

ESTADO ACTUAL DE LA BIOPATOLOGIA DE ALTURA

DR. I. CORRAL - CARRANCEJA.

INTRODUCCION

Aproximadamente, 25 millones de hombres habitan en la cordillera de los Andes y en los altiplanos del Himalaya. De ellos más de 10 millones viven en altitudes superiores a los 3.600 metros, y hay moradores de las grandes elevaciones del Perú que diariamente van a trabajar a minas situadas a 5.770 metros.

A altitudes por encima de los 1.800 metros, el organismo humano pierde su medio ambiente habitual y comienza a sufrir las consecuencias producidas por un aporte inadecuado de oxígeno.

El estudio de cómo logra aclimatarse el ser humano a tales condiciones ha interesado siempre a los científicos. Ello presenta, no sólo interés para los montañeros que escalan altos picos, sino también, en el momento actual, para los viajes aéreos y espaciales a unos niveles de la atmósfera en los que el aporte de oxígeno es muy reducido o nulo. Así mismo, tiene una gran significación práctica sobre la superficie de nuestro planeta, ya que es cada vez mayor el número de personas que van a la montaña con fines recreativos (camping, caza, esquí, etc.); por ejemplo, en los Estados Unidos fueron 5 millones de personas las que visitaron en 1968 el parque Inyo de California, situado a más de 2.000 metros de altura. Esto, y otros muchos hechos similares, transforman el problema de la adaptación a las grandes alturas, antes limitado a minorías, en uno de interés sanitario general. Para su estudio, las poblaciones de las regiones andinas y tibetanas antes mencionadas constituyen magníficos sujetos de experimentación, por ello, existen centros localizados en distintos puntos de la Tierra que se dedican al

análisis de la respuesta fisiológica del hombre y los animales de experimentación a las situaciones ambientales de las grandes alturas.

Las condiciones de vida de las grandes montañas son tan duras que resulta asombroso cómo los indios quechua del Perú, por ejemplo, han podido escoger un ambiente tan hostil y adaptarse a él. El rigor ambiental proviene no sólo de la hipoxia, sino también del frío. En los Andes ecuatoriales, la temperatura descende de un grado centígrado por cada 200 metros de altitud. Los inviernos son largos, nevados y ventosos; los veranos, cortos y fríos. En la Estación de la Montaña, en California, a 3.800 metros, la temperatura media, registrada a lo largo de 10 años, fue inferior a cero grados durante 8 meses al año, e incluso en los meses de verano el valor medio durante la noche estuvo por debajo de esta cifra. Las plantas disponen, en las grandes alturas, de un período de tiempo muy breve para su crecimiento y pocos animales pueden alimentarse con éxito a tales niveles (1).

Sin duda, la vida resulta afectada también por las radiaciones ultravioletas bastante intensas, por la ionización del aire, por la extrema sequedad de la atmósfera y por otros factores. Los elementos positivos para aquella son escasos: así, la intensa irradiación solar, por lo tenue de la atmósfera, calienta las rocas y provee de nidos calientes a los animales; las grandes nevadas invernales proporcionan una gran reserva de humedad a las regiones bajas colindantes, y durante pocos meses las zonas altas ofrecen pastos para el ganado, que son lleva-

dos de nuevo a los valles cuando comienza el invierno.

La mayor parte de la población de las grandes alturas viven de la agricultura o del pastoreo, cultivando frutos de estación corta, tales como patatas y algunos granos. En los Andes, la minería constituye también un importante factor económico. La colonia habitada a más altura de la Tierra es un campamento minero situado a 5.320 metros en el Perú. Sus residentes trabajan en la mina antes aludida a 5.770 metros, teniendo que subir todos los días los 450 metros de diferencia. Tales obreros se negaron a vivir en un campamento que se construyó para ellos a 5.620 metros, alegando que no tenían apetito, perdían peso y no podían dormir (2). Parece, por lo tanto, que 5.320 metros constituye la altura límite a la que puede vivir permanentemente un hombre aclimatado.

A pesar del rigor de la vida en las grandes alturas, los indios peruanos del altiplano han prosperado normalmente en su medio ambiente. Se dice que los incas tenían dos ejércitos distintos: uno, para las tierras bajas y otro, para las zonas altas. MONGE y HURTADO (3) pensaron que el hombre de los Andes, anterior a la conquista de América, constituía una raza distinta, magníficamente dotada para la vida en las grandes alturas, pero incapaz de sobrevivir a nivel del mar. Esto no parece ser cierto y la escasa supervivencia de los habitantes del altiplano en tierras bajas, probablemente se debía al contacto con enfermedades a las que no estaban expuestos en las montañas. No hay ninguna prueba a favor de que estos individuos no puedan adaptarse satisfactoriamente a las condiciones de vida del nivel del mar; lo que sin duda es cierto es que tales sujetos poseen una capacidad fisiológica fuera de lo común para sobrevivir en las alturas.

En las grandes alturas, aunque la proporción de oxígeno en el aire atmosférico sigue siendo la misma (21 %), la presión barométrica del aire en conjunto disminuye con la altura creciente.

Altura sobre el nivel del mar	Presión (4) atmosférica
0 m.	760 mm. de Hg.
2.000 m.	596 mm. de Hg.
3.000 m.	526 mm. de Hg.
4.000 m.	462 mm. de Hg.
5.000 m.	405 mm. de Hg.
6.000 m.	354 mm. de Hg.
7.000 m.	308 mm. de Hg.
8.000 m.	267 mm. de Hg.
9.000 m.	230 mm. de Hg.

Al disminuir la presión atmosférica con la altitud, también se hace proporcionalmente menor la presión del oxígeno; esto significa, simplemente, que el número de moléculas de oxígeno y demás gases del aire, por unidad de volumen, se han reducido.

Tal disminución en la tensión de oxígeno, al reducir la transferencia de este gas desde el aire inspirado a la sangre pulmonar, provoca una serie de reacciones inmediatas encaminadas a paliar este déficit. Cuando esta situación, de baja tensión de oxígeno, se mantiene, el organismo responde más profundamente. Tenemos pues dos situaciones:

- la exposición aguda a la altura y
- la exposición crónica a la altura.

Las reacciones adaptativas inmediatas no son suficientes para permitir a un recién llegado a la altura, la ejecución de un esfuerzo fisiológico normal.

Gracias a los Juegos Olímpicos de México (1968), que tuvieron lugar a una altitud de 2.280 metros, se ha dedicado en los últimos años mayor interés al análisis de los efectos de las grandes alturas sobre la capacidad de ejecución de ejercicio muscular (5, 6, 7 y 8).

Se ha visto que a 5.470 metros la capacidad humana de realizar ejercicio sin incurrir en una deuda de oxígeno, es solamente del 50 % en relación con la del nivel del mar. La tolerancia de dicha deuda de oxígeno y de la acumulación de ácido láctico en los músculos también está reducida. Esto explica el hecho de que los alpinistas, en altitudes extremas, puedan solamente ascender unos pocos metros en mucho tiempo y deban reposar un período de tiempo aún más prolongado para reemprender de nuevo el ascenso.

Todo esto hace que las alturas se hayan clasificado en tres grupos o zonas:

- Hasta 7.000 metros: Zona de aclimatación.
- De 7.000 a 8.000 metros: Zona de adaptación.
- Por encima de 8.000 metros: Zona letal o de deterioro.

El apelativo de «deterioro» a la zona letal está mal aplicado, ya que como luego veremos, el hombre se deteriora a alturas inferiores a ésta.

Hay autores que dan como límite superior de la zona de aclimatación los 6.000 metros, pero la mayoría, aun sin certeza total, lo ponen a 7.000 metros. Lo más probable es que se encuentre entre estas dos alturas.

Un hombre que asciende por encima de los 6.000 metros, con aclimatación o sin ella, se deteriora. Ahora bien, situado súbitamente a

8.000-9.000 metros de altura, un hombre no aclimatado pierde el sentido en 2-3 minutos, falleciendo en un breve plazo; por el contrario, si se ha ido habituando progresivamente a estas alturas, puede mantenerse durante varios días a 8.000 metros.

Lo que limita la capacidad de adaptación fisiológica a las grandes alturas y el ejercicio en éstas, son: el grado de ventilación pulmonar, la frecuencia cardíaca, el volumen minuto cardíaco y el flujo sanguíneo que llega a los músculos durante el ejercicio. El límite de hiperventilación de los pulmones, por ejemplo, es de 120 litros de aire por minuto. Este máximo, a una altura de 5.000 metros, aporta 2 litros de oxígeno por minuto a la sangre. Aunque en las alturas extremas la frecuencia cardíaca puede aumentar con el ejercicio moderado, en condiciones de ejercicio máximo el límite superior de frecuencia cardíaca y de volumen minuto es más bajo que a nivel del mar (1).

Los nativos de las grandes alturas presentan unos ajustes extraordinarios para la vida en este medio. ORTIZ (9) hace un estudio anatómopatológico de 49 personas sanas, nativas y residentes de altura, muertas por accidente entre las edades de 11 y 72 años y obtiene los siguientes resultados:

— Pulmones globulosos, pesados, tenían un peso medio de 601 grs. cada uno. La pleura roja oscura, cianótica, parenquima congestionado, con discreto enfisema subpleural; microscópicamente, discreto enfisema, tabique interalveolar engrosado por dilatación y congestión capilar, arteriolas y venas trombosadas. No se apreciaba engrosamiento de la membrana alveolar.

— Tráquea y bronquios, gran congestión de la mucosa, edema e infiltración inflamatoria crónica debido a la bronquitis crónica que padecen estos individuos por el frío, sequedad o polvo. Membrana basal del epitelio engrosada, semejante a la que se encuentra en asmáticos de larga evolución. Hallazgo que está en relación con la bronquitis y no con la anoxia.

— El corazón tenía un grado de hipertrofia de ventrículo derecho, especialmente en el infundíbulo pulmonar, el cual es abombado. No se encontró lesión valvular. Microscópicamente, hubo hipertrofia muscular a nivel del cono pulmonar y más visible en el tercio inferior de la pared muscular.

— El hígado era congestivo, de color oscuro, la cápsula lisa y transparente. Microscópicamente, ninguna alteración salvo degeneración grasa, aumento de depósitos de pigmentos biliares en los hepatocitos, lo que está en rela-

ción con el aumento de bilirrubina en sangre en la altura. Además, congestión moderada del sistema vascular.

— El bazo no presentaba variaciones ni en peso ni en tamaño, salvo en tres casos que presentaron periesplenitis fibrosa focal, predominio de la pulpa roja, congestión y folículos pequeños.

— Los riñones eran normales, el perenquima de color rojo vinoso y las venas congestionadas, especialmente en la unión de la corteza y médula. Microscópicamente, glomerulos voluminosos congestionados, membrana basal no engrosada, excepto en tres casos en los que se observó necroangiosclerosis.

— Los testículos se encontraron dentro de los límites normales.

— Los ovarios aparecieron normales, salvo congestión capilar.

— El cerebro, estudiado en cinco casos, presentó congestión de vasos subaracnoideos.

— Las glándulas suprarrenales, estudiadas en cinco casos, presentaron congestión capilar, especialmente a nivel cortical.

Las personas incapaces de adaptarse a la vida en las alturas, durante la ascensión o después de permanecer en la misma, sufren cierto grado de alteración tisular, debido a la carencia de oxígeno en la sangre, y van a presentar una serie de trastornos y molestias que desde el año 1590 reciben el nombre de «Mal de Montaña» (9).

Respecto al mal de montaña, STAMPFLI (4) nos dice lo siguiente: «Comparando las altitudes en las cuales comienzan a dejarse sentir los primeros síntomas de este mal, se constata que estos fenómenos no hacen su aparición a un mismo nivel. En el Himalaya aparecen a los 5.000 metros; en los Andes sobrevienen las molestias iniciales hacia los 4.000 metros, y por lo que toca a los Alpes, aparece el mal de montaña cerca de los 3.000 metros sobre el nivel del mar».

Lo anterior es fácilmente comprensible, puesto que para llegar hasta donde se levantan los colosos nevados del Himalaya y del Karakorum, es preciso efectuar travesías prolongadas que van originando en el organismo del sujeto cierto grado de adaptación, que enmascara y hasta suprime, las molestias del mal de montaña.

En los Andes, el tiempo de aproximación a cotas elevadas también es largo, aunque no tanto. Sin embargo, en los Alpes, encontramos que muchos excursionistas, y simples paseantes, llegan por medio de teleféricos y funiculares hasta alturas superiores a los 3.000 metros, sin antes haber puesto a funcionar sus meca-

nismos compensadores. Concretamente en Chamonix (1.035 metros) donde existe un teleférico, anunciado como el más alto del mundo, que asciende en pocos minutos a l'Aiguille lu Midi (3.850 metros), se han descrito casos de muerte por infarto de miocardio en personas predispuestas y de edad avanzada, expuestas bruscamente a la hipoxia de esta altura. SERRANO (comunicación personal) (10) ha observado casos similares en el recientemente inaugurado teleférico que asciende al volcán del Teide (3.700 metros), en Tenerife.

UN POCO DE HISTORIA

Nuestros conocimientos de los efectos del clima de montaña se han ido precisando gradualmente. Durante muchos siglos, fueron sólo premoniciones. Sin embargo, los antiguos sospechaban una acción compleja. Por lo demás, distinguían ya implícitamente entre la alta y la baja montaña. Esta última parecía favorable para la salud. Sin duda HIPOCRATES, en su tratado «De las aguas, los aires y los lugares», preconizaba la estancia en las regiones de los manantiales de los ríos, en los parajes elevados que el alba baña de sol, se apoyaba más en la comparación poética de la primavera, la juventud y la aurora, que en observaciones fisiopatológicas. Pero durante muchos años, el hombre se dio por satisfecho con ella.

En cambio, la alta montaña causaba terror. MOISES hablaba airadamente de los lugares elevados. Sus predecesores habían encontrado en ellos a los dioses; él, en la cumbre del Sinaí, había sentido al Eterno. Durante mucho tiempo, los accidentes observados en las personas que trataban de alcanzar las cumbres y la desaparición de alguna de ellas, dieron origen a muchas leyendas, con las cuales se trataba de probar la nocividad de la alta montaña.

Las primeras observaciones que prepararon el cambio a estudios auténticamente científicos se realizaron en 1298, fecha en que RUSTICIANO describió algunos trastornos notados por MARCO POLO en el curso de sus exploraciones por las montañas del Tibet. La primera descripción que poseemos del «mal de montaña» es la del jesuita JOSE D'ACOSTA. Viajando por América del Sur a una altitud cercana a los 4.500 metros, sufrió graves indisposiciones. «Me sentí súbitamente acometido de un mal tan mortal y extraño, que estuve a punto de dejarme caer de la montura... Sobrecogiéndome un dolor tal, con hipos y vómitos, que pensé entregar el alma... Aquello no duró más allá de tres o cuatro horas, hasta que hubimos bajado mucho...». Atribuye aquel estado particular al hecho de

que «el aire de montaña es tan sutil y delicado, que no está en proporción con la respiración humana» (11).

Los conquistadores españoles de Méjico y el Perú se vieron con frecuencia atacados por accidentes análogos. El mal de montaña, llamado por los españoles «Marco de la puna», fue experimentado luego, con síntomas diversos, por muchos viajeros que cruzaban los puertos elevados de América Meridional. La expedición mandada por LA CONDAMINE, que pasó 10 años en los Andes, y en 1736 tres semanas en el Pichincha, a 4.860 metros, sufrió también los



trastornos descritos por ULLOA, joven oficial de Marina enviado por el Gobierno español a proteger la misión francesa. Idénticos fenómenos fueron observados ulteriormente, en el curso de varias ascensiones menos elevadas en diversos países: Etna (3.274 metros), pico del Teide (3.707 metros). Hasta finales del siglo XVIII no empezó la exploración de las altas cimas de los Alpes. MICHEL GABRIEL PACCARD, llegó a la cumbre virgen del Mont Blanc (4.808 metros) la tarde del 8 de agosto de 1787, acompañado de JACQUES BALMAT. Cuentan que PACCARD, aun siendo médico de

Chamonix, no tenía dinero para contratar un guía que le acompañase en su aventura. Al año siguiente, el físico HORACE-BENEDICT DE SASSURE realizó las primeras observaciones científicas. Dio una interesante descripción de las molestias experimentadas y fue el primero que, para explicar la génesis de aquellos trastornos, insinuó la acción de la falta de presión del oxígeno del aire (12).

En 1806, en las laderas y la cima del Mont Blanc, CHAVEAU registró la curva del pulso de su compañero, el lyonés LORTET, quien por su parte, trazó diagramas de su respiración. Más tarde, en 1944, LE PILEUR, en una comunicación a la Academia de Ciencias, describió con precisión los trastornos observados durante una subida a la misma montaña.

Casi paralelamente a las exploraciones de alta montaña se efectuaron numerosas ascensiones en globos aerostáticos. El 19 de septiembre de 1783 fue cuando se llevó a cabo en Versalles, tres meses después de la primera ascensión de un «montgolfier», el primer experimento de fisiología aeronáutica. Aquel día fueron encerrados en la barquilla del globo varios animales: un gallo, un pato y un carnero, con objeto de estudiar su comportamiento durante el viaje aéreo. Como quiera que los animales soportaron bien su permanencia en los aires, los hombres probaron a su vez la aventura. La ascensión de PILATRE DE ROZIER se verificó al mes siguiente. Pero las dificultades de la vida en las alturas no se manifestarían a los aeronautas hasta varios años más tarde. Los globos, hinchados con hidrógeno, eleváronse entonces por encima de los 4.000 metros. Los informes presentados acerca de las ascensiones mencionaron los numerosos trastornos experimentados, según puede verse en los de CHARLES, ROBERTSON, GAY-LUSSAC y BIOT, los de BARRAL y los de BIXIO y, sobre todo, en la crónica de GLAISHER y de COXWELL. El relato de este viaje interesó de tal manera a PAUL BERT, que inclinó al célebre fisiólogo a lanzarse a investigaciones experimentales acerca de los efectos de las variaciones de la presión atmosférica sobre el organismo. Los trabajos efectuados permitieron a CROCE, SPINELLI y SIVEL remontarse, sin dificultad, a 7.300 metros a bordo del «Estrella Polar», en marzo de 1874. Pero el 15 de abril del año siguiente, en una nueva ascensión con TISSANDIER en la barquilla del «Zenith» dejó consternados a sus contemporáneos, los exploradores sucumbieron a una altitud de 8.400 metros, por no haber podido efectuar la inhalación de oxígeno indicada por PAUL BERT. SULLY PRUDHOMME les dedicó un poema. El temor

a la altitud y sus trastornos creció enormemente (13).

No obstante, se continuaba en la montaña el estudio de las reacciones del organismo a las bajas presiones de oxígeno. Después de la expedición de MORCROFT aparecieron en la literatura relatos de viajes con descripciones de trastornos observados al escalar las montañas del Asia Central. Pero algunas de estas descripciones, contrariamente a las anteriores, llamaban la atención sobre el hecho de que el organismo podía aclimatarse a una gran altitud, quedando así preservado de todas las molestias (14).

JACQUERMOT (en 1830) observaba, que habiéndose remontado varias veces a 6.000 metros, no experimentaba ningún estado molesto. Además, decía que, en el Tibet podían verse campesinos cultivando sus campos sin grandes dificultades a altitudes superiores a los 4.000 metros. Algo más tarde (en 1854), JOURDANET, médico francés establecido en Méjico, demostró que existía en este país, a altitudes cercanas a los 5.000 metros, altas mesetas pobladas desde los tiempos prehistóricos (15). Este autor, tiene un libro en el que relata las alteraciones observadas en estas gentes y las interpreta a su modo. En 1960, MONGE hace una revisión bibliográfica de todo lo escrito, hasta la fecha, sobre el tema y afirma que las observaciones de JOURDANET son exactas, pero que sus conclusiones no corresponden a la realidad.

Aparecieron las primeras casas de curación en la montaña. El clima de ésta podía producir trastornos, pero también, contribuir a curar ciertas dolencias.

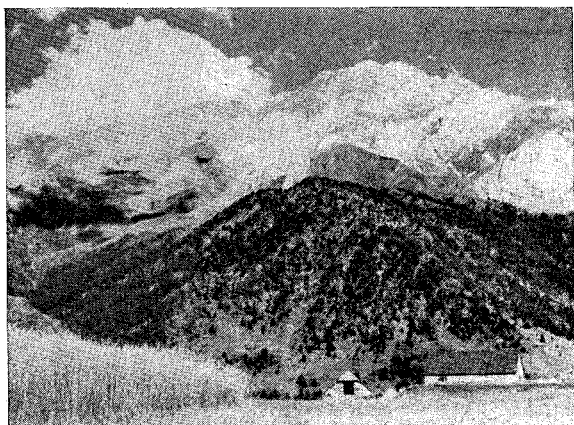
Entonces la observación experimental siguió de distintas formas: expediciones científicas de alta montaña, investigaciones realizadas en sanatorios de altitud mediana y en laboratorios instalados a gran altitud, trabajos efectuados en laboratorios de llanura con ayuda de cámaras hipobáricas, más tarde observaciones realizadas en los aviadores y finalmente, en verdaderos aviones-laboratorio.

Las expediciones científicas de montaña menudearon desde 1870. Después de CHAVEAU, LORTETE y JOURDANET, el inglés MARCET (1878) parece haber sido uno de los primeros en obtener resultados experimentales estudiando a diversas altitudes, en el Teide, el peso, la respiración y la temperatura de varias personas. Pero la atención del mundo científico fue atraída sobre todo por las observaciones de VIAULT, quien en 1890, comprobó el aumento del número de glóbulos rojos de la sangre de los indígenas, de los turistas y de los anima-

les que vivían desde hacía algún tiempo en los Andes del Perú.

Estos trabajos fueron confirmados por diversos autores que, años más tarde, trabajaron en los Alpes suizos. MOSSO, primero en 1893 y luego de 1903 a 1908, efectuó numerosas y notables investigaciones en el Monte Rosa (pico Gnifetti, 4.560 metros). Además, en las laderas del Monte Rosa se llevaron a cabo diferentes expediciones científicas (A. LOEWY, J. LOEWY y ZUNZT, en 1896; ZUNZT, LOEWY y CASPARI, en 1901; ZUNZT y DURIG, en 1903; MONT, en 1904) (13).

Estos trabajos suministraron abundante documentación acerca de los intercambios gaseosos durante el descanso y durante el trabajo, la nutrición y los intercambios energéticos, la masa de la sangre en una estancia más o menos prolongada en alta montaña.



Se eligieron también otras regiones montañosas como centros de investigación: el Brionzer-Rothorn (BURGI), el Chasseral (JACQUET y STAEHELIN). En 1910 se organizó una gran expedición al Teide, en la que participaron numerosos fisiólogos con ZUNZT, DURIG, BAROROFY y HALDANE. Estos dos últimos tomaron también parte en otras expediciones, principalmente al Pike's Peak (4.312 metros), Colorado, de acceso particularmente fácil y que recibió también la visita de SCHNEIDER (1907-1911), HENDERSON, DOUGLAS (1912), GROLLMANN (1903) y otros muchos.

En 1922, una expedición dirigida por BAROROFY (1) se trasladó a los Andes del Perú (Cerro del Pasco, 4.350 metros). Disponía de un laboratorio ambulante, instalado en un vagón de ferrocarril, dotado de un equipo completo para el análisis de gases, experimentos físico-químicos y una instalación radiológica.

En condiciones análogas realizó MONGE (17) investigaciones sobre la eritemia de la altitud (1928), transportando en ferrocarril, a las personas objeto de su experimento, desde el borde del mar hasta 5.000 metros de altitud.

En nuestro país, las investigaciones al respecto comenzaron bastante tarde. Se debe en gran parte a la falta de alturas en el territorio nacional y a la falta de proyección de nuestros montañeros al exterior, hasta fechas muy recientes. Por esto, no podemos seguir adelante sin mencionar al doctor AREILZA que en 1924 nos deja bien clara su colaboración (16).

Se instalaron laboratorios en alta montaña, algunos de los cuales son bien conocidos: Instituto Mosso en el Puerto de Olen (2.871 metros), Observatorio Vallot, en el Mont Blanc (4.350 metros) y sobre todo la magnífica estación científica de estudios alpinos de la Jungfrauoch (3.450 metros), fundación internacional inaugurada en 1931. A menor altura se encuentra el Instituto Davos, que posee también los laboratorios anejos de Muottos Muraigl (2.150 metros) y de Cornergrat (3.100 metros). En el Perú hay uno situado en Tielio (4.800 metros) y otro en Cerro de Pasco (4.200 metros). En Estados Unidos, el de la Estación de la Montaña (.800 m.) en California (1, 18).

Estos laboratorios tienen la ventaja de disponer de un equipo permanente o semipermanente. Los investigadores pueden instalarse en ellos, más o menos confortablemente, durante períodos relativamente largos.

Los laboratorios de llanura provistos de cámaras de depresión son hoy numerosos en todos los países, debido a los múltiples problemas que plantea la aviación estratosférica y la astronáutica. Estas cámaras tienen formas y volúmenes diferentes, y todas derivan de la antigua campana construida por JUNOT y perfeccionada por PAUL BERT. El aire es aspirado por medio de una bomba, mientras que una válvula permite la entrada de aire fresco. Así se evita el confinamiento, y al mismo tiempo se mantiene en la campana la presión atmosférica deseada.

Generalmente, los experimentos en cámaras se hacen para estudiar el comportamiento del hombre a altitudes alcanzadas sin transición o en muy poco tiempo. Con frecuencia sirven también para comprobar los aparatos de protección contra los efectos de la altitud empleados en la aviación. Pero también se utilizan para otros objetos, por ejemplo, para provocar y estudiar la aclimatación a la altitud. En 1946 se efectuó, en la Naval School of Aviation Medicine de Pensacola (Florida), un experimento en que se alcanzó una altitud ficticia que

aumentaba progresivamente, dejando que se produjesen los procesos de aclimatación en los individuos encerrados en la cámara. Al cabo de 34 días, los sujetos sometidos a la prueba vivían normalmente a 6.000 metros de altitud artificial. Dos de ellos pudieron remontarse, durante breves períodos de tiempo, hasta 8.000 metros y, con un equipo normal de inhalación de oxígeno, alcanzaron 13.700 metros, lo cual rebasa en unos 3.500 metros la altura a la que puede llegar un hombre no aclimatado (13).

Las experiencias en cámaras hipobáricas han dejado de usarse, hoy día, por no reunir las condiciones reales de altura (5).

Todas estas investigaciones pueden ayudar a las que se realizan en alta montaña, o complementarlas. Los datos obtenidos de uno y otro sector se complementan, porque las condiciones experimentales son distintas. ¡Cuántos datos interesantes aportó la expedición inglesa de 1924 al Eyerest (19) y, sobre todo, las que realizaron los alemanes en 1931 al Kangohenyunga (20) y, en 1938, al Nanga-Parbat (12).

Ellas hicieron posibles las de los suizos al Kangchenjunga en 1949 (13), de los franceses al Annapurna en 1950 (21) (Primer ochomil conquistado), de los suizos al Everest en 1952 (14) y de los británicos que, en 1953, lograron escalar, por fin, el «techo del mundo» (22).

MAL DE MONTAÑA AGUDO O SOROCHE AGUDO

El jesuita JOSE DE ACOSTA, como ya hemos dicho, fue autor de una interesante crónica (11), al observar, durante una travesía por los Andes del Perú, en sí mismo y en sus compañeros, ciertas alteraciones que luego achacó a la rarefacción del aire. Hoy día, todo individuo relacionado con la montaña, sabe acerca de este mal y de su posible presentación.

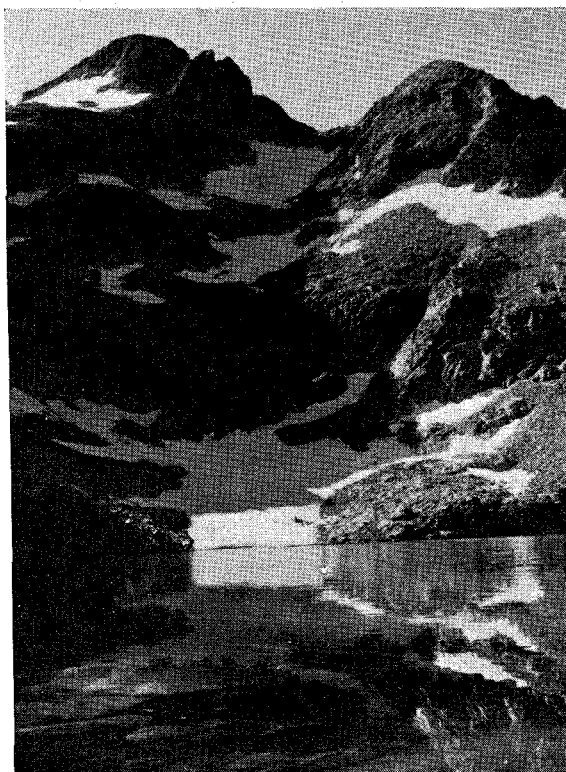
Como es lógico suponer, los síntomas del mal de montaña agudo son en extremo variables; en algunos sujetos, deficientemente adiestrados, llegan a ser muy aparatosos; mientras que en otros, con cierto grado de adaptación a la altura, apenas se ponen de manifiesto. También aparece este mal en animales trasladados a la altura. Los animales domésticos son más resistentes al mal de montaña; sin embargo, el ganado bovino puede presentarlo (23, 24). Los niños tienen menor resistencia frente a las deficiencias de oxígeno (25). La intensidad de los síntomas guarda relación con el nivel de altura a la que se asciende y con la velocidad de ascensión. Los síntomas en el hombre, en orden progresivo, son:

- Disminución de la amplitud respiratoria
- Mayor fatigabilidad
- Respiración irregular
- Piel seca
- Perturbación del sueño
- Gas en estómago e intestino
- Dolor de cabeza
- Pulso irregular
- Laxitud.

En casos más severos, hay además:

- Náuseas
- Vómitos
- Epístaxis
- Temblor muscular
- Cianosis, y

— Colapso, que puede terminar con la muerte, si no se soluciona rápidamente. Desde los primeros momentos hay policitemia, al principio por esplenocntracción y más tarde por hiperplasia de medula ósea (26).



SHIPTON, en el relato de la expedición inglesa de 1933 al Everest, en la que él tomaba parte, nos narra unos casos muy curiosos de mal de montaña (19). Dice así: «El pobre y valiente KIPA se hallaba en un deplorable estado. Todos los síntomas eran de que había perdido el juicio. Durante mucho tiempo estuvo firmemen-

te convencido de que había muerto; en consecuencia, no había manera de inducirle a moverse, pues, decía él con perfecta lógica, ¿cómo puede un muerto andar, aunque sea cuesta abajo? Incluso cuando, al cabo de unas semanas, empezó a hacerse a la idea de que estaba vivo, siguió aferrado a su hipótesis original y atribuyó su extraordinario restablecimiento a la magia de GREENE. Lo peor es que no eran sólo porteadores los que sufrían estos accesos de locura o alucinación». Más adelante nos relata su propia suerte con estas sencillas palabras: «Descubrí de repente que sufría un acceso de afasia y no podía articular las palabras correctamente. Por ejemplo, si quería decir: —dame una taza de té—, me salía algo totalmente distinto, como: —tranvía, ponga, gato—. Era una situación extremadamente alarmante y me recordó la suerte del banquero de «The Hunting of the Snark», aunque me fueron perdonados los síntomas más espectaculares de su enfermedad».

Observaciones semejantes a las realizadas por JOSE DE ACOSTA, fueron las llevadas por BENEDICTO DE SAUSSURE, en sus varios intentos por alcanzar la cumbre del Mont Blanc. También fueron observadas por MICHEL GAGRIEL PACCARD, quien coronó por primera vez el Mont Blanc, en la tarde del 8 de agosto de 1786, acompañado de JACQUES BALMAT (27).

El suprimir las molestias de mal de altura es, las más de las veces, muy sencillo y basta con dejar reposar al sujeto afectado, otras, sin embargo, es necesario hacerlo descender a cotas más bajas, e incluso hay veces que tenemos que administrar alguna medicación sintomática.

Como ya sabemos, es mejor prevenir que curar y en consecuencia la profilaxis del mal de montaña se consigue con una buena aclimatación. La aclimatación es un mecanismo orgánico que permite la vida en condiciones ambientales a las cuales no se está acostumbrado, pero a las que es posible llegar a acostumbrarse. Por lo que toca a las grandes alturas, diremos que tal acostumbramiento se consigue «siempre y cuando se deje al organismo el tiempo suficiente para compensar los efectos agresivos que provoca la altitud, como son: la hipoxia, el frío, la deshidratación y los efectos actínicos de la altura» (28).

Es un hecho perfectamente conocido por todos los que ascienden a las montañas himalaayas que, para encontrarse en las condiciones físicas necesarias para salir adelante de tan agotadoras jornadas, la única condición vital a seguir es la de permanecer el tiempo suficiente

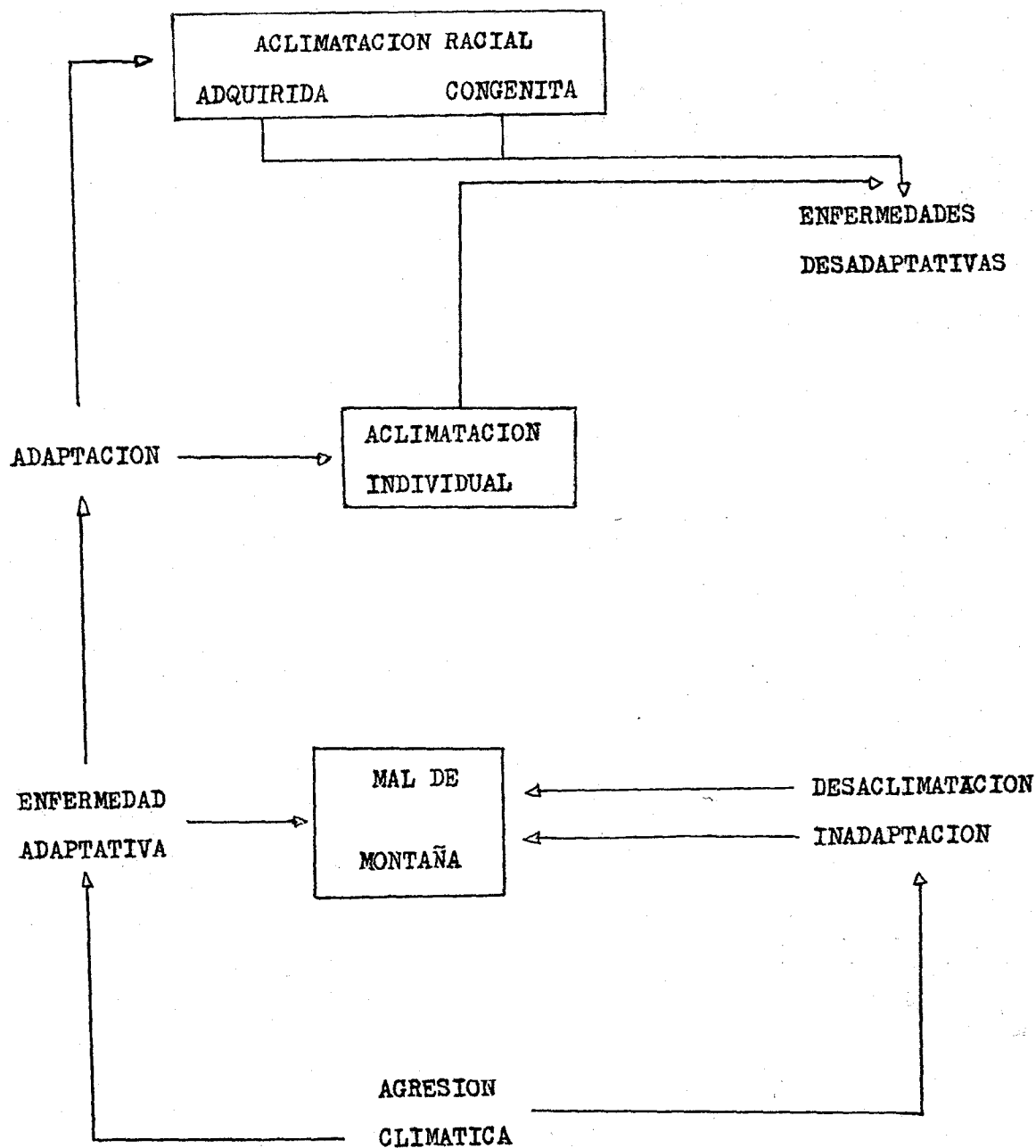
a baja altura para que el organismo vaya adaptándose, e ir ascendiendo lenta y paulatinamente.

La mejor confirmación de una mala aclimatación nos la dan algunos grupos de montañeros que, no acatándola, han experimentado en carne propia el rigor de condiciones ambientales para ellos extremadamente adversas (21, 29).

Una buena pauta de aclimatación, es la de instalar un campamento de aclimatación a una altura aproximada de 4.000 metros, y desde él hacer diversas ascensiones para bajar a dormir, los primeros días a dicho campamento. Posteriormente se procede a la instalación de un campamento base entre 5.000 y 6.000 metros, y permanecer alrededor de una semana repitiendo la misma operación, que se puede aprovechar para instalar el campamento inmediato superior. Sólo entonces se encontrará el grupo en condiciones óptimas para la ascensión, teniendo en cuenta que nunca se debe ascender más de 500 ó 600 metros por día, en cotas superiores a los 6.000 metros (10, 29, 30).

Cuando se ha llegado a una altura de 7.000 metros, empieza a ser una evidencia el desgaste orgánico del montañero. Y sobre este particular, conviene consignar lo dicho por dos hombres de ciencia que al mismo tiempo son destacados alpinistas GRIFFITH PUGH y MICHAEL WARD (22). Estos, han estudiado los cambios que experimentan los animales de laboratorio sometidos a las presiones barométricas correspondientes a altitudes de 6.000 y 6.500 metros, y han podido observar que dichos animales presentaban profundos cambios degenerativos en el hígado, riñón y otros órganos, siendo de suponer —afirman— que en el hombre también se deben de presentar las mismas alteraciones. Consignan que por encima de los 7.000 metros, son más patentes los efectos agresivos del hostil medio ambiente.

El médico ginebrino WYSS - DUNANT (28), que ha realizado magníficas observaciones en el Himalaya, nos dice lo siguiente: «Al llegar a la zona de adaptación se llega también a la zona de deterioro fisiológico. La recuperación disminuye notablemente; las reservas corporales no son suficientes para mantener equilibrado el gasto energético: prueba de ello es la pérdida de peso tan acentuada (8 a 10 kgs.) que se observa en aquellos que llegan a altitudes superiores a los 8.000 metros. Esta es la zona letal, en la que no es posible, sin riesgo grave, pasar 3 ó 4 días. Se puede aclimatar un organismo hasta los 7.000 metros; se adapta entre 7.000 y 8.000 metros, pero por encima de esta altura es imposible tanto la aclimatación como la adaptación».



Cuadro de Aclimatación según MONGE (31).

PFISTERER (30) ha comparado los diagramas ascensionales de tres expediciones al Himalaya y muestra cómo las dos tentativas con éxito, el monte Everest (22) y el Nanga Parbat, se han realizado atendiendo a las reglas de la aclimatación. La escalada al Annapurna en 1950 (21), por el contrario, fue realizada muy rápidamente. PFISTERER, atribuyó a esta

causa uno de los motivos de la escasa resistencia opuesta por uno de los miembros de la expedición, en ocasión de la tempestad que tuvo lugar durante el descenso.

Se ha podido comprobar, que los signos y síntomas del «mal de montaña», no se manifiestan nunca, en personas sanas, hasta transcurridas unas 6 a 10 horas de permanencia en la

altura, debiéndose admitir que el organismo humano dispone de una pequeña capacidad de reserva o adaptación, que le permite soportar durante este tiempo la altura, comprendiéndose, así, que los turistas que hacen uso de los teleféricos para subir y bajar en el espacio de pocas horas, no sufran las molestias del «mal de montaña agudo» (32).

MAL DE MONTAÑA CRÓNICO O ENFERMEDAD DE MONGE

El mal de montaña crónico, es una condición climática especialmente relacionada con la exposición a la baja tensión del oxígeno. Fue descrita por MONGE en 1928 (17).

Muchos pacientes que presentan la enfermedad de MONGE, son nativos de las alturas o personas que después de haber vivido muchos años adaptados a la altura, presentan manifestaciones de desadaptación, que se inicia insidiosamente con:

- fatiga
- cefaleas
- tendencia al sueño, etc.

Más tarde, puede aparecer:

- congestión de la piel y mucosas
- eritemia
- trastornos del aparato cardiovascular y respiratorio
- policitemia
- hipervolemia
- alteraciones físicas y químicas de la sangre.

Esto, puede desaparecer con reposo, tratamiento o exportáneamente.

Otras veces, los síntomas se agravan y obligan al paciente a descender a otros lugares más bajos, donde su recuperación puede ser completa; esto corresponde a la forma subaguda que puede evolucionar a la cronicidad, caracterizada por alteraciones funcionales y anatómicas, como:

— Deformación de los dedos en palillo de tambor (osteopatía deformante de PIERRE MARIE).

— Hipertrofia cardíaca o predominio de ventrículo derecho.

- Insuficiencia cardíaca y respiratoria.
- Disminución de la capacidad vital.
- Disnea intensa.
- Hemorragias, principalmente epístaxis.
- Síntomas neurológicos y mentales: algias, parestesis, cambios de personalidad, crisis de confusión mental, disminución de la memoria, dificultad para el cálculo matemático en los casos más severos.

— La muerte sobreviene por insuficiencia

cardíaca, trombosis pulmonar u otras complicaciones como bronconeumonía. Aún en casos de gravedad, la recuperación puede ser completa descendiendo a lugares más bajos (9, 13, 33).

Las alteraciones patológicas son semejantes a las que se encuentran en personas muertas a baja tensión. En los escasos pacientes autopsiados (9), se ha encontrado:

— Hipertrofia cardíaca, dilatación de cavidades derechas, focos de necrosis, degeneración basófila y calcificación del miocardio.

— Hipertrofia de suprarrenales con áreas de necrosis y hemorragias en la corteza.

— Hígado con zonas alternas de congestión y necrosis centrolobulillar, semejante al hígado en la insuficiencia cardíaca congestiva.

— Atrofia del tejido linfoide en bazo y ganglios linfáticos.

— Pulmones pesados, muy congestionados, con engrosamiento de la pared alveolar y aumento de tamaño de los alvéolos pulmonares.

Según MONGE (31), existen varias formas de «mal de montaña crónico»:

— Mal de montaña crónico grave

— Mal de montaña crónico leve.

Este último, incluye dos formas:

— Forma leve: que permite al hombre vivir y reproducirse y que conducirá a la aclimatación (aclimatación racial).

— Forma no reproductiva: el individuo vive aparentemente normal, pero no se reproduce (aclimatación individual). Este proceso es excepcional.

MONGE acaba diciendo: «La fertilidad es el índice de la aclimatación».

VARIACIONES HEMATICAS

De sobra es conocido, que la exposición a la baja tensión de O_2 , determina un aumento de los hematíes y de la hemoglobina. Ahora bien, como anteriormente se ha dicho, el aumento inicial del número de hematíes, corresponde a una contracción esplénica, pues este aumento tiene lugar, antes de que sea posible una respuesta medular.

Investigaciones realizadas en una reciente expedición al Himalaya (1), han revelado que el contenido de hemoglobina en la sangre, va aumentando progresivamente durante los dos o tres primeros meses y se estabiliza luego. Si los alpinistas estudiados seguían ascendiendo, desde 3.950 metros hasta 5.770 metros o más, el número de hematíes en sangre aumentaba de modo continuo, por lo menos, durante 38 semanas.

Existen muchos puntos de similitud entre las hemoglobinas humanas, adulta (Hb A: alfa₂, beta₂) y fetal (Hb F: alfa₂, gamma₂). Ambos

pigmentos contienen idénticos grupos Hem, pero diferentes globinas, según han demostrado KORBER y KRUGER.

Se ha observado, que el aumento de la hemoglobina relacionado con la altura, es menor en las mujeres; pareciendo que estas tienen mejores condiciones para aclimatarse y vivir en las alturas. Hay que señalar que la hemoglobina F puede encontrarse en la sangre de los adultos en mayor cantidad de la normal. Así, en la vida intrauterina la hemoglobina F representa casi el 100 % de la hemoglobina circulante en el feto; en el recién nacido, del 55 al 90 %, y en el adulto normal, del 1 al 2 %. También en la mujer embarazada se encuentra un ligero aumento de la hemoglobina F, explicable, en principio, porque algunas células fetales pueden atravesar la placenta pasando a la circulación materna. De igual forma se postula que la Gonadotropina coriónica, o bien cualquier otro producto trofoblástico, puede estimular la producción de la hemoglobina fetal.

La función de la hemoglobina F es aún desconocida, pues no parece necesaria para transferir oxígeno de la sangre materna a la fetal. La explicación de la función de la hemoglobina F, generalmente aceptada, es que representa «una adaptación específica a la vida in utero», proveyendo al feto de eritrocitos con mayor afinidad por el oxígeno.

COPAJA (18) ha encontrado en los recién nacidos, las siguientes cantidades de hemoglobina:

A 4.800 metros: 18,3 - 23 grs. % (de cordón y talón).

A 4.500 metros: 16,5 - 20 grs. % (de cordón y talón).

A 200 metros: 15,4 grs. % (valor medio).

Sin embargo las determinaciones de Hb F en recién nacidos, no experimenta variación con la altura.

En las grandes alturas, debido a la gran actividad eritropoyética medular estimulada por la hipoxia, el «stress» patológico medular, se asocia como continuación de los mecanismos productores de la hemoglobina F. En cambio el «stress» fisiológico medular, tal como policitemia primaria a secundaria, embarazos, hipoxias asociada a cardiopatías congénitas cianóticas, no parece estar asociado a la producción de hemoglobina F en el adulto ni en el recién llegado a la altura.

En el hombre adulto, expuesto a la gran altura, se produce exclusivamente hemoglobina adulta normal, porque fisiológicamente es más útil frente a las condiciones hipóxicas existentes.

Además, la hemoglobina fetal posee mayor afinidad por el oxígeno, pero esta afinidad será un inconveniente a la hora de cederlo a la célula necesitada.

Muchos autores han estudiado este problema (7, 18, 34, 35, 36, 37, 38, 39), y sería exhaustivo nombrarlos a todos. Lo que no ha sido demasiado bien estudiado, es la situación medular en estas fases; REYNAFARJE (40) y HURTADO (34) están de acuerdo, en que en la médula ósea hay una hiperactividad de la formación de las células de la serie roja y normalidad en la formación de las células de la serie blanca.

	A 0 m.	A 3.120 m.	A. 3.740 m.	A. 4.560 m.
Hematíes - mill./mm. ³	5,14	5,65	5,67	6,14
Hemoglobina	16,—	16,85	18,82	20,76
Hematocrito	46,80	50,36	54,10	59,90
Reticulocitos %	0,5	0,47	0,8	1,5
Bilirrubina total - mgrs. %	0,72	0,84	1,47	1,56
Bilirrubina indirecta - mgrs. %	0,35	0,68	—,—	1,10
Bilirrubina directa - mgrs. %	0,37	0,16	—,—	0,46
Volumen sanguíneo - litros	5,21	5,36	6,15	6,98
Volumen plasmático - litros	2,82	2,55	2,76	2,65
Volumen hematíes - litros	2,34	2,79	3,36	4,29
Hb. total - grs.	788,—	905,01	1.150,—	1.464,—
Glucosa - mgrs./100 ml.	105,0	64,0	78,0	82,—
Ac. láctico - mgrs./100 ml.	11,0	12,76	12,59	14,07
Ac. pirúvico - mgrs./100 ml.	1,37	1,52	2,16	2,15
Presión parcial de O ₂	150 mm.	104 mm.	96 mm.	89 mm.
Presión barométrica	760 mm.	518 mm.	480 mm.	446 mm.

Según MONGE (37).

ASTE y HURTADO (38), estudian la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno comparativamente, a 4.500 metros y a nivel del mar. No aprecian mayor afinidad por el oxígeno en ninguno de los dos casos. Solamente resaltan una ligera desviación hacia la derecha, de la curva de disociación de oxígeno.

A la vista del cuadro anterior, MONGE (37) saca la siguiente conclusión: «Para que el hombre del nivel del mar pueda convertirse en un hombre aclimatado sobre los Andes, debe construir dos litros más de sangre y 676 gramos más de hemoglobina y elevar la concentración de bilirrubina sanguínea en un 100 % y la del ácido pirúvico en un 80 %».

CHIODI (39) en sus estudios con nativos de los 4.500 metros de altura, observa (como todos) un aumento de hematíes y hemoglobina, aumento del volumen globular admitiendo amplias variaciones individuales, no observa relación entre la respuesta hematopoyética y la duración de la hipoxia. La policitemia la describe como de tipo normocrómico. Observa, también, alteraciones de la fórmula leucocitaria por aumento de las células mononucleares con disminución de polinucleares neutrófilos, pero sin cambios notables del número total de leucocitos. Retardo de la velocidad de sedimentación globular.

ANDUAGA (41), también estudia la sangre de estos sujetos y fija mayor atención en las alteraciones leucocitarias. Nos da los siguientes resultados:

— Cuando un sujeto nativo del nivel del mar sube a la altura, los leucocitos totales aumentan en las primeras 6 horas, para luego ir descendiendo gradualmente hasta el 8.º día, en que alcanza de nuevo los valores que tenía antes de subir a la altura.

— Toda la serie blanca aumenta a las 6 horas para luego descender de forma gradual.

— Los eosinófilos aumentan hasta las 6 horas para luego descender hasta un 33 % por debajo de los valores de estos mismos sujetos a nivel del mar.

— Los linfocitos pequeños mantienen el ascenso hasta las primeras 18 horas para luego descender bruscamente.

— Cree que hay poderosas evidencias de que los linfocitos pequeños aumentan en su tránsito por la sangre periférica, probablemente ante la mayor demanda de células primitivas.

— Los linfocitos pequeños, quizás desempeñen el papel de células primitivas.

Cuando un hombre ha estado alguna vez en su vida, en cotas elevadas y vuelve a ellas al cabo de, incluso, años, tiene una facilidad para volverse a aclimatar a las alturas, mayor de la

que presentan los que van por primera vez a ella. Este hecho, unido al mecanismo de aclimatación, al que MONGE ha llamado «aclimatación racial y unido a estas variaciones de los linfocitos, hace que se sospeche, que la aclimatación podía ser un mecanismo inmunológico e incluso transmitirse en sucesivas generaciones. Teoría un tanto revolucionaria, de llegar a demostrarse. Ayuda, un poco, a inclinarse a favor de esta teoría, un hecho curioso: la *Drosophyla* mantenida durante un mes a 4.250 metros de altitud, presenta un significativo cambio de las mutaciones, que puede relacionarse con la acción de los rayos cósmicos que a esa altura son 15 veces mayores que a nivel del mar.

KRUGER (42), compara la situación del colesterol y de los lípidos en la sangre de trabajadores de la altura y del nivel del mar y no encuentra variación alguna entre los dos grupos. Solamente nos dice, tristemente, que el estado de nutrición de estos sujetos, deja mucho que desear y añade que un 70 % se encuentran en la situación de «Malnutridos».

Tal vez el aumento de hemoglobina sea lo que mejor indique el papel de la sangre en la aclimatación. Le eritropoyesis acelerada precisa una superproducción de hemoglobina que incluso puede dar lugar a una deficiencia relativa de hierro y un exceso de porfirina.

Se ha comprobado que esta eritropoyesis acelerada, se origina también en caso de permanencia, durante largo tiempo, en una cámara de hipopresión: pero no se presenta en caso de respirar oxígeno, aunque la cámara se mantenga a una presión inferior a la normal. No hay duda que el déficit de oxígeno es el determinante del aumento de hemoglobina; pero su mecanismo íntimo no está bien conocido.

Se ha encontrado que el suero de conejos, que durante uno o dos días, había estado expuesto a una atmósfera enrarecida que correspondía a 5.000 metros, inyectado a animales anémicos aceleraba su regeneración sanguínea. La hipótesis de la existencia de una «Hemopoyetina», debe tenerse en consideración.

Muchos datos hablan en favor de que la deficiencia de oxígeno determina el desarrollo de reacciones bioquímicas especiales y que por los productos de estas reacciones, y no directamente por la deficiencia de oxígeno, se ponen en función un grupo de adaptaciones. La hemoglobina, a nivel del mar, es de 16 grs. %; mientras que en la altura antes citada llega a 20,2 gramo %. La poliglobulia de altura se detecta, según algunos autores, a 700 metros, siendo en los primeros momentos debida a la contracción esplénica, como se ha dicho anteriormente, ya que la neoformación no llega hasta

los 15 ó 20 días. El hombre, gracias a este aumento de hemoglobina, llega a mantener una cantidad normal de oxígeno en sangre hasta más allá de los 3.000 metros.

Se ha exagerado, en algunas publicaciones, sobre el número de glóbulos rojos, hemoglobina, viscosidad sanguínea, que se presentan en la altura, por ello considero necesario transcribir la tabla, publicada por MONGE (37) en 1951, sobre un estudio hemático realizado a nivel del mar y a 3.000 metros de altura (pág. 1).

APARATO RESPIRATORIO

El problema, en el aparato respiratorio, se presenta a causa del frío, sequedad del ambiente y baja tensión de oxígeno. Los otros factores: radiaciones ionizantes, ultravioletas, etc., tienen aquí menos interés. Al tratar este tema, suponemos al hombre situado por encima de los 2.500 metros.

La impresión de fortaleza física y el enorme tórax del montañés, han sido observados desde Hipócrates. Naturalmente, esto es más acentuado, cuanto mayor es la altura en la que habita el montañés.

La primera reacción del aparato respiratorio en la altura es un aumento del débito respiratorio, tratando de conseguir que llegue a los pulmones la misma cantidad de oxígeno que a nivel del mar. El volumen respiratorio aumenta proporcionalmente a la depresión atmosférica, CASTELLO (6).

Los efectos de las reacciones anatómicas y funcionales sobre el organismo humano, conducen a un patrón antropológico característico. Efectivamente, hay una reacción lineal entre altitud, volumen torácico y volumen de sangre en el pulmón. Desde un punto de vista evolutivo, MONGE (37) establece este postulado: «La posibilidad de un proceso adaptativo que permitiría al tórax contener una gran cantidad de sangre, comparativamente mucho mayor a la que contendría a nivel del mar». Puesto que la relación antropométrica tórax-altitud, es más acentuada en la altura, es presumible que la cantidad de sangre contenida en el tórax, también debería ser más considerable. Esta hipótesis la ha estudiado MONGE, CASSINELLI y colaboradores (43), mediante la técnica de dilución del colorante de NEWMAN, y le permite las siguientes determinaciones: volumen de sangre total, volumen sistólico, volumen de sangre en el pulmón y tiempo circulatorio.

Como se había supuesto, basándose en consideraciones clínicas, se encontró mayor volumen de sangre total y de sangre pulmonar, en el hombre de altura, concretamente en el hombre de los Andes. Además, la relación volumen

pulmonar a volumen total también se encontró más elevada. Mientras que el volumen de sangre por kilo de peso es de 11 cc/kg. a nivel del mar, a 4.800 metros es de 20 cc/kg. Pero todavía, la relación volumen pulmonar de sangre a volumen total es del 15 % al nivel del mar y del 20 % a la altura anteriormente citada. De esta manera, la hipótesis queda confirmada.

A nivel del mar, a 760 mm. de Hg. de presión atmosférica, con una presión parcial de oxígeno de 159 mm. Hg.; el oxígeno que está en los alvéolos pulmonares disfruta de una presión de 103 mm. Hg. y consigue saturar en un 95 % la hemoglobina de la sangre. De esta forma se facilita entre 19,5 a 20,5 cc. de oxígeno por 100 cc. de sangre, o sea, 200 cc. de oxígeno por litro. La saturación de hemoglobina va disminuyendo con la altura creciente, esto repercute directamente en el aporte de oxígeno a los tejidos.

Es muy interesante señalar las disordancias que presentan las cifras de concentración alveolar de oxígeno y de saturación de hemoglobina, publicadas por diversos autores. Como ejemplos transcribo las tablas de WIGGERS, ASTRAND y RUFF.

Pies	Mts.	P. at.	P. alveolar O ₂ mm. Hg.	Saturación de sangre arterial
0	0	760	100	96
4.000	1.219	656	84	94
7.000	2.128	586	76	90
10.500	3.192	512	67	88
14.500	4.408	438	54	80
19.000	5.774	364	41	73

Según WIGGERS (6).

Pies	mts.	Presión de O ₂ Aire insp.	en mm. Hg. Aire olvéolo
0	0	159	103
2.000	610	148	94
4.000	1.219	137	85
6.000	1.829	127	76
8.000	2.438	118	66

Según ASTRAND (6).

Mts.	P. at. mm. Hg.	P. parcial de O ₂ en mm. Hg.	P. alv. O ₂	Saturación sangre O ₂
2.600	564	108	67	90
3.200	518	98	52	85
4.500	446	84	45	77
5.200	412	76	38	71
6.000	364	66	34	66
7.500	280	47	30	50

Según RUFF y Col. (44).

Para contrarrestar el ambiente enrarecido e hipoxia de altura, el organismo, como un todo, establece respuestas compensadoras para aprovisionarse de una cantidad normal de oxígeno que satisfaga las necesidades del requerimiento metabólico. Todas las funciones respiratorias entran en juego para compensar el déficit de oxígeno ambiental.

El pulmón anatómico crece, la ventilación respiratoria pulmonar aumenta su «función fuente»; la capacidad total está sumamente elevada, hay un incremento relativo y absoluto del aire residual, lo que sugiere un «enfisema fisiológico» verdadero (45). Morfológicamente se ha señalado una hipertrofia del lecho capilar (46), hecho que puede referirse a la antigua observación de D'ORBIGNY que señaló el gran tamaño de los pulmones de los hombres del altiplano boliviano.

Como consecuencia de la hiperventilación, el hombre aclimatado es capaz de ajustes respiratorios adecuados, con el objeto de eliminar el ácido carbónico y mantener la fijeza del pH sanguíneo.

A este respecto, ASTE (47) encuentra un descenso de la reserva alcalina proporcional a la altura. Este descenso está en relación lineal con la altura hasta los 5.000 metros, por encima de los cuales, el descenso es más marcado. A estas observaciones se oponían las antiguas

de DILL y col. que observaron un pH normal, aunque con una ligera desviación hasta el lado de la alcalinidad.

MONGE (37), señaló que la capacidad de los tampones aumentan con la altura, de forma que el pH es más estable, para la misma capacidad de trabajo, en las grandes alturas que a nivel del mar.

HURTADO (34), hace mención especial sobre las variaciones torácicas y respiratorias del hombre de altura, y fija su atención en la relación de los diámetros torácicos, todos ellos medidos por radiología. Observa, en primer lugar, la notable amplitud torácica y describe este tórax como grande y algo redondeado, dándonos la impresión de que coincide con la descripción de «tórax enfisematoso fisiológico». Observa aumento de los diámetros antero-posterior y transversal con disminución del longitudinal. Mayor área pulmonar. El volumen radiológico es igual que en el habitante del nivel del mar; pero es mayor en relación con estatura y superficie corporal. En contrapartida, con lo que cabría esperar, el hombre de altura según HURTADO, hiperventila por mayor frecuencia respiratoria y con menor volumen en cada inspiración. El consumo de oxígeno es igual al del hombre a nivel del mar, en proporción con la superficie corporal.

	Nivel del mar	A 4.500 m.
Peso / Estatura	37,0	32,6
Vol. Radiológico Torácico	12,84	12,53
Vol. Rad. / Estatura	7,57	8,28
Vol. Rad. / Supf. corporal	7,48	8,36
Diámetro Torácico Ant. - Post.	20,5 cm.	22,0 cm.
Diám. Torác. Transv.	28,8 cm.	29,2 cm.
Diám. Torác. Long.	25,2 cm.	22,8 cm.
Diám. Ant. - Pos. / Trans.	71,4	74,3
Aire alveolar	1,5 l.	2,0 l.
Ventilación pulmonar	8 l/m.	10,40 l/m.
Número de Hematíes	5.120.000/mm. ²	6.420.000/mm. ³
Hemoglobina	16,60 grs. %	20,20 grs. %
Diámetro globular medio	7,48 micras	7,74 micras
Vol. de sangre	85,2 cc/K.	105,2 cc/K.
Vol. plasmático	46,5 cc/K.	37,6 cc/K.

Tomado de A. HURTADO (34).

En relación con el intercambio respiratorio, CASTELLO (6) nos señala dos factores capaces de limitar la capacidad de esfuerzo de un individuo:

— La cantidad máxima de oxígeno, que puede absorber, transportar y utilizar por minuto,

que está determinada por la eficacia con que los sistemas respiratorio y circulatorio realizan sus ajustes adecuados. Individuos sanos y preparados alcanzan una absorción máxima de 4 lt./min. Este factor limita «la velocidad de un ejercicio».

— El otro factor, es el volumen de la deuda de oxígeno que el organismo puede contraer. Este factor limita «la duración de un ejercicio». Cuanto mayor sea la deuda de oxígeno que el organismo soporta, mayor será el tiempo durante el cual podrá realizar un ejercicio. Esta deuda de oxígeno es distinta para cada individuo, es mayor en los atletas bien entrenados y en el «hombre de altura» y se calcula su máximo en 20 litros de oxígeno.

Metros	Absorción máxima de O ₂ lt./min.	Trabajo máximo Kgrs./min.
0	3,72	1.600
2810	3,02	1.380
3660	2,56	1.180
4700	2,19	910
5340	1,80	680

Cuadro de CHRISTENSEN (6), sobre rendimiento de trabajo en la altura.

En alta montaña, la respiración, a pesar de llegar a su máxima ventilación, no es suficiente para compensar la disminución de la presión del aire. La cantidad de oxígeno absorbido, en montaña, disminuye en función de la altura, por consiguiente, la capacidad de trabajo se encontrara disminuida en las grandes alturas, CASTELLO (6).

Sin embargo, HURTADO (34) dice que la respiración celular es la base que permite al hombre en la altura, rendir exactamente igual que a nivel del mar.

CASTELLO (6) ha realizado exámenes en el refugio Torino (3.330 m.) situado en el macizo del Mont Blanc, en el corazón de los Alpes, con montañeros veteranos y observó una disminución de la capacidad vital de un litro o más durante los primeros días; a los doce días de permanencia a esta altura y ascensión a los altos picos alpinos, los montañeros habían conseguido su completa aclimatación, recuperando su capacidad vital e incluso superarla.

Al principio del capítulo, se señalaron otros dos factores importantes: el frío y la escasa humedad ambiental. Según LAPRAS (48) la extraordinaria sequedad de las alturas provoca la excesiva desecación de las mucosas respira-

torias superiores y hace que la receptividad a las infecciones se encuentre acrecentada. Según MARCHAL (49), el hombre en la necesidad de humedecer el aire inspirado, puede perder de 1,5 a 2 litros de agua diarios, en las alturas.

SISTEMA CARDIOCIRCULATORIO

No nos podemos apartar, según CASTELLO (7), del esquema de MONGE para comprender la situación circulatoria del sujeto que se trasladada a la altura. En la primera fase, «enfermedad adaptativa», el corazón, bajo el mando del simpático, se acelera. Los investigadores suizos y norteamericanos trabajando separadamente los primeros en Jungfrauoch y los segundos en el Pike's Peak, llegaron a la misma conclusión, el débito cardíaco en esta fase está aumentado. La hipoxia aumenta la frecuencia cardíaca por medio de los centros reguladores bulbares, pues el corazón por sí mismo, reacciona con un entelecimiento frente a la hipoxia y con un aumento considerable de la circulación coronaria. Una disminución de saturación de oxígeno de un 10-15 % tienen poco efecto; pero un descenso de un 40-50 % puede aumentar la circulación coronaria de 4 a 5 veces.

La frecuencia cardíaca disminuye después de un tiempo de permanencia en la altura. Este tiempo es proporcional a la altura y al cuidado con que se ha llevado la aclimatación. El débito cardíaco también vuelve a las cifras del nivel del mar. Estos resultados están íntimamente ligados con la poliglobulia, la hiperhemoglobinemias y el aumento de volumen sanguíneo.

Existe una diferencia interesante entre la regulación de la respiración y la de la circulación en la altura. Me refiero al hecho de que siendo permanente la disminución de la presión parcial de oxígeno, la elevación de la frecuencia y del débito cardíaco, comprobado en la primera fase, desaparecen en el curso de la aclimatación, mientras que el débito respiratorio queda siempre aumentado en montaña.

ROTTA (50), estudia el índice cardíaco que corresponde al volumen de expulsión, expresado en lt./min./m.². En los sujetos de nivel del mar, el promedio fue de 3,50 lt./min./m.², mientras que en los residentes temporales, pero aclimatados, de altura y en los nativos, el índice cardíaco fue de 3 y 3,33 lt./min./m.².

	(1)	(2)	(3)	(4)
Edad media	21,1	21,2	23,7	33
Supf. corporal m. ²	1,71	1,66	1,59	1,59
P. CO ₂ mm. Hg.	42,9	23,7	31,5	37,7
Hb. grs. %	15,4	19,0	20,7	26,2
Hb. O ₂ arterial %	98,0	84,0	79,6	70,6
T. A. mm. Hg.	129/72	102/70	102/65	90/67
Pulso p/m.	79	74	72	78
Consumo O ₂ cc/m.	241	226	232	240
Débito cardíaco l/m.	5,98	4,97	5,29	7,23
Ind. cardíaco l/m/m. ²	3,50	3,00	3,33	4,51
Vol. sistólico cc.	76	67	75	94
P. art. pulmonar S mm. Hg.	21	25	38	49
P. art. pulmonar D mm. Hg.	7	12	15	27
Trab. Vent. deh. Julios/m.	9	12	17	40

(1) Adultos sanos residentes a nivel del mar.

(2) Adultos sanos con un año de residencia a 4.500 metros.

(3) Adultos sanos nativos y residentes a 4.500 metros.

(4) Adultos con «mal de montaña» crónico.

Según ROTTA (50).

INFLUENCIA DE LA ADMINISTRACION DE O₂ A 4.500 m. DE ALTURA

	Residentes de 1 año		Residentes nativos		Mal de mon- taña crónico	
	Aire	O ₂ al 35 %	Aire	O ₂ al 35 %	Aire	O ₂ al 35 %
Pulso P/M	71	63	68	62	70	68
Vol. Min. l/m.	5,08	4,71	5,51	4,42	8,61	7,44
Ind. Card. l/m/m. ²	3,05	2,83	3,54	2,84	5,01	4,33
Vol. Sistólico	72	75	81	71	109	109
P. Art. Pulm. S	25	25	35	34	49	47
P. Art. Pulm. D	12	11	15	14	27	25

Según ROTTA (50).

La ausencia de un incremento del gasto cardíaco en los sujetos normales que viven en las grandes alturas, puede considerarse como una de las necesidades de aclimatación a la hipoxia permanente de la altitud.

En la altura existe una moderada hipertensión pulmonar, con una presión sistémica normal (51, 52); aunque CÔPAJA (53), más tarde señala un elevado porcentaje de hipertensos en las altas regiones habitadas. La Escuela de

Biología Andina, ha dedicado mucho tiempo al estudio de esta cuestión con el fin de determinar la causa de esta hipertensión pulmonar.

Desde la demostración del efecto hipertenso en los estados de anoxia aguda y pasajera sobre la circulación pulmonar, tanto en animales como en el hombre, se ha prestado considerable atención a la influencia que pudiera tener la anoxia crónica sobre este tramo del sistema vascular. Sin embargo, en las investigaciones realizadas ha sido difícil una interpretación adecuada, no sólo porque una anoxia de tales características produce modificaciones funcionales igualmente importante en la génesis de la hipertensión pulmonar, sino también porque en patología humana la anoxia crónica está siempre asociada a alteraciones pulmonares o cardiovasculares, cuyo efecto no es fácil de valorar separadamente. Estos factores concomitantes no existen en las grandes alturas donde el residente habitual presenta una constante disminución de la saturación arterial de oxígeno sin mostrar modificaciones anormales del aparato respiratorio o cardiovascular.

ROTTA (50), encuentra aumentada la resistencia vascular pulmonar a la que considera como la causa inmediata de la presión pulmonar alta. A ROTTA, se le hace difícil aceptar que el hombre normal y bien aclimatado, pudiera vivir con una contracción permanente del sistema vascular pulmonar. ORTIZ (9), dice haber encontrado una marcada dilatación del lecho vascular pulmonar, en sujetos muertos en la altura por accidente. Por otra parte, el hecho de que la inhalación de oxígeno no se tradujera en una disminución de la hipertensión, es un argumento de fuerza en contra de la acción directa de la hipoxia sobre el tono vascular pulmonar.

BANCHERO (51) demuestra, en el habitante de altura, la existencia de una moderada hipertensión pulmonar y un incremento, también moderado, de la resistencia vascular pulmonar y del trabajo del ventrículo derecho. Por el contrario, no encuentra diferencias significativas en la frecuencia cardíaca, ni en el débito cardíaco, ni en la presión capilar, con el individuo del nivel del mar. Estos datos, en contraste con los anteriormente citados, nos dan una idea clara de la diferencia entre los efectos de la hipoxia crónica y la aguda.

Una observación interesante es que, la hipertensión pulmonar es más acentuada en el niño que en el adulto. Esto es particularmente más apreciable en los niños menores de 5 años, en los cuales la presión sistólica en la arteria pulmonar muestra valores comparables a los que han sido descritos a nivel del mar en los primeros días de vida. La hipoxia crónica de las

grandes alturas determina un retardo en la evolución que normalmente ocurre en el régimen de presiones de la circulación pulmonar con el incremento de la edad.

El incremento de la resistencia vascular pulmonar está aparentemente determinado por los cambios estructurales, que han sido descritos por algunos autores, en las arteriolas pulmonares.

La hipertensión pulmonar no desempeña, aparentemente, finalidad útil alguna en el complejo mecanismo de aclimatación a la vida en las grandes alturas. Es posible, sin embargo, que el efecto conjunto de varios fenómenos tales como hipertensión pulmonar, hiperventilación y un vasto lecho capilar pulmonar, determinen un incremento del área efectiva de intercambio gaseoso, una reducción del gradiente de pO_2 alvéolo-arterial y como consecuencia un aumento de la oxigenación arterial.

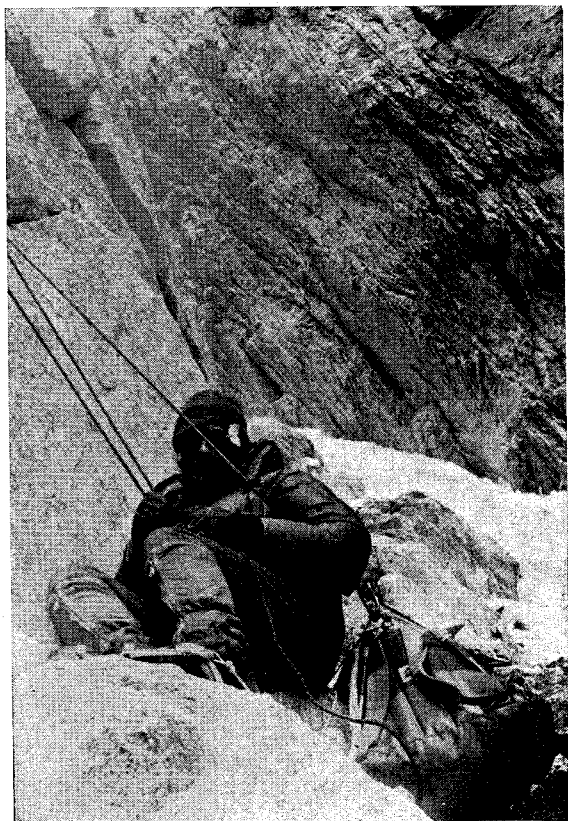
ROTTA y col. dirigen su atención a la respuesta policitémica con aumento del volumen de sangre circulante que la hipoxia desencadena. Esta mayor cantidad de sangre circulante puede dar lugar, en determinadas circunstancias, a un aumento del volumen de sangre contenido en el pulmón, MONGE (37) ha podido demostrar que el hombre en la altura, tiene un contenido de sangre en los pulmones igual a un 19.4 % del volumen total, mientras que a nivel del mar este volumen es sólo del 15.2 %.

Se creía que al disminuir la presión atmosférica aumentaba la presión arterial, concepto que aún está vigente en el ambiente popular. De manera general, y respetando a COPAJA, puede asegurarse que la presión arterial se aparta muy poco de la normal hasta una altura de 6.000 metros. En los sujetos bien aclimatados, se obtienen valores normales o sensiblemente más bajos.

En sujetos bien aclimatados, los límites del ejercicio están condicionados, según CASTELLO (7), no por la circulación sino por la capacidad de la función respiratoria.

PFISTERER (30), como HURTADO (34), admiten un mayor aprovechamiento tisular de oxígeno, otros autores admiten la posibilidad de que disminuya el consumo de oxígeno de los tejidos. Dichos autores han observado que la administración de vitamina E a las ratas a hipopresión, permitía obtener una supervivencia de un 89 % superior a los animales testigo. Según GLORIA y col. (29), la vitamina E frena el aumento de pulsaciones en el hombre y son menores las manifestaciones electrocardiográficas consecutivas a la hipoxia. Asimismo, GLORIA achaca las alteraciones electrocardiográficas a la hipoxia y al frío, pues ya es sabido que el frío potencializa los efectos de la hipoxia.

Son muchos los trabajos sobre el ECG de altura (54, 55, 56, 57, 58), la mayoría de ellos muestran las variaciones producidas por la hipoxia y por la hipertrofia derecha. Como ejemplo, transcribo las variaciones encontradas por MONGE (37): «elevación del segmento ST con ondas T invertidas o bifásicas en las derivaciones precordiales, particularmente en V_1 , V_2 y V_3 y en algunos casos, en V_4 y V_5 . En general, en la mayor parte de los sujetos se señaló una clara desviación del eje hacia la derecha».



Expedición Manresana al Hindu Kush.

HARO (59), estudia la situación circulatoria de los sujetos de altura a través del fondo de ojo y llega a la conclusión de que las modificaciones del fondo de ojo, que dan la característica peculiar en los hombres aclimatados a las grandes alturas, son principalmente de origen vascular. Asegura que estos cambios se deben a la condición hipóxica dinámica constante en la que viven, y se realizan en función del aumento de la capacidad de oxigenación y de la superficie de difusión de la sangre para mejorar la nutrición de la retina; interviniendo

factores hematológicos como la hipervolemia, policitemia, aumento de la cifra de hemoglobina reducida y la vasodilatación ya demostrada en otros órganos. La gran variabilidad de las modificaciones fundoscópicas, hace difícil la determinación del tiempo para su aparición, en los sujetos que ascienden de cotas más bajas.

El estado de congestión de los pulmones, de los habitantes de la altura, es el responsable de que, en la «desaclimatación» o en la «inadaptación», siguiendo el esquema de MONGE, aparezca el edema agudo de pulmón (26, 60, 61); complicación bastante frecuente del «mal de montaña».

Han sido descritas formas cerebrales de «mal de montaña», en forma de edema cerebral (62, 63), de aquí la importancia del examen de fondo de ojo en estas gentes.

Es posible que el edema cerebral sea una complicación del edema agudo de pulmón. Esto es lógico; como ya sabemos el cerebro responde frente a cualquier agresión con un edema, la hipoxia no sería otra cosa más que esta agresión; pero esta hipoxia es más acentuada en el individuo afecto de edema pulmonar, aumentando más el edema cerebral. Muchos médicos, en las expediciones al Himalaya, han observado edema incipiente de papila en algunos miembros de la misma. Esto ha sido causa de alarma suficiente, para que temiendo la aparición del edema cerebral, hayan sido evacuados a cotas inferiores.

ENDOCRINOLOGIA Y REPRODUCCION

Desde 1639 se ha venido afirmando, que el recién llegado a la altura se convierte en un estéril en tanto viva en este medio. Ya no existen estos problemas de reproducción que señalaban los cronistas de la época Colonial (3).

Lo que es evidente, y lo ha demostrado anatómicamente ALIAGA (64) es que el recién llegado a la altura tiene una disminución del número de espermatozoides, así como menor motilidad de éstos. Asimismo, se ha encontrado que la cantidad de testosterona en orina disminuye a la mitad. Sin embargo, las gonadotropinas hipofisarias no muestran variación alguna con respecto a la altura; aunque hay autores que opinan que las hormonas luteinizantes y foliculoestimulantes están disminuidas.

MONGE (23), SAN MARTIN, ATKINS y CASTAÑON (65), han podido demostrar que en ciertos casos, la anoxia afecta al epitelio germinal de una manera selectiva, trayendo consigo un proceso de azoospermia que desaparece una vez que la aclimatación se ha realizado.

En las embarazadas, COPAJA (18) ha encontrado una menor eliminación de estriol que en mujeres en el mismo estado a nivel del mar:

Nivel del mar ...	20 - 24 mgrs./24 h.
A 4.000 m. ...	8 mgrs./24 h.

*Cifras medias de estriol
en orina de 24 horas*

También se ha podido ver un incremento de la función cortico-adrenal, que se expresa por un aumento de la excreción de cortisol y de los 17-Hidroxycorticosteroides (24, 66, 67).

La función tiroidea hace que la captación de iodo radiactivo se encuentre elevada, y de igual forma existe un discreto aumento de las hormonas del crecimiento.

El bocio está estrechamente ligado con las poblaciones de las altas regiones. Así, en algunos valles de los Andes peruanos, COPAJA (18) ha encontrado que hasta un 70 % de la población infantil lo padece. También existe un alto grado de cretinismo y aproximadamente un 2 % de débiles mentales, así como otras alteraciones que van unidos o son consecuencia del bocio.

Los tratamientos del bocio con aceite iodado, ha tropezado, en la altiplanicie peruana, con alguna dificultad por parte de los pacientes, ya que creen que el bocio es una enfermedad producida por los malos espíritus, y que con penitencia y oraciones constantes puede desaparecer.

Recientemente ha aparecido un artículo de TOBAR (68) muy interesante, que nos ayudaría mucho a comprender el pensamiento mágico de estas gentes. Asimismo, se puede recurrir a las publicaciones del último Congreso de Brujología, celebrado recientemente en San Sebastián.

Todavía queda la duda de saber cuantos de estos cambios son consecuencia de los fenómenos de hipoxia. Todo hace pensar que quizás la respuesta de la corteza suprarrenal sea inespecífica. Sin embargo, la disminución de las gonadotropinas y la secreción testicular podría ser una expresión de sensibilidad tisular a la hipoxia existente en el medio.

MONGE (46), ha experimentado con animales de laboratorio llevados a 4.600 metros sobre el nivel del mar y han presentado atrofia testicular. En muchos mamíferos llevados a la altura ha observado esterilidad; disminución de la actividad espermática hasta azoospermia, recuperándose con una velocidad variable. Las hembras presentan amenorrea y posteriormente se recuperan con ciclos cortos. Además hay hi-

pertrofia suprarrenal que disminuye con la permanencia en la altura.

La infertilidad, hipertrofia de suprarrenales y aumento de esteroides, forman la hipótesis, según MONGE, de que la hiperactividad cortical podría causar depresión del estímulo gonadotrófico de la hipófisis y la intertilidad de altura sólo sería una consecuencia de la depresión hipofisaria.

BRENNER (69), estudia la estimulación suprarrenal por la hipoxia expresada por el número de eosinófilos circulantes y encuentra una disminución de éstos. Asimismo, en los sujetos afectados del «mal de montaña» agudo la eosinopenia es más marcada en comparación con los no afectados.

FRÍO: METABOLISMO BASAL Y NECESIDADES NUTRITIVAS

Al principio de este trabajo, se ha mencionado al frío como uno de los factores determinantes de la vida en las grandes alturas.

El Comité de la F. A. O. para el Estudio de las Necesidades Calóricas (70) recomendó que por cada 10° C. menos de temperatura se aumentarían en un 5 % las necesidades calóricas determinadas a la temperatura de 10° C.

Los esquimales han mantenido, desde hace largo tiempo, una cultura floreciente en uno de los climas menos hospitalarios del mundo. Más quizá que cualquier otro grupo racial, son el símbolo de una adaptación bien lograda en un clima frío. Sus técnicas y su habilidad han contribuido, evidentemente mucho, a hacer posible la supervivencia de esa población en condiciones tan rigurosas, sin perjuicio de que también haya podido ser necesaria alguna adaptación física.

La suposición de que las necesidades calóricas dependen de la temperatura se funda en que el metabolismo energético aumenta cuando se tira y por otras causas; pero la suposición no se confirma siempre. Los que han vivido largo tiempo en regiones frías saben muy bien que los viajeros experimentados y quienes se han acostumbrado a exponerse a los rigores del medio consiguen evitar casi siempre los enfriamientos excesivos.

Suele admitirse que el metabolismo basal en el hombre, desciende en los climas cálidos y aumenta en los fríos.

En el ambiente subtropical de Nueva Orleans, EATON (71) observó unos valores medios del metabolismo basal que no llegaron al 90 % de los de otras regiones más septentrionales, y HAFKESBRING y BORGSTROM (72) encontraron cifras todavía más bajas. Se ha informado que en Sao Paulo (Brasil), el metabo-

lismo basal era inferior en un 6,5 % a los valores normales en las zonas templadas de América del Norte. Advuértase, sin embargo, que como los valores normales suelen considerarse demasiado altos en un 6 u 8 %, la diferencia señalada puede ser muy pequeña.

En climas fríos, se han observado en los esquimales tasas de metabolismo basal más altas que las de las poblaciones blancas en climas templados. Los esquimales han dado cifras superiores, entre un 13 y un 33 % a las del módulo de DUBOIS; pero se ha comprobado que el 9 %, aproximadamente, de este aumento se debía al nerviosismo del sujeto y que un 15 % venía de la acción dinámica propia de la dieta

del esquimal, muy rica en carne (73). Si se eliminan estos dos factores, el metabolismo basal de los esquimales examinados era casi el mismo que el de los sujetos de raza blanca tomados como testigo, de igual modo que el de los esquimales cuando hacen el servicio militar y consumen el rancho de la tropa. Las diferencias del metabolismo basal no pueden atribuirse, pues, a factores étnicos, ni a la exposición al frío.

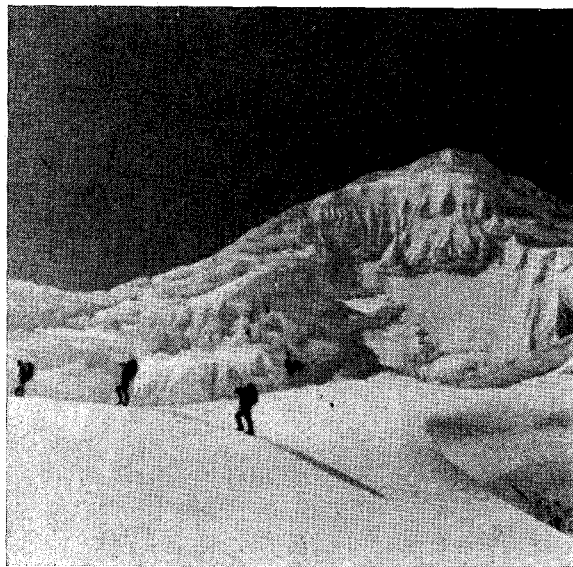
La tabla adjunta resume los datos correspondientes al consumo de calorías en distintos medios climáticos. Ha sido extraída de una publicación de la O.M.S. (74) y posteriormente resumida.

Lugar	Sujeto	Medio	Calorías	Proteínas %	Lípidos %	H. de C. %
S. E. de Groenlandia	Esquimal	Artico	2.800	43	54	3
N. E. de Groenlandia	Tramperos Europeos	Artico	3.000	12	58	30
Antártida	Expedición Polar de Scoot	Antártico	4.800	18	44	38
Alaska	Militares	Subártico	3.100	13	38	49
—	Militares	Templado	3.700	14	31	55
—	Marinos	Templado	3.400	14	44	42
Montañas rocosas	Militares	Montaña	3.900	13	34	53
Islas del Pacífico	Nativos	Tropical	3.400	13	33	54

Según HOYGAARD, RODAHL, HAYES, MURLIN, McCAY y JOHNSON (74).

Si en los animales se ha observado que el nivel del metabolismo era inversamente proporcional a la temperatura ambiente, los estudios en el hombre, sobre la influencia del clima en el metabolismo, han dado resultados contradictorios. Por consiguiente, el aumento del metabolismo basal humano producido por el frío no está perfectamente probado.

Estudios recientes sobre la aptitud del hombre para aclimatarse al frío, han puesto bien en claro que lo que le permite vivir en medios fríos es exclusivamente su habilidad técnica. Sólo hay pequeñas diferencias entre las poblaciones de las regiones árticas y las de las regiones tropicales, en la producción térmica del organismo y en la capacidad de aislamiento que tienen los tejidos superficiales, factores físicos más importantes para la regulación de la temperatura interna. Quiere decir esto, que la adaptabilidad del hombre al frío es pequeña. Los únicos efectos significativos de la aclimatación,



Expedición Vasco-Navarra a los Andes (1967).

parece consistir en una disminución de la sensación desagradable que produce el frío y en un ligero aumento del flujo sanguíneo junto a la piel expuesta, lo que da una aptitud algo mayor para descansar, dormir y trabajar en medios fríos. El aumento del flujo sanguíneo junto a la piel se traduce en una elevación de la temperatura cutánea, sobre todo en las partes expuestas, que da a quienes están habituados al frío una protección mayor contra las heladuras (74).

MITCHELL y colaboradores (75) han advertido que las modificaciones dietéticas podían tener efectos importantes y favorables en la aptitud del hombre para soportar un frío intenso. Partiendo de los datos disponibles procedentes de la experimentación con animales, MITCHELL llega a la conclusión de que «hay indicaciones bastante claras de que en especial las grasas y los hidratos de carbono tienen un efecto superior a las proteínas». En la experimentación humana, KEETON y colaboradores (76) observaron en voluntarios, vestidos e inactivos, expuestos a una temperatura de -29°C . durante 8 horas al día, que una dieta rica en hidratos de carbono era mejor que una dieta rica en proteínas para aumentar la resistencia al frío. Algunos autores consideran, que la resistencia del hombre al frío aumenta con una alimentación rica en proteínas; conclusión que MITCHELL (75) pone en duda, aun cuando reconoce que «en estados de inactividad las proteínas pueden ejercer, durante un breve período que sigue inmediatamente a su consumo, un efecto favorable para la tolerancia al frío por el fuerte dinamismo de su acción específica; pero es preferible evitarlas en condiciones normales de actividad».

Prácticamente no hay pruebas suficientes para pensar que la ingestión de ciertos principios inmediatos en cantidad mayor que la considerada normal para un clima templado, ejerza un marcado efecto favorable sobre el rendimiento del hombre en los climas fríos. En cambio, la reducción del aporte de determinados principios inmediatos o del total calórico en los climas fríos, puede influir en el rendimiento físico (74).

Los efectos en la capacidad de trabajo físico de diferentes niveles de proteínas en la dieta con niveles constantes de ingestión y de gasto calórico, han sido estudiadas por RODAHL y colaboradores (74), en nueve hombres desnudos expuestos continuamente durante períodos de 3 a 9 días a una temperatura de 8°C . lo que corresponde a una acción del frío mucho más rigurosa que la normal en condiciones de vida de las regiones más frías de la tierra.

Con este objeto se compararon los efectos de las cuatro dietas siguientes:

— Dieta I. — 3.000 calorías y 70 grs. de proteínas por día.

— Dieta II. — 3.000 calorías y 4 grs. de proteínas por día.

— Dieta III. — 1.500 calorías y 70 grs. de proteínas por día.

— Dieta IV. — 1.500 calorías y 4 grs. de proteínas por día.

La medida de la capacidad de trabajo físico se calculó con referencia al consumo máximo de O_2 y la de la resistencia, empleando a fondo la prueba de la rueda disciplinaria a 12 kilómetros por hora y a $8,6^{\circ}\text{C}$.



Expedición Vasco-Navarra a los Andes (1967).

Con respecto a la capacidad de trabajo físico a una temperatura de 22°C . no había diferencia al cabo de nueve días entre las distintas dietas. A 8°C . tampoco se observó ninguna disminución significativa en los sujetos que habían consumido la «Dieta I», pero en los que habían consumido la «Dieta IV» se produjo un deterioro notable al cabo de 5 días. También hubo un sensible deterioro con las «Dietas II y III». Es evidente pues, que una reducción marcada de las calorías o de las proteínas disminuye la capacidad de trabajo físico en el hombre expuesto a un frío intenso.

Cuando se comparan las observaciones hechas en la experimentación con animales y lo que se sabe sobre el hombre habitualmente expuesto al frío, se advierte que la exposición del hombre es mucho menos intensa que la de la rata

a 5° C. Si la intensidad de la exposición del cuerpo vestido pudiera medirse por el aumento del metabolismo necesario para mantener la vida, los cambios químicos del hombre deberían ser dobles que los del metabolismo basal, en el supuesto de que la exposición que soporta fuera igual a la de la rata en las mencionadas condiciones, y evidentemente no es así. De una serie de estudios hechos con Iodo - 131 (74), se desprende que el tiroides interviene poco en la aclimatación del hombre al medio frío, mientras sólo hayan de soportarse fríos no muy intensos.

Hay que concluir pues, que la afirmación de que los habitantes de regiones frías tienen un metabolismo basal más alto y han de consumir más alimentos carece de fundamento serio, y la de que voluntariamente en la dieta aumentan la cantidad de grasas podrá ser verdad en ciertos casos, pero no parece ser una regla general.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) La adaptación a las grandes alturas. — *Farmas.* Año XVI, núm. 110, p. 455-464.
- (2) REDONDO, A. y BARGAY, A. — Expedición manresana a los Andes bolivianos. — *Ap. Med. Dep.*, 25; 13-21; 1970.
- (3) MONGE, C. — Aclimatación a los Andes. Confirmaciones históricas sobre la agresión climática en el desenvolvimiento de las sociedades de América. — *An. Fac. Med.*, XXIII, 28; 307-382; Lima, 194.
- (4) STAMPFLI, R. — *Phenomenes Physiologiques en Haute Montagne. Les Montagnes du Monde.* — Edit. Inter Verlag, S. A., Zurich, 1946.
- (5) CASTELLO, A. — Comentario del Symposium sobre el deporte en mediana altura, celebrado en Macolín. — *Ap. Med. Dep.*, 43; 43-45; 1966.
- (6) CASTELLO, A. — Problemas del deporte en la altura I. Respiración. — *Ap. Med. Dep.*, 6; 127-131; 1965.
- (7) CASTELLO, A. — Problemas del deporte en la altura II. Sistema cardiocirculatorio y sangre. — *Ap. Med. Dep.*, 7; 187-190; 1965.
- (8) JAMA. — (Número dedicado a la Olimpiada de Méjico). — Vol. 205, núm. 11, p. 714-815; 1968.
- (9) ORTIZ, H. — Adaptación a las grandes alturas: soroche y enfermedad de Monge. — *Trib. Med.*, 212, p. 1, Lima, 1968.
- (10) Primeras Jornadas Nacionales de Medicina de Montaña. — Barcelona, Dic., 1972.
- (11) DE ACOSTA, J. — Historia natural y moral de las Indias. — Fondo de Cultura Económica, México, 1940.
- (12) SHIPTON, E. — La conquista de las montañas. — Edit. Timun Mas, S. A., Barcelona, 1969.
- (13) GRANDPIERRE, R. — Adaptación del hombre a la montaña. — En: HERZOG M. — *La MONTAGNE.* — Librairie Larousse, París, 1967.
- (14) MURRAY, W. H. — *The Story of Everest.* — E. P. Dutton, London, 1953.
- (15) JOURDANET, D. — *Influence de la Pression de l'Air sur la vie de l'Homme.* — Masson Edit., París, 1875.
- (16) AREILZA, E. — Impresiones y fatigas del alpinista. — Conferencia, en el Club Deportivo de Bilbao el 11 de noviembre de 1924. Publicado en 1964 por la sección de montaña del citado Club Deportivo.
- (17) MONGE, C. — La enfermedad de los Andes (Síndromes eritrémicos). — *An. Fac. Med.*, XI, 14; 1-13; Lima, 1928.
- (18) COPAJA, P. — Biopatología de las grandes alturas. — *Trib. Med.*, p. 11; 21 dic. 1972. Madrid.
- (19) SHIPTON, E. — *Por las cumbres.* — Edit. Juventud, Barcelona, 1953.
- (20) BAND, G. — *Kangchenjunga (Apéndice).* — Edit. Juventud, Barcelona, 1958.
- (21) HERZOG, M. — *Annapurna. Primer 8.000.* — Edit. Juventud, Barcelona, 1954.
- (22) BOURDILLON, T.; PUGH, G.; WARD, M. y BAND, G. (Apéndices III, IV y V). — *Oxígeno, alimentación, fisiología y medicina.* — En: HUNT, J. *La ascensión al Everest.* — Edit. Juventud, Barcelona, 1953.
- (23) MONGE, C. — Fisiología de la reproducción en la altura; aplicación a la industria animal. — *An. Fac. Med.*, XX, 25; 19-33; Lima, 1942.
- (24) CUBA, A.; COPAIRA, M. y VEGA, E. — Mal de montaña crónico en vacunos (BRISKET DISEASE) estudio hematológico y anatomopatológico. — *An. Fac. Med.*, XXXIII, 38; 222-231; Lima, 1955.
- (25) CUBA, A. — Estudio comparativo del mal de montaña. — *An. Fac. Med.*, XXXIV, 39; 1.104-1.127; Lima, 1956.
- (26) PEREDO, M. — Mal de montaña. Fisiopatología y profilaxis. — *Prens. Med. Mex.*, XXVIII, 5-6; 261-263; México, 1963.
- (27) WHYMPER, E. — *Scrambles Amongst the Alps.* — John Murray, Ltd., London, 1954.
- (28) WYSS-DUNANT, E. — *Progresc Techniques et Conquetes des 8.000 m. Les Alpes*, 33 (4). Lausanne. — Club Alpin Suisse, 1957.
- (29) Problemas médicos de las expediciones al Himalaya. — *Información terapéutica Roche*, Año V, número 4, 1955.
- (30) PFISTERER, R. — La aclimatación en las expediciones al Himalaya. — *J. Suisse Med.*, 84; 26; 1954.
- (31) MONGE, C. — El concepto de aclimatación. — *Anf. Fac. Med.*, XXXIII, 38; 1-8; Lima, 1955.
- (32) CASTELLO, A. — El ácido pangámico y la patología de la alta montaña. — *Ap. Med. Dep.*, 4; 23-26; 1964.
- (33) MONGE, C. — La vida sobre los Andes y el mal de montaña crónico. — *An. Fac. Med.*, XX, 25; 1-18; Lima, 1942.
- (34) HURTADO, A. — El hombre de las grandes alturas habitadas. — *An. Fac. Med.*, XXXIII, 38; 9-16; Lima, 1955.
- (35) BERENDSOHN, S. y MURO, M. — Constantes hematológicas en mujeres residentes en las grandes alturas. — *An. Fac. Med.*, XL, 4; 908-924; Lima, 1957.
- (36) TORRES, M. y CAMPOS, E. — Valores hematológicos en hombres y mujeres sanos residentes en Arequipa (2.327 m.). — *An. Fac. Med.*, XLII, 1; 38-61; Lima, 1959.
- (37) MONGE, C. — Hombre, clima y cambios de altitud; estudios recientes en Bioclimatología. — *An. Fac. Med.*, XXXII, 37; 459-485; Lima, 1954.
- (38) ASTE, H. y HURTADO, A. — Afinidad de la hemoglobina por el oxígeno a nivel del mar y en las grandes alturas. — *Instituto de Biología andina.* — *Am. J. Physiol.*, 142; 733; 1944.
- (39) CHIODI, H. — El cuadro hemático de la altura. — *An. Fac. Med.*, XXXIV, 4; 621-628; Lima, 1951.

- (40) REYNAFARJE, C. — Observaciones en la médula ósea del recién nacido de altura. — *An. Fac. Med.*, XLII, 4; 618; Lima, 1959.
- (41) ANDUAGA, G. — Variaciones leucocitarias en la exposición aguda a las grandes alturas. — *An. Fac. Med.*, LI, 3-4; 138-152; Lima, 1968.
- (42) KRUGER, F. — Colesterolemia y lipemia totales en los obreros de la altura (La Oroya). — *An. Fac. Med.*, XLV, 3-4; 231-260; Lima, 1962.
- (43) MONGE CASSINELLI, C. y Col. — Descripción de la dinámica circulatoria en el corazón y pulmones de habitantes del nivel del mar y de las grandes alturas por medio de la técnica de dilución del colorante. — *An. Fac. Med.*, XXXIV, 39; 498-511; Lima, 1956.
- (44) ROSSIER, H.; BÜHLMANN, A. y WIESINGER, K. — Fisiología y fisiopatología de la respiración. — Ed. Delachaux y Niestlé. Neuchâtel. Suiza, 1962.
- (45) HURTADO, A. y HOTTA, A. — La capacidad pulmonar en la altura. — *Rev. Soc. Biol.*, 1; 7-10; Lima, 1934.
- (46) MONGE, C. y CHAVEZ, P. — Fisiología de la reproducción en la altura. — *An. Fac. Med.*, XX, 25; 34-39; Lima, 1942.
- (47) ASTE, H. — Estudio del equilibrio ácido-básico a nivel del mar y en altura. — *Am. J. Physiol.*, 153; 924; 1946.
- (48) LAPRAS, A. — Aspectos de la patología respiratoria en la altura. — *Pres. Med.*, 66; 63; 1420; sep., 1958.
- (49) MARCHAL, J. — Makalu (8.481 m.). — *Pres. Med.*, 79; 55; 2.556, dic., 1971.
- (50) RÖTTA, A. y col. — La circulación pulmonar en las grandes alturas. — *An. Fac. Med.*, XL, 4; 908-924; Lima, 1957.
- (51) BANCHERO, N. — Circulación pulmonar en el nativo de las grandes alturas. — *An. Fac. Med.*, XLV, 3-4; 339-355; Lima, 1962.
- (52) RUIZ, L. y TAPIA, F. — Estudios hemodinámicos en nativos de las grandes alturas con persistencia de conducto arterioso. — *An. Fac. Med.*, L, 2; 258-278; Lima, 1967.
- (53) COPAJA, P. — Incidencia de la hipertensión arterial en la sierra peruana. — *Trib. Med.*, p. 11, 17 abril 1973.
- (54) JAKSON, F. y DAVIES, H. — El ECG en los montañeros a grandes alturas. — *Brit. Heart J.*, 27; 671; 1960.
- (55) MILLEDGE, J. S. — Cambios electrocardiográficos a gran altura. — *Brit. Heart J.*, 291-398; mai, 1963.
- (56) PENALOZA, D. — El «test» cardiológico de anoxemia; estudio comparativo entre los procedimientos de Lewy y de Malmström; significado de la reacción electrocardiográfica de los sujetos normales. — *An. Fac. Med.*, XXIX, 34; 677-763; Lima, 1951.
- (57) RIOS, C. — Contribución al estudio de la electrocardiografía en la altura. — *An. Fac. Med.*, XXVII, 32; 115-148; Lima, 1949.
- (58) CASTEX, M. y col. — Estudio sobre la biología del hombre de altitud. — Ministerio de Justicia e Instrucción Pública. — Talleres penitenciaria Nacional. — Buenos Aires, 1937.
- (59) HARO. — El fondo de ojo en la altura. — *An. Fac. Med.*, XLIX, 1; 128-138; Lima, 1966.
- (60) LIZARRAGA, L. — Soroche agudo; edema agudo del pulmón. — *An. Fac. Med.*, XXXIII, 38; 244-274; Lima, 1955.
- (61) BARDALEZ, A. — Algunos casos de edema pulmonar agudo por soroche grave. — *An. Fac. Med.*, XXXIII, 38; 232-243; Lima, 1955.
- (62) CHIOLDI, H. — Mal de montaña a forma cerebral. Posible mecanismo etiopatogénico. — *An. Fac. Med.*, XLIII, 2; 437; Lima, 1960.
- (63) ARELLANO, A. — El LCR en la altura. — *Rev. Neuropsiquiátrica*, 2; 247; Lima, 1939.
- (64) ALIAGA, M. — Algunos aspectos de la relación adre-testicular en la costa y en la altura y efecto del tratamiento con gonadotropinas séricas. — *An. Fac. Med.*, XLI, 2; 220-234; Lima, 1958.
- (65) SAN MARTIN, M.; ATKINS, J. y CASTANON, J. — Aspectos de la fisiología experimental de la reproducción en la altura. — *An. Fac. Med.*, XXIII, 28; 32-64; Lima, 1945.
- (66) SAN MARTIN, M.; PRATO, Y. y FERNANDEZ, C. — Excreción de algunos esteroides urinarios en el nativo de la costa y en el de altura y cambios que experimentan los costeos en su adaptación a la altura. — *An. Fac. Med.*, XXXII, 37; 736-746; Lima, 1954.
- (67) SILVA, R. — La función suprarrenal en el hombre de la altura. — *An. Fac. Med.*, XLI, 2; 251-277; Lima, 1958.
- (68) TOBAR, F. — Cura por ensalmo en un pueblo de los Andes. — *Tauta*, núm. 5; febrero, 1973.
- (69) BRENNER, J. — La estimulación suprarrenal por la anoxia aguda expresada en la variación de los eosinófilos circulantes. — *An. Fac. Med.*, XXXII, 37; 100; Lima, 1954.
- (70) Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación; Comité para el Estudio de las Necesidades Calóricas. — *Necesidades Calóricas*. — Washington, 1950.
- (71) EATON, A. — Basal metabolic rate of normal individuals in New Orleans. — *J. Lab. Clin. Med.*, 24; 1.255; 1939.
- (72) HAFKESBRING, R. y BORGSTROM, P. — Studies of basal metabolisms in New Orleans. — *Am. J. Physiol.*, 79; 221; 1927.
- (73) RODAHL, K. — Basal metabolism of the Eskimo. — *J. Nutr.*, 48; 359; 1952.
- (74) Organización Mundial de la Salud. — *Medicina y Sanidad en las regiones Árticas y Antárticas*. — Cuadernos de Salud Pública núm. 18. — Ginebra, 1964.
- (75) MITCHELL, H. y col. — The tolerance of man to cold as affected by dietary modifications: carbohydrate versus fat and the effect of the frequency of meals. — *Am. J. Physiol.*, 146; 84; 1946.
- (76) KEETON, R. y col. — Tolerance of man to cold as affected by dietary modifications: proteins versus carbohydrates, and effect of variable protective clothing. — *Am. J. Physiol.*, 146; 66; 1946.