar⁶⁹. Esto refleja la pobre calidad de las dietas de las poblaciones rurales de altitud^{7,56}. La tabla 2 representa las investigaciones desarrolladas en altitud, estos estudios muestran poblaciones pequeñas, difíciles de generalizar a otras poblaciones o realidades. Es necesario investigar en mayor número de sujetos para aumentar el número de individuos y evitar sesgos en los resultados.

Finalmente, los estudios revelan que el pliegue cutáneo tricaptal y circunferencia del brazo en niños y adolescentes hombres y mujeres son menores con relación a los residentes de baja altitud^{45,68,71} o nivel del mar, ya que está demostrado que los habitantes de altitud presentan un metabolismo basal del 10%, mayor que los del nivel del mar. Por lo tanto, se produce un menor aporte calórico en los habitantes de altitud y consecuentemente, menor efecto en el crecimiento y desarrollo⁷² somático.

Conclusiones

- 1) Los niños y adolescentes de altas altitudes presentan un pequeño retardo en el crecimiento y desarrollo físico y probablemente en la maduración esquelética y sexual, esto se atribuye principalmente al fenómeno de la hipoxia y también a factores económicos y nutricionales.
- 2) Los habitantes de altura no presentan investigaciones referenciales de crecimiento físico.
- 3) La mayoría de los estudios presentan muestras pequeñas y solo verifican el efecto de la altitud, sin interesarse en estandarizar y desarrollar sus propios patrones referenciales en variables de crecimiento físico, composición corporal y de maduración.

Recomendaciones

- 1) Es necesario desarrollar estudios con el objetivo de investigar variables relacionadas con la maduración biológica y composición corporal que podrían explicar mejor el efecto de la hipoxia en niños y adolescentes.
- 2) Las organizaciones internacionales que desarrollaron las propuestas referenciales para evaluar el estado nutricional en poblaciones del nivel del mar deberían promover la creación y el uso de sus propios patrones referenciales en poblaciones de altitud.

Tabla 2
Relación de estudios realizados en diferentes niveles de altitud en poblaciones andinas

N	Población	Altitud (m)	Media de edad	DE	Edad (rango)	n	Estatura (cm)		Peso corporal (kg)	
							Media	DE	Media	DE
1	Andes	2.743-4541	27,6	1,6		28	157,6	1	54,3	1,1
2	Perú-Quechua	3.700	38,3	11,3	20-69	77	158,1	5,4	60,3	6,3
3	Ecuador Rural.	3.000-3.400	38,3	16		16	159	6,3	61,3	9,2
4	Mestizo	3.700	32	12		526	162	6	64	8
5	Bolivianos urbanos	3.712	34	0,7		32	168,5	0,8	60	1
6	Aymara Bolivian	3.752-3.980	21,1			95	160,9	5,4	57,1	6,4
7	Quechua (small size)	3.840	43	2,4		22	156,7	2,9	59,5	3,8
8	Quechua (large size)	3.840	21,3	1,6		18	166,8	2,3	66,2	4,3
9	Nuñoa	3.850-5.000	20,2		23+	101	159,1	5,7	60	7
10	Rural Bolivian Aymara	4.000-4.100			20-65	6	161,9	5,7	54,8	2,8
11	Peruvian Quechua	4.000			22-36	22	158,8	5,9	53,7	3,6
12	Rural Bolivians	4.100	34,7	1,3		39	160,6	0,6	58,7	1,1
13	Chilean Aymara	4.000-4.500	44			70	162,9	4,5	61,1	7,2
14	Peruvian Quechua	>4.500			22-35	22	159	4,5	57,5	5,3
15	Bolivianos	3.700			20-45		160,1	5,8	57,3	5,4
16	Perú (Arequipa) Hombres	2.320	9	2,16	5,50-12,49	473	130,1	5,43	30,33	4,1
	Perú (Arequipa) Mujeres	2.320	9	2,16	5,50-12,49	482	133,54	5,32	31,98	4,31

1: Picón-Reategui et al²²; 2: Tosselli, et al²⁷; 3: Leonard et al¹³; 4: Tuffs⁷³; 5: Frisancho et al¹²; 6: Mueller et al²⁹; 7: Frisancho et al⁵³; 8: Frisancho et al⁵³; 9: Leatherman et al²⁴; 10: Kashiwazaki et al⁷⁵; 11: Frisancho, Baker²⁷; 12: Frisancho et al¹²; 13: Mueller et al⁷⁶; 14: Frisancho, Baker²⁷; 15: Leatherman et al⁷⁷; 16: Cossio-Bolaños et al⁸.

DE: desviación estándar

Bibliografía

- Rosenbloom A. Fisiología del crecimiento. Ann Nestlé (Esp). 2007;65:99-110.
- Cameron N. Growth patterns in adverse environments. Am J Hum Biol. 2007;19:615-21.
- Onis M, Habicht JD. Anthropometric reference data for international use; recomendations from a world health organization expert committee. Am J Clin Nutr. 1996;64:650-8.
- Beall CM, Goldstein MC. Hemoglobin concentration, percent oxygen saturation and arterial oxygen content of Tibetan nomads at 4850 to 5450 m. En: Sutton JR, Coates G, Remmers JE, editores. Hypoxia: The adaptations. Toronto: B.C. Decker Inc.; 1990. pp. 59-65.
- Tarazona-Santos E, Lavine M, Pastor S, Fiori G, Pettener D. Hematological and pulmonary responses to high altitude in Quechuas: a multivariate approach. Am J Phys Anthropol. 2000;111:165-76.
- Beall CM. Adaptations to altitude: a current assessment. Annu Rev Anthropol. 2001;30:423-56.
- Weinstein K. Thoracic skeletal morphology and high-altitude hypoxia in Andean Prehistory. Am J Phys Anthropol. 2007;134:36-49.
- Cossio-Bolaños MA, Arruda M, Gómez R. Crecimiento físico en niños de 6 a 12 años de media altura de Arequipa - Perú (2.320 msnm). Rev Inter Ciencias Deporte. 2009;14:32-44.
- Beall C, Baker PT, Baker TS, Haas JD. The effects of high altitude on adolescent growth in southern Peruvian Ameridians. Human Biology. 1977;49:109-24.
- Stinson S. The physical growth of high altitude Bolivian Aymara children. Am J Phys Anthropol. 1980;52:377-85.
- Pawson I, Huicho L, Muro M, Pacheco A. Growth of children in two economically diverse Peruvian high-altitude communities. Am J Phys Anthropol. 2001;13:323-40.
- Frisancho AR, Frisancho HG, Milotich M, Brutsaert T, Albalak R, Spielvogel H, et al. Developmental, genetic, and environmental components of aerobic capacity at high altitude. Am J Phys Anthropol. 1995;96:431-42.
- Leonard WR, Leatherman TL, Carey JW, Thomas RB. Contributions of nutrition versus hypoxia to growth in rural Andean populations: Am J Hum Biol. 1990;2:613-26.
- Lomaglio DB, Marrodán MD, Verón JA, Díaz MC, Gallardo F, Alba JA et al. Peso al nacimiento en comunidades de altura de la Puna Argentina: Antofagasta de la Sierra (Catamarca). Antropol. 2005;9:61-70.
- Meredith HV. Toward a working concept of physical growth. Am J Orthodon Oral Surg. 1945;31:440-58.
- Layman DK, Hegarty PVJ, Swan PB. Comparison of morphological and biochemical parameters of growth in rat skeletal muscles. J. Anat. 1980;130:159-71.
- Hernández M. Fisiología y valoración del crecimiento y la pubertad. Pediatr Integral. 2007;XI:471-84.
- Malina RM, Bouchard C. Growth maturation and physical activity. Campaign: Human Kinetics; 1991.
- Torres Serrano AS. Crecimiento y desarrollo. Rev Mex Med Física Rehab. 2002;14:54-7.
- Craig J. Human Development. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, Inc.; 1983.
- Sanden Vandcr WJ. Human Development. New York: Refred A Knopg, Inc.; 1989.
- Scammon RE. The first seriatim study of human growth. Am J Phys Anthropol. Philadelphia. 1927;10:329-36.
- Tanner JM. Use and abuse of growth standards. En: Falkner F, Tanner JM, editores. Human growth. Plenum Publishing Corporation N.Y.;1986. pp. 95-109.
- Serrano-Sánchez C. La antropometría de Daniel Vergara Lope. Valorar con parámetros propios. Gac Med Mex. 2004;140.
- Arruda M. Factores de crecimiento físico y aptitud física en pre-escolares. Rev Bras Ciencia Mov. 1993;1:73-82.
- Jeong BY, Park YS. Sex differences in anthropometry form school furniture desing. Ergonomics. 1990;33:1511-821.
- Frisancho AR, Baker PT. Altitude and growth: a study of the patterns of physical growth of a high-altitude peruvian Quechua population. Am J Phys Anthropol. 1970;32:279-92.
- Frisancho AR. Human growth and development among high altitude populations. En: Baker PT, editor. The Biology of High Altitude Peoples. International Biological; 1978.
- Mueller WH, Scull VN, Schull WJ, Soto P, Rothhammer F. A multinational Andean genetic and health program: growth and development in a hypoxic environment. Ann Hum Biol. 1978;5:329-52.
- Greksa LP, Spielvogel H, Paredes-Fernández L, Paz-Zamora M, Caceres E. The physical growth of urban children at high altitude. Am J Phys Anthropol. 1984;65:3315-22.
- Ponce de León S. The WHO Multicentre growth reference study and altitude above sea level. An example of hyposometric bias. High Altit Med Biol. 2008;9:249-51.
- Moreno Romero S, Madorran Serrano M D, Bejarano I, Dipierri J. Crecimiento longitudinal en poblaciones de alturas andinas. Existe un patrón propio de estos sistemas. Rev observatorio medio ambiental. 2006;9:155-69.
- Organización Mundial de la Salud: Medición del cambio del estado nutricional. Ginebra: OMS; 1983.
- NCHS: Growth curves for children - 18 years. Vital and Health Statiscs. DNEW, Publii, (PHS); 1978. Serie 165.
- Mazess RB. Neonatal mortality and altitude in Peru. Am J Phys Anthropol. 1965;23:209-13.
- Hoff C. Reproduction and viability in highland Peruvian indian populations. High Altitude Adaptation in a Peruvian Community. Occasional Papers in Anthropology No. 1, Department of Anthropology. University Park, Pa: Pennsylvania State: University Press; 1968.
- Baker PT, Dutt JS. Demographic variables as measures of biological adaptations: A case study of high altitude populations. In the Structure of Human Populations. 1972.
- Baker PT. Adventures in human population biology. Ann Rev. Anthropol. 1996;25:1-18.
- Clegg EJ, Pawson IG, Asthon EH, Flinn RM. The growth of children at different altitudes in Ethiopia. Philosophical Transactions of the Royal Society. B. 1972;264:403-37.
- Greksa L. Growth and development of Andean high altitude residents. High Alt Med Biol. 2006;7:116-24.
- Moorel, Niermeyers, Zamudio S. Human adaptation to high altitude: Regional and life-cycle perspectives yearbook of physical. Anthropol. 1998;41:25-64.

42. Castelló-Roca A. Hombre, montaña y medicina. Barcelona: Generalitat de Cataluña; 1993.
43. González F. Metabolismo en las grandes alturas. *Acta Andina*. 2001;9:31-42.
44. Leon Velarde C. Homenaje al profesor Emilio Marticorena. *Anal Med Socorro Montaña*. 2007;5:4-5.
45. Pawson I, Huicho L, Muro M, Pacheco A. Growth of children in two economically diverse Peruvian high-altitude communities. *Am J Phys Anthropol*. 2001;13:323-40.
46. Frisancho R. Ecological interpretation of postnatal growth at high altitude. En: *Environmental and human population problems at high altitude*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique; 1981. pp. 87-93.
47. Terrados-Cepeda N. Fisiología del ejercicio en altitud. En: *Gonzales-Gallego J, editor. Fisiología de la actividad física y del deporte*. España: Editorial Inter-americana; 1992. pp. 287-98.
48. Mazeo RS. Physiological responses to exercise at altitude. *Sports Med*. 2008;38:1-8.
49. Pawson IG, Jest C. The high altitude areas of the world and their cultures. En: *Baker PT, editor. The biology of high altitude peoples*. Cambridge: Cambridge University press; 1978. pp. 1-16.
50. Baker L, Ultman I, Rhoaders R. Simultaneous gas flow and diffusion in a symmetric airway system: a mathematical model. *Resp Physiol*; 1974;21:119-38.
51. Lahari S, Kao FF, Velasquez T. Respiration of man during exercise at high altitude, difference between highlander and lowlander. *Resp Physiol*. 1970.
52. Meer K, Bergaman JS, Voorhoeve HW. Differences in physical growth of Aymara and Quechua children living at high altitude in Perú. *Am J Phys Anthropol*. 1993;90:59-75.
53. Frisancho AR, Borkan GA, Klayman JE. Pattern of growth of lowland and highland Peruvian Quechua of similar genetic composition. *Human Biology*. 1975;47:233-43.
54. Obbert P, Fellmanni G, Falgairrettei M, Bedu E, Van Praagh H, Kempers B, et al. The important of socioeconomic and nutritional conditions rather than altitude on the physical growth of pre-pubertal Andean highland boys. *Ann Human Biology*. 1994;21:145-54.
55. Leonard WR. Nutritional determinants of high altitude growth in Nuñoa, Perú. *Am J Phys Anthropol*. 1989;80:341-52.
56. 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.
57. Toselli S, Tarazona-Santos E, Pettener D. Body size, composition, and blood pressure of high-altitude quechua from the Peruvian Central Andes. *Am J Hum Biol*. 2001;13:539-47.
58. 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.
59. Hoff C. Altitudinal variations in the physical growth and development of Peruvian Quechua. *Homo*. 1974;24:87-99.
60. Malina RM. Growth of children at different altitudes in Central and South America. *Am J Phys Anthropol*. 1974;40:144-53.
61. Weinstein KJ. Body proportions in ancient Andeans from high and low altitudes. *Am J Phys Anthropol*. 2005;128:569-85.
62. Greksa LP, Beall CM. Development of chest size and lung function at high altitude. En: *Little MA, Hass JA, editores. Human Biology*. 1989.
63. Khalid M. Anthropometric comparison between high-and low-altitude Saudi Arabians. *Ann Human Biology*. 1995;22:459-65.
64. Stinson S. Chest dimensions of European and Aymara children at high altitude. *Ann Human Biology*. 1985;12:333-8.
65. Greksa LP, Spielvogel H, Caceres E. Total lung capacity in young highlanders of Aymara ancestry. *Am J Phys Anthropol*. 1994;94:477-86.
66. Frisancho AR. Human growth and pulmonary function of high altitude Peruvian Quechua population. *Human Biology*. 1969;41:365-79.
67. Rupert J, Hochacka P. The evidence for hereditary factors contributing to high altitude adaptation in Andean natives: a review. *High Altit Med Biol*. 2001;2:235-56.
68. Tripathy V, Gupta R. Growth among Tibetans at high and low altitudes in India. *Am J Hum Biol*. 2007;2:37-51.
69. Moseley ME. *The Incas and their ancestors*. 2nd ed. London: Thames and Hudson; 2001.
70. Nuñez AL. *Cultura y conflicto en los oasis de San Pedro de Atacama*. Santiago de Chile: Editorial Universitaria; 1991.
71. WHO. *Physical status: The use and interpretation of anthropometry*. Report of a WHO expert committee. Geneva: World Health Organization; 1995.
72. Picon-Reategui E, Lozano R, Valdivieso J. Body composition at sea level and high altitudes. *J Appl Physiol*. 1961;16:589-92.
73. Tufts DA, Haas JD, Beard JL, Spielvogel H. Distribution of hemoglobin's and functional consequences of anemia in adults males at high altitude. *Am J Clin Nutr*. 1985;42:1-11.
74. Leatherman TL, Carey JW, Brooke TR. Socioeconomic changes and pattern of growth in the Andes. *Am J Phys Anthropol*. 1995;97:307-22.
75. Kashiwazaki H, Dejima Y, Orias-Rivera J, Coward WA. Prediction of the total body water and fatness from anthropometry: Importance of skinfold measurements. *Am J Hum Biol*. 1996;8:331-40.
76. Mueller WH, Hurillo F, Palaminoh, Badzioch M, Chakraborty R, Fuerst P, et al. The Aymaras of Western Bolivia: V. Growth and development in an hypoxic environment. *Human Biology*. 1980;52:529-46.
77. Leatherman TL, Brooke TR, Greksa LP, Haas JD. Anthropometric survey of high altitude Bolivian porters. *Ann Hum Biol*. 1984;11:253-6.