

LA INFLUENCIA DE LA ALTURA SOBRE EL HOMBRE ¹

Dr. Alberto Hurtado ²

La hipoxia plantea un problema de consideración a las personas que viven a grandes alturas, así como a las que sufren de diversas enfermedades respiratorias, cardiovasculares, hematológicas y de otra naturaleza. Este artículo examina los conocimientos acerca de las adaptaciones logradas por los habitantes permanentes de las regiones de gran altura y señala algunos aspectos sobre los que se requiere más información. El trabajo fue presentado originalmente en Ginebra como la Cuarta Conferencia de la Fundación Jacques Parisot.

Constituye un honor, que aprecio en todo su elevado significado, presentar a esta Asamblea, de tan alta jerarquía y prestigio internacional, la consideración de un tema que aparte de sus aspectos médicos, en los campos de la fisiología, la clínica y la sanidad, tiene implicaciones biológicas relacionadas con una parte importante de la población mundial. Agradezco, muy sincera y profundamente, al Comité de la Fundación Jacques Parisot la distinción de haberme designado para dar esta conferencia que lleva el nombre de un ilustre médico y sanitarista, cuya vida, con certera visión y habilidad, fue dedicada al conocimiento y al progreso de la medicina social en el mundo. Rindo mi modesto homenaje a su memoria y a los hombres que, con mayores méritos, me anti-

ciparon en ocupar esta tribuna con idéntica misión.

La población mundial crece aceleradamente y en un futuro, aparentemente no muy lejano, será necesario utilizar, para el habitat del hombre, regiones con factores ambientales adversos que demanden mecanismos adaptativos y de protección para que el habitante desarrolle una vida útil y activa. Una de estas regiones corresponde a la altura, cuya influencia sobre el ser humano y otras especies de animales inferiores en la escala biológica, se ha convertido, en las últimas décadas, en campo importante de investigación en muchos países, y que ha merecido el apoyo y la colaboración mundial, representada por el Programa Internacional de Biología.

La primera referencia histórica que debo mencionar en este campo de trabajo se remonta a hace casi cuatro siglos, cuando el Padre Acosta, misionero jesuita que acompañaba a los ejércitos españoles en su intento de conquista de los grandes dominios del Perú incaico. Este religioso describió en forma clara y precisa los síntomas que experimentaba al ascender a las altas regiones andinas y, con sorprendente intuición, atribuyó su origen a la calidad del aire que respiraba, al que calificó de "delicado y sutil". Transcurrieron tres siglos para que Paul Bert, eminente fisiólogo francés, experto

¹ Para perpetuar la memoria del Profesor Jacques Parisot, Presidente de la Novena Asamblea Mundial de la Salud, la Sra. viuda de Parisot creó una Fundación administrada por el Director General de la OMS, que tiene por objeto organizar conferencias sobre temas científicos, con ocasión de las reuniones de la Asamblea Mundial de la Salud. El presente trabajo corresponde a la cuarta de esas conferencias, pronunciada en Ginebra el 17 de mayo de 1972, en el curso de la 25^a Asamblea Mundial de la Salud. Publicado también en inglés en el *Bulletin of the Pan American Health Organization*, Vol. VI, No. 3, 1972, págs. 37-42.

² Ex Rector de la Universidad Peruana Cayetano Heredia y ex Decano de la Facultad de Medicina de dicha Universidad y de la Facultad de Medicina de la Universidad de San Marcos, Perú. Graduado en medicina en la Universidad Harvard, el Dr. Hurtado se ha distinguido por su trabajo sobre la fisiología y la patología humanas a grandes altitudes. Es actualmente consultor en el Instituto de Investigaciones de la Altura de la Universidad Peruana Cayetano Heredia.

en procedimientos experimentales, proporcionara a la ciencia la explicación adecuada de esta certera suposición al atribuir a la disminución de la presión barométrica los efectos más importantes de la altura sobre el organismo humano. Hoy es conocido que esta disminución hace menor la presión parcial del oxígeno en el aire inspirado. Como consecuencia, la sangre venosa que circula por los pulmones, a su retorno de los tejidos adquiere por difusión una menor cantidad de este gas, lo que ocasiona una condición denominada "hipoxia", que consiste en una disminuida saturación de la hemoglobina de la sangre con oxígeno y una menor tensión de la pequeña fracción de este gas físicamente disuelto en el plasma. En esta condición se hace más difícil el aprovisionamiento de oxígeno a los tejidos y su utilización por las células metabólicamente activas, que tienen que liberar la energía necesaria para el mantenimiento de la vida. Existen también otros factores ambientales que afectan la fisiología del hombre en las grandes alturas, tales como el frío, la disminuida densidad del aire y la mayor potencia de la luz ultravioleta, pero es la hipoxia, o dificultad en la adquisición y utilización de oxígeno, el más trascendente y el más estudiado, y el que requiere procesos adaptativos para ser tolerado con éxito. Esto ocurre cuando la elevación excede el nivel de tres mil metros y, con mayor urgencia y severidad, cuando es superior a los cuatro mil metros. No se sabe con exactitud el número de individuos que en el mundo están expuestos a esta influencia ambiental, pero se estima en veinte a treinta millones, distribuidos especialmente en las altas zonas andinas del Perú y Bolivia en América, y en la región del Himalaya, al norte de la India, en Asia. El estudio médico de la altura no tiene pues un carácter exótico y limitado, como fue considerado en tiempos pasados cuando eran escasos los investigadores interesados en dicho problema. En realidad, la altura constituye un desafío biológico rela-

cionado con un vasto núcleo de la población mundial.

Por investigaciones iniciadas en forma sistemática por Monge en el Perú, hace más de cuarenta años, y continuadas y ampliadas por numerosos investigadores, sabemos que los habitantes andinos exhiben características morfológicas, funcionales y químicas que explican su alto grado de tolerancia y aclimatación al ambiente de presión disminuida, y que los diferencian en muchos aspectos de lo que consideramos como fisiológico, y por lo tanto normal, al nivel del mar. Estamos inclinados a pensar que el concepto de aclimatación a la altura, o sea a una presión barométrica disminuida, debe sólo aplicarse al comportamiento del hombre que nace y vive permanentemente en ese ambiente, concepto que con frecuencia es olvidado por numerosos investigadores que utilizan el término de aclimatación para describir o interpretar los hallazgos en estudios de poca duración, en los que se utiliza cámaras en las que la presión ambiental se disminuye experimentalmente. Además, en estos estudios, con frecuencia la disminución experimental en la presión llega a límites que indudablemente exceden las reservas del organismo para tolerarla, lo que origina deterioro más que tolerancia o aclimatación.

Creemos justificado intentar una breve enumeración de las características más importantes del hombre nativo y habitante de la altura. Dichas características revelan las enormes reservas que tiene el organismo humano para vivir en equilibrio y armonía, no sólo con los factores constantemente cambiantes del medio interno, sino también con aquellos de naturaleza externa, es decir ambiental. Ya tenemos a nuestra disposición en este campo una amplia y sólida bibliografía científica, aportada por numerosos investigadores de diferentes nacionalidades. Pero la brevedad del tiempo disponible sólo permite una discusión panorámica y superficial a este respecto.

El hombre de la altura, en reposo y en actividad física, tiene una mayor ventilación pulmonar que el hombre del llano y de la costa en condiciones similares, o sea que en un tiempo dado entra y sale de los pulmones un elevado volumen de aire, y este proceso compensa en parte la caída de la presión parcial del oxígeno en el aire inspirado. En los pulmones también operan factores que favorecen el intercambio gaseoso entre aire y sangre, pues las cavidades alveolares están dilatadas y la red vascular contiene una mayor cantidad de sangre circulante. En este último medio, es decir en la sangre, hay un marcado aumento en la hemoglobina que es el vehículo transportador del oxígeno contenido en los glóbulos rojos. Esta sustancia, además de su incremento cuantitativo, exhibe modificaciones cualitativas en la adquisición de oxígeno. La curva de disociación de la oxihemoglobina está desviada a la derecha, lo que significa una menor afinidad por el oxígeno. Esta característica facilita la difusión del gas a los tejidos, donde es requerido y utilizado en el mantenimiento de la vida celular y en la liberación de energía. Y a este nivel, es decir en los tejidos, las investigaciones médicas recientes han revelado que en los nativos de la altura operan procesos adaptativos de fundamental importancia y de gran efectividad. Hay un incremento en el contenido de miohemoglobina y en el número de las estructuras responsables de la liberación de energía, así como cambios importantes en los procesos enzimáticos que regulan la utilización de oxígeno que llega a menor tensión.

Estas características, y otras del sistema cardiovascular, tales como la hipertrofia del corazón derecho, una moderada hipertensión en el circuito pulmonar y un mayor número de capilares en los tejidos, y del sistema endocrino, que mantiene una adecuada producción de hormonas, explican el alto grado de eficiencia que exhiben los habitantes nativos de la altura, aun en circunstancias en las que confrontan mayores exigencias fisiológi-

cas, tal como ocurre durante la actividad física.

Nuestros estudios han demostrado que los habitantes andinos, a pesar del adverso factor ambiental, son capaces de tolerar más tiempo, comparados con los habitantes del llano, una determinada actividad física experimental. Y esta mayor tolerancia está asociada a una menor producción de lactato y piruvato, que compensa la reducción de la capacidad amortiguadora de la sangre circulante, lo que indica, paradójicamente, que la vía metabólica utilizada es más aeróbica que anaeróbica.

El elevado y eficiente rendimiento físico del hombre andino, demostrado experimentalmente, puede también apreciarse en su actividad laboral. En las altas serranías del Perú se lleva a cabo una intensa actividad minera, y el hombre andino, nativo de este ambiente, soporta con gran eficiencia las severas demandas que le impone este trabajo, y lo hace siempre con mayor facilidad que el hombre originario y procedente de la costa, aunque la residencia de este último, en el elevado ambiente, corresponda a un tiempo largo. En otras palabras, la "aclimatación natural" del hombre andino, en nuestra experiencia es siempre superior y más perfecta que aquella que corresponde a la "aclimatación adquirida". Hay evidencia experimental para esta afirmación. Nosotros hemos llevado sujetos de la costa a la altura, y los hemos estudiado durante períodos que correspondían a un año de permanencia continua, y aun después de este tiempo su rendimiento físico fue notablemente inferior al encontrado en el habitante nativo de la altura.

Es interesante mencionar que el alto grado de aclimatación al medio ambiente de altura, exhibido por el hombre que nace y vive permanentemente bajo su influencia, no ha sido unánimemente reconocido por todos los investigadores que han estudiado este problema en el pasado. Jourdanet, en el último siglo, después de estudiar a los habitantes de las altiplanicies mexicanas, concluyó que

estos se caracterizaban por una "marcada debilidad", opinión que fue rebatida con éxito por Herrera y Vergara Lope en una clásica obra titulada *La vida sobre las altas planicies* y que fue publicada en México en 1899. Barcroft, eminente fisiólogo inglés que visitó e investigó por un corto tiempo las regiones andinas del Perú, hace cerca de treinta años, opinó que el habitante nativo del Cerro de Pasco, ciudad minera situada a 4,300 metros de altura, era un sujeto con limitada capacidad mental y física. Es evidente, a juzgar por los resultados obtenidos en las investigaciones y estudios realizados en los hombres de altura, que tales opiniones son totalmente erradas y, por lo tanto, inaceptables. Es cierto que el habitante de zonas elevadas, que superan un nivel de tres a cuatro mil metros, no tiene las características fisiológicas descritas como normales en los textos de fisiología, pero tenemos que aceptar que su comportamiento, en reposo y en actividad mental o física, demuestra un perfecto equilibrio con las adversas condiciones ambientales. Más aún, en ciertas circunstancias el nativo de la altura tiene un mejor comportamiento y rendimiento frente a situaciones que exigen poner en juego los mecanismos de reserva del organismo. Tal hecho ocurre, por ejemplo, durante la actividad física cuando esta tiene un grado severo.

En el campo de la ciencia y en el avance de los conocimientos, muy pocas veces, o en ninguna ocasión para expresarlo con mayor certeza, puede afirmarse que los estudios, investigaciones o experiencias llevadas a cabo han dado una respuesta total a todas las interrogaciones y proporcionado una comprensión final de los problemas en estudio. El campo de la altura, en lo que concierne a su influencia sobre el hombre y otras especies animales, no se sustrae a esta reflexión, y existen, todavía, importantes vacíos por llenar. Algunas consideraciones son pertinentes desde este punto de vista.

Casi todos los estudios en los habitantes andinos se han llevado a cabo en sujetos adultos de sexo masculino, y poco sabemos de los procesos de desarrollo en la infancia y niñez, y de aquellos que intervienen en el envejecimiento o edad senil. Sin embargo, aunque aislados, hay ya algunos datos interesantes en la literatura médica. Por estudios realizados en el Perú por varios investigadores en años recientes, se conoce que durante la vida fetal la placenta desarrolla algunas modificaciones adaptativas de carácter morfológico, que facilitan el adecuado aprovisionamiento de oxígeno al feto; y cuando el niño nace no muestra generalmente un proceso policitémico, o sea un aumento de glóbulos rojos y hemoglobina, como es característico de los habitantes adultos de la altura. Parece pues, a juzgar por esta observación repetidamente confirmada, que, por lo menos en ciertos aspectos, el recién nacido es un recién llegado a la altura, y que sólo después de un período de contacto directo con el ambiente de presión disminuida, principia a desarrollar algunos o todos los mecanismos adaptativos que demanda la hipoxia.

Y al hablar del recién nacido es importante señalar que los habitantes de la altura tienen un índice de fertilidad similar, o aun superior, al encontrado al nivel del mar. Este hecho contrasta con la experiencia de los conquistadores españoles, que en sus crónicas relatan el brusco descenso de nacimientos al radicarse en zonas de altura. Podemos recordar que la capital del Perú, fundada originalmente en las serranías andinas, fue trasladada más tarde al valle del Rímac, en la costa del Pacífico, que es el que ocupa actualmente Lima, la capital del Perú.

Poco sabemos también de la secuencia cronológica de la madurez sexual en un ambiente elevado, y en qué grado son diferentes o similares el desarrollo e intensidad de los procesos adaptativos en los dos sexos, desde un punto de vista comparativo. Aparentemente, en las mujeres, algunos de estos

procesos son menos evidentes y de menor cuantía. Quizás, en parte este hecho es debido a las mayores demandas de adaptación en el hombre por la mayor actividad física que está llamado a desarrollar.

Las características evolutivas propias de la edad avanzada o senilidad son también poco conocidas en poblaciones de altura. En el Perú se explica esta omisión en la labor investigadora por el hecho de que las zonas estudiadas han sido y son en general centros industriales mineros, en los que el trabajador nativo labora solamente mientras tiene una edad compatible con el desarrollo de una intensa actividad física, después de lo cual retorna a lugares más bajos para reincorporarse a labores agrícolas o de pastoreo en pequeñas áreas de su propiedad. En estos lugares, frecuentemente primitivos y aislados, hay mayor dificultad para el establecimiento de modernos laboratorios de investigación. Pero es indudable el interés y la urgencia de estudiar al hombre andino en su habitat natural, y no exclusivamente en centros industriales que modifican sustancialmente sus hábitos de vida, actividad y alimentación.

Y otro aspecto que requiere con urgencia el inicio de estudios prolijos y sistemáticos es el que se refiere al papel o la importancia que pueden o deben tener factores de orden genético en la aclimatación a la altura. Es indudable que estos procesos deben intervenir, y de manera importante, en la normal relación del hombre con su ambiente pues, de acuerdo con estudios históricos y arqueológicos, la existencia de la vida humana en las regiones andinas de nuestro continente se remonta, no a centurias, sino a milenios, y, por lo tanto, han sido innumerables las generaciones expuestas constantemente a la influencia del ambiente. Es interesante citar a este respecto que Cardich, antropólogo peruano, encontró esqueletos humanos en Lauricocha, lugar situado en la zona andina sur del Perú. Dichas osamentas, sometidas a un estudio con carbono radiactivo C14, en

la Smithsonian Institution de Washington, demostraron tener una antigüedad promedia de 9,500 años.

Otro aspecto, de gran interés pero aún no investigado con prolijidad, es el que se refiere al nivel máximo de altura que puede ser compatible con la existencia de poblaciones permanentes. Desde un punto de vista médico y fisiológico, tomando en cuenta el grado de hipoxia, o insuficiencia de oxígeno, impuesto por la presión barométrica disminuida, este nivel podría estimarse en aproximadamente seis mil metros de altura y, en realidad, en nuestro país hay muy pocos centros mineros cercanos a tal elevación. Sin embargo, como dato interesante relacionado con este punto, puede citarse el hallazgo de una momia humana en la zona andina del norte de Argentina, a una elevación de 6,300 metros. Su antigüedad no fue investigada.

Faltan pues por conocerse datos valiosos acerca de la vida del hombre en zonas elevadas, en lo que se refiere a la influencia de la edad, el sexo y el nivel de altura compatible con la existencia permanente de la vida humana.

El estudio de la influencia de la altura sobre el hombre tiene un interés relacionado con los mecanismos adaptativos, genéticos o adquiridos, que determinan y regulan la tolerancia del hombre al medio ambiente. También tiene relación con el mejor conocimiento de las características fisiológicas de los veinte a treinta millones de sujetos que en el mundo las han modificado por acción del medio ambiente en que nacen y viven. Desde un punto de vista sanitario y clínico interesa también conocer qué alteraciones o enfermedades pueden tener relación directa y dependiente del factor ambiental, y en qué grado este factor modifica los índices de morbilidad y mortalidad de procesos patológicos que también ocurren al nivel del mar.

En relación con el primero de los problemas mencionados, tenemos, como el más conocido por su frecuente ocurrencia y des-

cripción, el cuadro sintomatológico que suele ocurrir con frecuencia cuando un residente del nivel del mar asciende bruscamente a la altura. Los síntomas, que generalmente corresponden a trastornos del sistema nervioso central y periférico, por ser este el tejido humano más sensible a la acción de la hipoxia, constituyen lo que se denomina "enfermedad aguda de la altura" o "soroche", palabra esta última de origen local en el Perú, pero que ha alcanzado reconocimiento universal. Se sabe que fundamentalmente el soroche es la manifestación clínica de una brusca insuficiencia de oxígeno en el organismo, pero no podemos explicar aún ciertos importantes aspectos, como la gran variabilidad en su ocurrencia incluso en el mismo individuo, ni sabemos la manera de predecirlo mediante un examen médico previo a la ascensión. No hay una relación directa y precisa del soroche con la conformación física y las características fisiológicas del sujeto que más tarde está expuesto a la influencia de la altura.

De más reciente conocimiento y descrito originalmente por nosotros en 1934, es el edema agudo pulmonar que se desarrolla no infrecuentemente al llegar a la altura. El mecanismo patogénico de su producción no es aún entendido, a pesar de existir varias teorías al respecto, pero se ha observado que ocurre preferentemente en sujetos previamente considerados como sanos, nativos de la altura, que regresan a este ambiente después de una corta estadía al nivel del mar. Es interesante mencionar la alta incidencia de este proceso durante el conflicto bélico entre India y China, que se desarrolló en las elevadas regiones del Himalaya, en Asia.

En 1927, Monge en el Perú indicó por vez primera que un habitante nativo y residente en la altura, o un individuo originario de la costa con larga permanencia en el alto ambiente, puede perder su aclimatación y tolerancia a la hipoxia y desarrollar una sintomatología a veces severa y predominantemente de naturaleza nerviosa, que lo obliga a des-

cender a lugares más bajos o al nivel del mar para recuperar su salud. El cuadro clínico, caracterizado por una marcada acentuación en el grado de hipoxia y en el nivel de policitemia, es conocido con la denominación de "soroche crónico" o "enfermedad de Monge". Faltan todavía mayores estudios para dilucidar con precisión su patogenia o mecanismo de producción, pero nosotros hemos observado que la gran mayoría de estos casos se caracterizan por una disminución de la ventilación pulmonar, o sea hipoventilación, aparentemente debida a una reducción de la sensibilidad del centro respiratorio, situado en la base del cerebro, al estímulo del anhídrido carbónico circulante en la sangre. Este gas constituye uno de los factores químicos que regula la actividad funcional de dicho centro.

En lo que concierne a la incidencia en la altura de enfermedades que también se observan al nivel del mar, se requiere con urgencia la realización de estudios epidemiológicos e investigaciones inmunológicas, que abarquen grandes sectores de la población de altura. Sin embargo, los datos aportados por estudios en algunas poblaciones o centros mineros, la experiencia recogida en muchos años de labor investigadora y la consulta de las estadísticas acumuladas en centros hospitalarios situados en lugares de altura permiten formular algunos comentarios provisionales, aunque todavía restringidos en su significado epidemiológico. Aparentemente en la altura hay una mayor incidencia de ciertas malformaciones congénitas del corazón y quizás de otros órganos, de infecciones respiratorias, de complicaciones postoperatorias, tales como el vólvulo intestinal, y de trastornos hepáticos. La mortalidad infantil es elevada, pero varias son las causas que pueden intervenir en este fenómeno, aparte del factor ambiental. En cambio es mucho menos frecuente en la altura la hipertensión periférica, el infarto miocárdico, la diabetes y la leucemia. Es importante que los sanitarios sepan que

en los centros mineros de la zona andina es muy frecuente el desarrollo de silicosis después de un corto tiempo de trabajo minero, lo que hace evidente la necesidad de señalar en este ambiente normas especiales en el índice permisible de contaminación ambiental, para evitar enfermedades ocupacionales.

Para terminar, permitidme formular algunas breves reflexiones sobre el pasado y el presente de la investigación de la altura.

La influencia del ambiente, principalmente en sus características de altitud y temperatura, fue conocida y apreciada en la importancia que tiene, hace ya varios siglos, de una manera que, aunque carente de bases científicas, es reveladora de un alto grado de intuición e inteligencia. Existen interesantes estudios históricos que demuestran que algunos aspectos de la organización social y administrativa de los Incas, y en los primeros tiempos de la dominación española, estuvieron determinados por las condiciones geográficas y climáticas de gran variabilidad en parte del Continente Americano. Y al mencionar los Incas, no podemos resistir la tentación de poner énfasis en el alto grado de cultura que alcanzó esta civilización americana, tal como ha sido revelado por sus exquisitas obras de artesanía y sus numerosos y magníficos monumentos, construcciones y sistemas de irrigación. Todo esto, unido a una avanzada organización social, demuestra, también históricamente, que el factor ambiental de altura puede ser compensado por un alto grado de aclimatación.

Para quienes nos hemos sentido atraídos, por muchos y largos años, hacia el estudio de la influencia de la altura sobre el hombre, nos es particularmente grato observar el creciente interés mundial que ha adquirido este campo de investigación. Actualmente, en muchos países situados en los diferentes continentes, funcionan laboratorios e institutos exclusivamente dedicados a estos estudios. Con frecuencia recibimos la grata

visita de investigadores de diferentes nacionalidades, atraídos tanto por las facilidades y oportunidades que presenta nuestra región andina, para poder observar la agresión climática que sufre el hombre al llegar a este nuevo ambiente, como por sus poblaciones permanentes, de varios milenios de existencia, para constatar cómo sus habitantes han podido desarrollar y utilizar con éxito mecanismos adaptativos que les permiten una actividad mental y física eficiente.

Es posible que este interés mundial se deba en parte, en años recientes, a los intentos de la ciencia por conquistar el espacio extraterrestre. Entre las muchas dificultades que confronta este gigantesco esfuerzo se encuentra el de asegurar el suministro de oxígeno necesario para el mantenimiento de las actividades vitales. Y el hombre de la altura nos proporciona una excelente oportunidad de conocer cómo el organismo humano modifica sus características para lograr una condición de tolerancia y casi perfecta armonía con el medio ambiente de difícil oxigenación.

Otra de las causas responsables de este interés actual casi universal por el estudio de la influencia de la altura sobre el hombre se basa en sus implicaciones para la clínica médica. La hipoxia, factor importante y principal en la altura, puede ser también el resultado de muchas enfermedades respiratorias, cardiovasculares, hemáticas y de otra índole. Interesa pues al clínico conocer cómo el organismo humano puede tolerar y compensar con éxito esta condición adversa a su fisiología, y la mejor respuesta se encuentra en el hombre que vive temporal o permanentemente en la altura. La investigación pues de este medio ambiente no tiene ahora, como ya lo hemos manifestado, un carácter restringido o exótico.

Resumen

Varios factores especiales influyen en la fisiología humana en las grandes alturas,

como la "hipoxia", o sea la oxigenación deficiente de la hemoglobina y una menor tensión de la pequeña fracción de oxígeno disuelto en el plasma. Ello impide el abastecimiento debido de oxígeno a los tejidos y su utilización por las células metabólicamente activas que han de liberar la energía necesaria para la vida.

La hipoxia se presenta en altitudes superiores a 3,000 metros, pero es más repentina y grave cuando exceden de 4,000 metros. Se calculan entre 20 y 30 millones las personas expuestas a esta influencia ambiental en el mundo. No obstante, la hipoxia puede presentarse al nivel del mar, a consecuencia de varias enfermedades respiratorias, cardiovasculares, hematológicas y de otra naturaleza. El estudio de personas que habitan en forma temporal o permanente en esas condiciones ambientales promete arrojar alguna luz al problema general de la manera en que el organismo puede tolerar y compensar estas condiciones fisiológicamente adversas.

Los individuos que han nacido y habitado con carácter permanente en zonas de gran altura muestran características morfológicas, funcionales y bioquímicas que explican su tolerancia a una menor presión atmosférica y que los distingue de las personas consideradas normales al nivel del mar. Entre estas características figura una mayor ventilación pulmonar, aumento de la circulación sanguínea en los pulmones, aumento de la hemoglobina y reducción de la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, lo que facilita la difusión del gas en los tejidos. Otras características son la hipertrofia del lado

derecho del corazón, hipertensión moderada en la circulación pulmonar y un mayor número de capilares en los tejidos. Investigaciones médicas recientes han revelado también procesos importantes de adaptación en los tejidos que consisten en el aumento del contenido mioglobínico, mayor número de estructuras para la liberación de energías y cambios en los procesos enzimáticos que regulan el uso de oxígeno.

A pesar de los adelantos logrados por los investigadores de este campo, numerosas cuestiones siguen todavía sin resolver. Poco se sabe acerca de los procesos que ocurren en la infancia, la niñez, la edad senil y durante el envejecimiento. Tampoco se dispone de mucha información sobre la cronología de la madurez sexual en las regiones de gran altura, la función que desempeñan los factores genéticos o las altitudes máximas compatibles con la existencia de poblados permanentes.

La más conocida de las alteraciones patológicas o enfermedades derivadas de la exposición a la altura es el "soroche", manifestación clínica de una deficiencia repentina de oxígeno en el organismo. Otra de las afecciones es el edema pulmonar agudo en personas que llegan a zonas de gran altura (por lo general habitantes indígenas que acaban de regresar de una breve estancia cerca del nivel del mar). Así mismo, las personas que han vivido a grandes alturas durante un tiempo prolongado a veces contraen la enfermedad de Monge, que puede originar una pérdida de aclimatación y síntomas lo suficientemente graves para obligar al paciente a trasladarse a una zona de menor altura para restablecerse. □

The Influence of Altitude on Man (Summary)

A number of special conditions influence man's physiology at high altitudes, the most notable being "hypoxia"—deficient oxygenation of hemoglobin and reduced tension of the small oxygen fraction dissolved in the plasma. This affects both the oxygen supply to the tissues and oxygen utilization by the metabolically active cells that must liberate the energy needed for life.

Hypoxia develops at altitudes above 3,000 m, but is more sudden and severe above 4,000 m. The number of persons exposed to it in the world's high-altitude regions is estimated at 20-30 million. However, hypoxia can also result from various respiratory, cardiovascular, hematological, and other diseases at sea level. The study of those living temporarily or permanently at high altitudes promises to shed light on the general question of how the body can tolerate and compensate for this physiologically adverse condition.

People born and living permanently at high altitudes show morphological, functional, and biochemical characteristics that explain their tolerance to reduced atmospheric pressure and distinguish them from people regarded as normal at sea level. These include greater pulmonary ventilation and increased blood circulation in the lungs, higher hemoglobin levels, and a decline in hemoglobin's affinity for oxygen—which facilitates diffusion of the gas

into the tissues. Other features are hypertrophy of the right side of the heart, moderate hypertension in the pulmonary circulation, and a larger number of capillaries in the tissues. Recent medical research has also revealed important adaptive processes in the tissues, consisting of an increased myoglobin content, a rise in the number of structures responsible for liberating energy, and changes in enzymatic processes governing oxygen utilization.

Despite the strides made by researchers in this field, many questions still remain unanswered. Little is known about processes occurring in infancy, childhood, old age, or during aging. Nor is there much information about the chronology of sexual maturity at high altitudes, the role of genetic factors, or the maximum altitudes compatible with the existence of permanent settlements.

The best-known of the pathological changes or diseases resulting from exposure to high altitude is *soroche*, the clinical manifestation of a sudden oxygen deficiency in the body. Another is acute pulmonary edema in persons arriving at high altitudes—usually indigenous inhabitants recently returned from a short stay near sea level. Also, persons that have lived at high altitudes for a long time sometimes develop Monge's disease, which can result in a loss of acclimatization and sufficiently severe symptoms so that the patient must go to a lower altitude to recover.

A influência da altitude sobre o homem (Resumo)

Entre as diversas condições especiais que influenciam a fisiologia humana em grandes altitudes destaca-se a "hipóxia"—a deficiente oxigenação de hemoglobinas e a redução da tensão da diminuta fração de oxigênio dissolvida no plasma. Isso afeta tanto o suprimento de oxigênio para os tecidos como a utilização de oxigênio pelas células metabolicamente ativas às quais cabe liberar a energia necessária para a vida.

A hipóxia desenvolve-se a altitudes superiores a 3.000 m, sendo porém mais aguda e severa acima de 4.000 m. Calcula-se em 20 a 30 milhões o número de pessoas a ela expostas nas regiões de grande altitude do mundo. Contudo, a hipóxia também pode resultar, entre outras, de diversas doenças respiratórias, cardiovasculares e hematológicas ao nível do mar. O

estudo dos que vivem temporária ou permanentemente em grandes altitudes promete esclarecer a questão geral de como o corpo pode tolerar e compensar essa condição fisiologicamente adversa.

Aqueles que nascem e vivem permanentemente em grandes altitudes revelam características morfológicas, funcionais e bioquímicas que explicam sua tolerância à reduzida pressão, atmosférica e os distinguem das pessoas consideradas normais ao nível do mar. Essas características incluem maior ventilação pulmonar e o aumento da circulação do sangue nos pulmões, maiores níveis de hemoglobina e um declínio da afinidade da hemoglobina com o oxigênio—o facilita a difusão do gás nos tecidos. Destaque-se também a hipertrofia do lado direito do coração, a hipertensão moderada

na circulação pulmonar e o aumento do número de vasos capilares nos tecidos. Recentes pesquisas médicas também revelaram importantes processos de adaptação nos tecidos, representados por um aumento do conteúdo de mioglobina, por um incremento do número de estruturas responsáveis pela libertação de energia e por alterações nos processos enzimáticos que governam a utilização de oxigênio.

Apesar dos avanços da pesquisa nesse campo, muitas são as indagações a responder. Pouco se sabe a respeito de processos que ocorrem na infância, na adolescência, na velhice ou na idade madura. Também não é abundante a informação sobre a cronologia da maturidade sexual em grandes altitudes, sobre o papel de fatores genéticos, ou sobre as altitudes máximas

compatíveis com a existência de assentamentos permanentes.

A mutação patológica ou a doença mais conhecida decorrente da exposição a grandes altitudes é o *soroche*, manifestação clínica de uma súbita deficiência de oxigênio no corpo. Cite-se também o edema pulmonar agudo em pessoas que chegam a grandes altitudes—geralmente habitantes do lugar que regressam de uma pequena estada em níveis próximos ao do mar. Além disso, pessoas que viveram longo tempo em grandes altitudes contraem por vezes a doença de Monge, que pode resultar numa perda de aclimatação e em sintomas suficientemente severos para que o paciente se deva recuperar em altitudes mais baixas.

L'influence de l'altitude sur l'homme (Résumé)

Un certain nombre de conditions spéciales influent sur la physiologie de l'homme à haute altitude, et en particulier "l'hypoxie"—oxygénation insuffisante de l'hémoglobine et baisse de tension de la petite fraction d'oxygène dissoute dans le plasma. Cela affecte à la fois l'apport d'oxygène aux tissus et l'utilisation d'oxygène par les cellules métaboliquement actives qui doivent libérer l'énergie dont les tissus ont besoin pour vivre.

L'hypoxie survient à des altitudes supérieures à 3.000 m mais se ressent surtout et violemment à plus de 4.000 m. On estime à de 20 à 30 millions le nombre de personnes qui y sont exposées dans les régions les plus élevées du monde. Toutefois, l'hypoxie peut également résulter de plusieurs maladies respiratoires, cardiovasculaires, hématologiques et autres contractés au niveau de la mer. L'étude de ceux qui vivent de façon temporaire ou permanente à haute altitude éclaircira sans aucun doute la question de savoir comment le corps peut tolérer et contrebalancer cette condition physiologiquement néfaste.

Ceux qui naissent et vivent à haute altitude ont des caractéristiques morphologiques, fonctionnelles et biochimiques qui expliquent leur tolérance pour des pressions atmosphériques réduites et les distinguent de ceux qui vivent au niveau de la mer. Parmi celles-ci, citons une plus grande ventilation pulmonaire et circulation sanguine dans les poumons, des niveaux d'hémoglobine plus élevés et une baisse de l'avidité montrée par l'hémoglobine pour l'oxygène—ce qui facilite la diffusion du gaz dans les tissus. Mentionnons aussi l'hypertro-

phie du coeur droit, la faible hypertension de la circulation pulmonaire et la présence d'un grand nombre de capillaires dans les tissus. De récentes études médicales ont également révélé l'existence d'importants processus d'adaptation dans les tissus, à savoir une teneur accrue en myoglobine, un accroissement du nombre des structures chargées de libérer l'énergie et l'altération des processus enzymatiques qui régissent l'utilisation de l'oxygène.

En dépit des efforts déployés par les chercheurs dans ce domaine, de nombreuses questions restent sans réponse. On ne sait pas grand chose sur ce qui se passe pendant la première enfance, l'adolescence, la vieillesse ou le vieillissement. De même on ne possède guère de renseignements sur la chronologie de la maturité sexuelle à haute altitude, le rôle des facteurs génétiques ou les altitudes maximales compatibles avec l'existence de colonies permanentes.

La plus connue des altérations pathologiques ou des maladies résultant de l'exposition à haute altitude est le *soroche*, manifestation clinique d'une soudaine insuffisance d'oxygène dans le corps. Une autre est l'oedème pulmonaire aigu chez les personnes arrivant à haute altitude—d'ordinaire des autochtones récemment de retour d'un court séjour au niveau de la mer. De plus, des personnes ayant vécu à haute altitude pendant une longue période de temps contractent le syndrome de Monge qui peut donner lieu à une perte d'acclimatation et à des symptômes suffisamment graves pour que le patient soit contraint de descendre vivre à une altitude moins élevée pour se remettre.