

Dauer-Akklimatisation an grosse Höhen

Autor(en): **Verzár, F.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie Suisse des Sciences Medicales = Bollettino dell' Accademia Svizzera delle Scienze Mediche**

Band (Jahr): **7 (1951)**

Heft 1

PDF erstellt am: **31.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-306991>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Aus dem physiologischen Institut der Universität Basel

Dauer-Akklimatisation an große Höhen

Von F. Verzár

In Europa sind wir gewohnt, schon 1800 m als eine Höhe zu betrachten, in welcher bei älteren Personen oder solchen mit labilem Kreislauf Störungen auftreten können. Schon bei 3000 m Höhe beobachten wir nicht selten Höhenkrankheit, und Höhen über 3000 m, besonders aber 4000 m, bezeichnen wir als unbewohnbar.

Die Akklimatisationserscheinungen an große Höhen, die wir auf europäischen Stationen, wie Jungfrauojoch (3450 m ü. M.), beobachten, können sich naturgemäß nur auf relativ kurze Perioden beziehen. Demgegenüber leben in Südamerika mindestens 10 Millionen Menschen dauernd über 3000 m, davon viele auf 4000 m, manche sogar bis 5300 m Höhe.

Bekanntlich hat *Barcroft* 1922 nach Cerro de Pasco, der Minenstadt in Peru, eine Expedition ausgeführt, die ihn zu dem Befund führte, der Mensch sei in dieser Höhe nicht voll leistungsfähig. Aber schon 1928 hat eine Gruppe peruanischer Ärzte, unter der Leitung von Prof. *Carlos Monge*, dem heftig widersprochen.

Vor kurzem hatte ich Gelegenheit, 3 Monate lang in den Anden zu reisen. Wiederholt war ich mehrere Wochen in Höhen zwischen 3000 m und 5000 m, dazwischen viermal wieder unten auf fast Meereshöhe. Ich konnte so an mir und meinen Reisegefährten die Wirkung wiederholter Höhenänderungen beobachten und auch die Höhenadaptation der eingeborenen Bevölkerung dieser Höhen sowie die von schon längere Zeit hier wohnenden Zugewanderten studieren.

a) Akklimatisation der Eingeborenen

Die direkte Beobachtung zeigt das folgende:

Am Altiplano, einer zwischen den beiden Ketten der fast 7000 m hohen Anden sich ausdehnenden Hochebene, und den anschließenden Tälern lebt, zwischen 3000 und 4000 m Höhe, die Mehrzahl der Bevölkerung von Peru und Bolivien; ursprünglich rein indianisch, heute

besonders in Peru etwa zu 50%, in Bolivien nur zu 10% gemischtrassig. Der Altiplano ist eine Hochebene von 50 bis 200 km Breite und über 1000 km Länge. Der Titicacasee mit einem Wasserspiegel von 3800 m bildet die Grenze zwischen Peru und Bolivien.

In Cerro de Pasco, Oroya und Morococha, in Peru, oder in Catavi und Potosi, in Bolivien, leben dauernd auf etwa 4500 m Höhe Zehntausende von Bergwerkarbeitern und ihre Familien. Viele Millionen Indianer treiben am Altiplano auf 3500–4000 m und noch höher Landwirtschaft, z. B. zwischen Cuzco und La Paz, auf einer langen, dicht besiedelten Strecke. Dabei lebt diese uransässige Bevölkerung unter sehr ungünstigen allgemeinen Lebensverhältnissen, unter ungenügenden Ernährungs-, Wohnungs- und hygienischen Bedingungen. Aber ihre Kartoffel- und Hirsefelder werden trotz primitiven Werkzeugen, einem hölzernen Pflug z. B. und oft noch einer steinernen Axt, sorgfältig besorgt. An den Rändern der Hochebene sieht man auf steilen Abhängen oft bis 4500 m Höhe diese regelmäßig bebauten Kulturen. Auch werden zu sozialen Anlässen, wie Märkten und Festen trotz Wind und Regen häufig große Wanderungen über die Ebene gemacht. Dabei werden oft große Lasten auf dem Rücken getragen. Es ist zweifellos, daß der Eingeborene in seinem Milieu ebenso leistungsfähig ist wie die Tiere dieser Höhen, das Lama, Alpacca und Vicuna, die auch voll adaptiert sind. Von einer «verminderten Leistungsfähigkeit» kann keine Rede sein.

b) Leistungsfähigkeit der weißen Bevölkerung

Die administrative Hauptstadt Boliviens, *La Paz*, ist eine moderne Großstadt, deren Flugplatz am Altiplano auf 4085 m liegt; die Stadt selbst befindet sich in einem windgeschützten Talkessel zwischen 3600 und 3800 m, dehnt sich jetzt aber bereits auch auf die Höhe von 4085 m aus. *La Paz* hat etwa 350 000 Einwohner, wovon wohl die Hälfte Weiße, die anderen Mestizen und Indianer sind. Die Stadt gibt die besten Möglichkeiten zur Beantwortung der Frage, wie Weiße sich an diese Höhe adaptieren.

Nur deshalb seien die folgenden beschreibenden Angaben gemacht: *La Paz* sieht im zentralen Teil einer deutschen Kleinstadt ähnlich. In den letzten Jahrzehnten ist man aber an das Bauen von Hochhäusern gegangen, und die glänzend gebaute, neue Universität ist 16 Stock hoch. Von ihrem Dach aus hat man einen prächtigen Rundblick, bis an die Gletscher des 6890 m hohen Ilimani in 50 km Entfernung. Man saß im November bei herrlicher Frühjahrs-sonne im Garten zwischen Rosen, Palmen, blühenden Kirschen und Bougainvillea. Man fährt in 1½ Stunden im Auto auf die Chaklataya zum Sporthotel, wo die Schneegrenze auf 5300 m liegt, und ein Skilift einen noch 300 m höher zu einer Skiabfahrt bringt. Sonntagnachmittagsgäste fahren im Autobus wieder zurück nach *La Paz*!

Kein Ansässiger klagt über die Höhe. Kommt man aber im Flugzeug

von Lima in 6 Stunden über die 7000 m Höhen hier an, so ist man zuerst ziemlich mitgenommen. Aber nach ein bis zwei Tagen Ruhe ist bei den meisten die Höhenkrankheit überwunden.

Die *sportliche Leistungsfähigkeit* der ansässigen Weißen ist durchaus äquivalent der unsrigen. La Paz hat ein prächtiges Stadion, wo häufig Fußball gespielt wird (auch mit 45 Min. Halbzeiten). Die Schulen halten auch auf 4600 m Turnstunden für Kinder in gleicher Weise wie bei uns ab (z. B. in Catavi).

Angegliedert an das Stadion von La Paz ist ein gut ausgerüstetes sportmedizinisches Institut. Es gibt ein eigenes sportmedizinisches Archiv heraus. Eine Anzahl begeisterter junger Ärzte arbeiten hier. Aus ihren statistischen Aufzeichnungen hole ich mir Beweise der Adaptation an diese Höhe von fast 4000 m. *Sportliche Konkurrenz* von Sportlern aus Chile, die mit der Bahn in 24 Stunden herauffahren oder umgekehrt, von solchen, die von hier auf Seehöhe hinabfahren, ergaben das erstaunliche Resultat, daß in 4000 m Höhe die Zeiten für 100-m-Lauf nicht nur nicht schlechter, sondern um Zehntelsekunden besser sind als im Tiefland. Ebenso sind die Resultate im Springen und Diskus sowie Speerwerfen nicht schlechter, sondern eher besser als unten.

Eine andere Tatsache, die ich während meines Aufenthalts registrierte, war ein allgemeiner Sieg bei einem nationalen Sportfest von einem Sportklub, der aus lauter in den letzten Jahren eingewanderten europäischen Emigranten bestand. Ihre Leistungen waren besser als die der Ansässigen! Sie hatten also in einer relativ kurzen Anwesenheit von höchstens einigen Jahren eine so vollkommene Anpassung erreicht wie die seit Generationen hier Lebenden.

Alle diese sportlichen Rekorde beziehen sich jedoch auf kurzfristige Arbeiten: auf 100-m-Lauf, Springen, Speerwerfen, Diskuswerfen usw. Das sind *anoxiybiotische Arbeiten*. Beim 100-m-Lauf in 10–12 Sekunden wird nicht geatmet. Zur Leistung dieser Arbeit reicht auch die im Körper vorhandene O_2 -Menge gar nicht aus. Der dazu gehörige O_2 -Verbrauch tritt auf Meereshöhe erst nachträglich ein. Es scheint sicher, daß diese Nachperiode in der Höhe von 4000 m verlängert ist. Die Verlängerung der Erholungsperiode ist Folge der langsameren Auffüllung des Oxygen-debits, wofür – wegen dem geringeren O_2 -Gehalt des Blutes – vermehrter Kreislauf, vermehrte Herzarbeit und vermehrte Atmung gebraucht wird. Dadurch wird für dieselbe Arbeitsleistung in der Höhe die Dauer der «Nachperiode», der Puls- und Atmungsvermehrung, länger als im Tiefland. – In La Paz sind deshalb die Leistungen beim 800-m-Lauf nicht mehr besser, sondern etwas schlechter als auf Seehöhe, denn dabei läßt sich selbstverständlich die Arbeit nicht mehr in der anoxiybiotischen

Phase durchführen, und die Erholung spielt bereits während der Zeit der Arbeitsleistung mit. Da die Erholungszeit verlängert ist, wird die Gesamtarbeitsleistung schließlich geringer.

Die Frage, wie sich das auf die Tagesarbeitsleistung des Menschen quantitativ auswirkt, wäre experimentell außerordentlich schwierig zu erfassen. Durch eine richtige Verteilung der Ruhepausen (Erholung) könnte eine unveränderte Gesamtarbeitsleistung durchaus möglich sein. Benützt man den Weg der direkten Beobachtung, so muß man sagen, daß man in keiner Weise den Eindruck hat, daß Professoren, Ärzte oder Studenten in La Paz weniger leisten als bei uns.

Es wird allerdings auch gesagt, daß die Bergwerker indianischer Rasse in 4500 m hoch gelegenen Minen kaum die Hälfte der Leistung europäischer Bergwerker erreichen. Das kann rassisch, sozial oder nahrungsbedingt sein. Für Weiße jedoch bestehen solche Differenzen anscheinend nicht. Immerhin sollten exakte Messungen noch durchgeführt werden. *Hurtado* (1949) ist der einzige, der bisher darüber gearbeitet hat. Am Symposium über Höhenklimabiologie in Lima, Ende November 1949, teilte er mit, daß in kurzfristigen Versuchen auf 4500 m Höhe eine große Leistungsfähigkeit vorhanden sei und daß die Arbeit mit größerem O₂-Verbrauch pro mkg geleistet wird. Eine Erklärung für das letztere, unerwartete Resultat wurde aber noch nicht gegeben.

c) Akklimatisationserscheinungen

Die von uns in Europa beobachteten *Adaptations- oder Akklimatisationserscheinungen* sind nur zum Teil auch bei der ansässigen eingeborenen Bevölkerung vorhanden, z. T. fehlen sie. Wir zählen einige, soweit bekannt, auf:

Die *Erythrocytenzahl* erhöht sich in La Paz – wie auf Jungfraujoch (3450 m) – auf 6 500 000 pro mm³, was dort von den Ärzten als Normalwert betrachtet wird. Die Blutmenge ist auch bei Eingeborenen dieser Höhen vermehrt, ebenso wie wir es auf Jungfraujoch nach 4 Wochen sahen.

Die beim Aufstieg in große Höhen stürmischen *Umstellungen des Kreislaufes* gehen bei Dauerakklimatisation vollkommen zurück. Bei Ruhe ist keine Beschleunigung des Herzens, kein erhöhter Puls und kein erhöhter Blutdruck vorhanden, wie man das mindestens am Anfang eines Höhengaufenthaltes auf Jungfraujoch oft sieht, wo das Minutenvolumen vermehrt und die Kreislaufzeit verkürzt wird. Nach Untersuchungen von *Rotta* (1947) in Morococha auf 4500 m ist bei den Eingeborenen der Blutdruck sogar auffallend niedrig, und es ist zwar eine Herzhypertrophie rechts, aber keine Erhöhung des Minutenvolumens

und keine Verkürzung der Kreislaufzeit bei diesen voll adaptierten Menschen vorhanden.

Bezüglich der *Atmung* ist keine dauernde Umstellung des Atemminutenvolumens vorhanden, wie man das als erste Akklimatisationserscheinung auf Jungfraujoch sieht, wo Atemzahl und Atemtiefe bekanntlich zunehmen. Nach *Hurtado* (1949) und *Rotta* (1947) sind diese unverändert.

Auch die *Erregbarkeit des Atemzentrums* scheint nicht gestört. In der Höhe des Jungfraujochs haben alle europäischen Beobachter Cheyne-Stokes-Rhythmus bei Ruhe und besonders bei Schlaf beschrieben. In La Paz kommt das – nach Mitteilung dortiger Ärzte – ebenso wie bei uns im Tiefland, ausschließlich bei Schwerkranken vor und wird bei Normalen nie gesehen.

d) Lungenvolumen

Dagegen ist die *dritte Form der Atmungsregulation*, die wir für Sauerstoffmangel nachgewiesen haben, die dauernde Vergrößerung der respiratorischen Oberfläche durch Vergrößerung des Lungenvolumens (*Verzár* [1933]), in dieser Höhe als kontinuierliche Daueranpassung vorhanden. *Hurtado* (1933–35) bestimmte die *Residualluft* und fand, daß diese bei allen Höhenbewohnern vermehrt ist. Diese Beobachtung deckt sich mit unseren körperplethysmographischen Befunden bei Atmung von Luft mit vermindertem O_2 -Druck.

Wir hatten auch nachgewiesen, daß die Steigerung des Lungenvolumens sich in einer *Thoraxerweiterung* äußert, die sehr deutlich registriert werden kann (*Verzár* [1946]). In La Paz hatte man den Thoraxumfang bei Aus- und Einatmungslage gemessen und festgestellt, daß bei denselben Personen, Sportleuten, auf Meereshöhe der Umfang in jeder Lage im Mittel 20 (11 bis 24) mm geringer ist als in La Paz auf 3800 m Höhe. Das gilt sowohl für die aus dem Tiefland heraufkommenden wie für die in La Paz ansässigen Sportleute, die herunter auf Seehöhe gehen, wobei ihr Thoraxumfang dann ebensoviel abnimmt.

Schon 1839 hat *D'Orbigny* das auffallend große Thoraxvolumen der in diesen Höhen lebenden Quichua-Indianer erwähnt, was er als Anpassung an die Luftverdünnung gedeutet hat. Hierüber fand 1861 eine große Diskussion in der Anthropologischen Gesellschaft von Paris statt, wo *M. Gosse père* (1861) die Frage diskutierte, ob das rassisch bedingt sei. *Barcroft* (1922) hat in seiner Höhenklimaphysiologie den großen Thoraxumfang der Andenbewohner auch erwähnt, und gewöhnlich zitiert man hierfür ihn. –

Zusammenfassend müssen wir demnach zwischen den akut auftretenden

den *Höhenadaptationen* und dauernden *Akklimatisationserscheinungen* unterscheiden. Dauernd vorhanden bleiben:

1. die Zunahme der Erythrocyten und des Hämoglobins, sowie des Blutplasmas;

2. die Erhöhung der respiratorischen Oberfläche bzw. des Lungenvolumens, dessen Ausdruck Zunahme des Thoraxumfanges und der Residualluft ist.

Dagegen bilden sich bei Daueraufenthalt – wie es scheint – zurück:

3. die Kreislauf- und

4. die Atmungsumstellung, die bei der akuten Höhenadaptation zur Erhöhung des Atemminutenvolumens und des Kreislaufminutenvolumens führen;

5. ebenso bildet sich augenscheinlich die Erregbarkeitsänderung (-abnahme) des Atemzentrums zurück. Inwiefern auch andere Erregbarkeitsveränderungen des Nervensystems daran teilnehmen, entzieht sich unserer Kenntnis.

e) Die Rolle der Wärmeregulation

Das Rätsel aber, wieso bei einem Barometerdruck von 450 mm und einer dadurch bedingten O₂-Sättigung des arteriellen Blutes von 84% (anstatt 97% auf Meereshöhe), eine so vollkommene Höhenadaptation in den Tropen möglich ist, erklärt sich – meines Erachtens – aus der Wirkung des niedrigen O₂-Druckes auf die *Wärmeregulation*.

Eigene Erfahrungen bei wiederholtem Aufstieg von Meereshöhe auf etwa 4000 m Höhe innerhalb weniger Stunden gaben Gelegenheit, die große Rolle der Regulation der Körpertemperatur bei der Adaptation an die großen Höhen zu erkennen. War bei der Ankunft auf 3600 m (bis 4085 m in La Paz) die Temperatur um 25° C, so war die Akklimatisation leicht und in 1–2 Tagen überstanden. War aber die Temperatur 5–10° C (auf 3800 m in Puno am Titicacasee), so trat bei drei Personen ein so intensives Kältezittern (mit fast unstillbarem Zähneklappern) ein, daß man den Eindruck einer schweren Störung der Wärmeregulation erhielt, denn bei viel niedrigeren Außentemperaturen hatten wir in geringeren Höhen ähnliches nie beobachtet.

Eine Störung der Wärmeregulation auf 3450 m Höhe am Jungfraujoch hatten wir bereits vor längerer Zeit beschrieben (*Verzár* [1948]). 0,2 g/kg Novocain bedingt einen Temperatursturz beim Meerschweinchen. In Basel (250 m) war dieser 3–4° C., in 3450 m Höhe fanden wir 6–8° C., und die Wiedererwärmung dauerte länger.

Eine Durchsicht der Literatur zeigt, daß Anhaltspunkte für Störungen der Wärmeregulation in großen Höhen längst bekannt, aber stets wieder

vergessen worden waren: *Legallois* hat schon 1813 an Kaninchen, Katzen, Hunden und Meerschweinchen beschrieben, daß ihre Körpertemperatur bei 300 mm Hg Druck um 2–7° C sank. Da auch der Gaswechsel abnahm, erklärte er die Abnahme der Körpertemperatur und das Frieren in großen Höhen nicht nur mit der äußeren niedrigen Temperatur, sondern «qu'il reconnaît de plus une cause intérieure, laquelle agit par la respiration.» *Paul Bert* (1878) wiederholte diese Versuche mit demselben Resultat und sagt, daß auch er sie übersehen hatte. Aber auch seine Befunde wurden vergessen und erst 1927/28 von *Béhague* und Mitarb. wiederentdeckt. Sie fanden im Vakuumkessel an Tieren, daß der Temperaturabfall unabhängig von der äußeren Temperatur stattfindet. Bei 210 mm Hg fanden sie beim Kaninchen Abnahmen bis auf 30° C. Das wurde wiederholt von *Margaria* (1928) mit Temperaturmessung in der Bauchhöhle von Kaninchen, von *A. Loewy* (1927) bei mehrtägigem Aufenthalt von Tieren bei Unterdruck sowie von *Lintzel* (1931), *Chevillard* und Mitarb. (1935), *Blood* und Mitarb. (1946, 1949) und *Gellhorn* und Mitarb. (1937, 1948).

Eine *klimatologische Anwendung* fand diese Tatsache jedoch nicht, trotzdem auch hierfür alte Erfahrungen bestanden: Am 16. Aug. 1869 bestiegen *M. Lortet* und *M. Marcet* den Montblanc und führten dabei an sich physiologische Untersuchungen aus. *Lortet* berichtet, daß die Körpertemperatur sank. *Paul Bert* (1878) schreibt darüber: «C'est à cet abaissement de la température du corps que *M. Lortet* attribue tous les accidents du mal des montagnes!» Tatsächlich hatte sich *Lortet*, entsprechend den damaligen Anschauungen, vorgestellt, der Körper benütze die Wärme zur Muskelarbeit. Nun sei aber durch den Sauerstoffmangel die Wärmebildung vermindert, und das verursache die allgemeine Körperschwäche: eine Ansicht, die natürlich unhaltbar ist.

W. Marcet (1869) hatte ähnliche Befunde. Wesentlich ist, daß auch er die Ursache für das Sinken der Körpertemperatur in der Höhe in einer Verminderung der Oxydationsvorgänge sah.

Diese Ansicht wurde jedoch von Prof. *M. Forel* (1871) aus Lausanne angegriffen. Er führt das Sinken der Körpertemperatur – fälschlich – auf die niedrige Außentemperatur in den großen Höhen zurück; anderseits bekämpfte er mit Recht die theoretischen Anschauungen der obigen Autoren über Wärme und Muskelkraft. *Paul Bert* hat trotzdem (1878) die Ansichten von *Lortet* als «théorie toute nouvelle et fort ingénieuse» bezeichnet (S. 296). Bei diesem Stand der Frage schien eine neuerliche Untersuchung der Wärmeregulation bei Abnahme des atmosphärischen Druckes berechtigt.

Wir haben geprüft, wie sich die Körpertemperatur im Vakuumkessel

verhält, wenn der atmosphärische Druck stark gesenkt wird, entsprechend Höhen von 4000–8000 m. Die Versuche wurden mit Meeresschweinchen gemacht. Ihre Temperatur wurde im Rectum gemessen. Eine Gruppe wurde bei 8–10° C, die andere bei 29–30° C untersucht. Der Druck wurde innerhalb etwa 1 Stunde auf den gewünschten Wert gesenkt und die Tiere ½–2 Stunden darauf gelassen. In allen Versuchen wurden Kontrolltiere während derselben Zeit und derselben Temperatur bei normalem Druck (732 mm Hg in Basel) gehalten.

Abb. 1 und 2 zeigen diese Versuche. Selbst bei der hohen Temperatur von 29–30° C, der kritischen Temperatur der Meeresschweinchen, sinkt die Körpertemperatur bei 250 mm Hg um 1,5° C, bei 150 mm Hg um 3 bis 5° C.

Bei 8–10° C können die Tiere bei normalem Barometerdruck (732 mm Hg in Basel) ihre Körpertemperatur dauernd konstant erhalten. Bei 300 mm Hg sinkt sie dagegen um 1° C, bei 200 mm Hg um 3–5° C, bei 125 mm Hg (in 40 Min.) um 9–10° C. Gleichzeitig trat starkes Kältezittern ein.

Bei niedrigerer Außentemperatur ist also die Tempera-

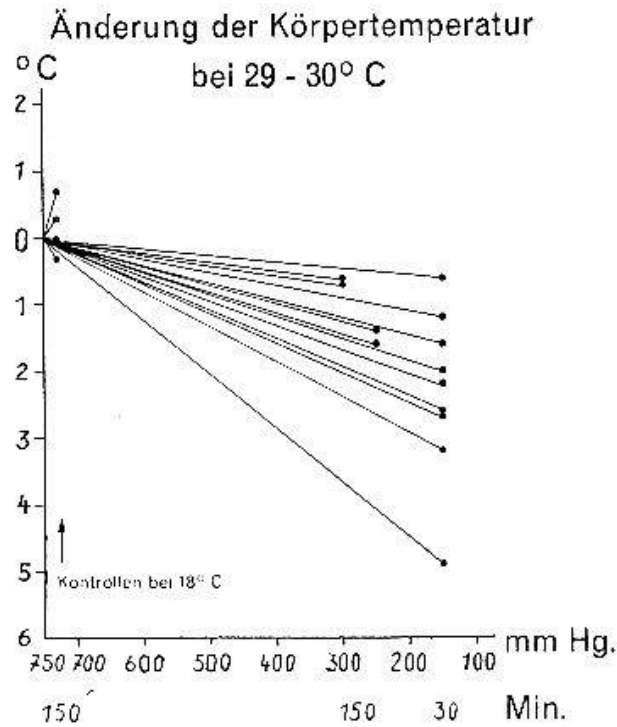


Abb. 1.

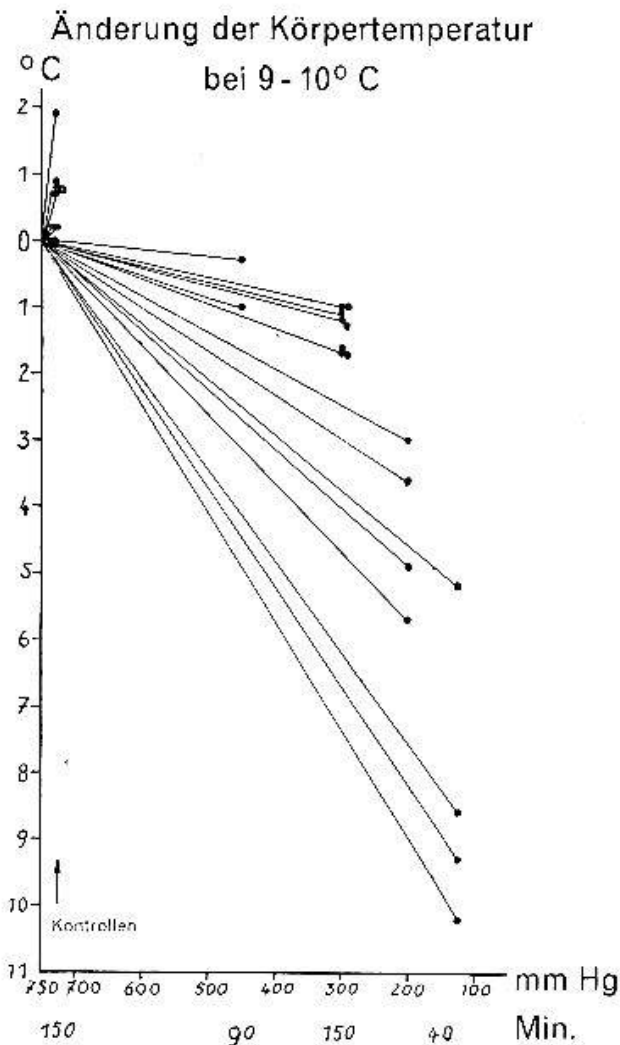


Abb. 2.

tursenkung bei Unterdruck stärker. Diese Befunde sind so zu deuten, daß bei niedrigem O_2 -Druck die Wärmeregulation versagt. Trotz gleichbleibender Umgebungstemperatur kann die normale Körpertemperatur nicht mehr aufrechterhalten werden. Die wahrscheinlichste Erklärung ist, daß für die Wärmebildung ein so hoher O_2 -Verbrauch nötig ist, daß dieser bei dem niedrigen O_2 -Gehalt (Druck) des Blutes nicht mehr gedeckt werden kann.

Man könnte allerdings, in Analogie zum Novocain-Versuch, auch an eine Störung der Thyreoidea-Inkretion denken. Diesbezügliche Versuche an 10 thyreoidektomierten Meerschweinchen haben gezeigt, daß die Temperaturabnahme bei niedrigem Druck stärker als bei den normalen Tieren war. Hierüber wird später noch ausführlich berichtet. Schließlich könnte man auch an eine spezifische Störung der hypothalamischen Wärmeregulationszentren und tieferen Tonuszentren, welche bei der chemischen Wärmeagglutination beteiligt sind, denken. Auch hierüber wären weitere Versuche notwendig.

Diese Störung der Wärmeregulation erklärt, warum der Mensch die Höhe von 4000 m bei niedriger Außentemperatur so schlecht erträgt, seine Temperatur sinkt und Kältezittern auftritt – wie oben beschrieben wurde. Bei hoher Außentemperatur findet dagegen in derselben Höhe eine rasche, leichte, sehr vollkommene Höhenanpassung statt. Diese weitgehende Adaptation an große Höhen ist in den Tropen deshalb möglich, weil für die Konstanthaltung der Körpertemperatur bei der herrschenden hohen Umgebungstemperatur keine besondere «chemische Wärmeregulation» nötig ist, also auch kein besonderer Stoffwechsel in Anspruch genommen wird. Die Körpertemperatur sinkt nicht, kein Kältegefühl und Kältezittern und keine wärmeregulatorische Kreislaufumstellung wird nötig. Die Anpassung und auch die Arbeitsleistung werden dementsprechend leichter.

Zusammenfassung

1. Es wird die Akklimatisation der eingeborenen indianischen und der zugewanderten weißen Bevölkerung in den Anden auf 3000–4000 m Höhe besprochen. Diese ist sehr vollkommen. Die Leistungsfähigkeit (Sport, Arbeit) ist nicht vermindert. Nur der Nacheffekt der Arbeit dauert länger.

2. Gewisse akute Umstellungen in der Höhe bleiben dauernd bestehen, so wie die Erythrocyten-, Hämoglobin- und Gesamtblutzunahme; ferner die Zunahme des gesamten Lungenvolumens (Thoraxerweiterung).

3. Andere Adaptationserscheinungen, insbesondere die Kreislauf-

umstellung und die Erregbarkeitsänderung des Atemzentrums, werden wieder rückgängig.

4. Für die Akklimationisation an große Höhen ist die Wärmeregulation von größter Bedeutung. Besonders wenn die Umgebungstemperatur niedrig ist, versagt bei vermindertem atmosphärischem Druck von 450 mm Hg und weniger die Wärmeregulation, und es kommt zu einer Abnahme der Körpertemperatur mit Kältezittern. Das wurde sowohl in großen Höhen am Menschen, wie im Tierversuch im Vakuumkessel nachgewiesen.

5. In Versuchen an Meerschweinchen wurde im Unterdruckkessel gezeigt, daß bei niedrigem Druck die Körpertemperatur sowohl bei 29–30° wie bei 8–10° C sinkt. Die Abnahme ist bei niedriger Temperatur größer. Thyreoidektomierte Tiere reagierten stärker als normale.

6. Es wird geschlossen, daß die sehr vollkommene Höhenakklimatisation des Menschen auf 4000 m in den Tropen besonders deshalb möglich ist, weil die hohe Umgebungstemperatur keine Inanspruchnahme der chemischen Wärmeregulation nötig macht.

Résumé

1. Etude de l'adaptation aux hautes altitudes, dans les Andes à 3000–4000 m, de la population indigène, indienne, et de la population blanche, importée. Cette acclimationisation est très complète. La capacité de travail n'est aucunement diminuée, les suites du travail dans l'organisme durent toutefois plus longtemps.

2. Certains signes d'adaptation brusque persistent, tels que l'augmentation du nombre des érythrocytes, l'augmentation de la teneur en hémoglobine et du volume total de sang; de plus le volume total des poumons augmente aussi (élargissement du thorax).

3. D'autres symptômes d'adaptation tels que ceux de la pression artérielle et de la réactivité du centre respiratoire régressent.

4. La régulation thermique joue un rôle essentiel dans l'acclimationisation aux hautes altitudes. En particulier lorsque la température environnante est basse et la pression atmosphérique tombe jusqu'à 450 mm Hg ou plus bas, la régulation calorique ne se fait plus, l'individu subit un refroidissement avec tremblements. Ce fait a pu être vérifié aussi bien sur l'homme aux hautes altitudes que sur l'animal dans les caissons à vide.

5. Les expériences sur le cobaye exécutées dans les chambres à basse pression ont montré que la température corporelle s'abaisse aussi bien à 29–30° qu'à 8–10° lorsque l'on abaisse la pression. La perte de

chaleur est plus grande lorsque la température ambiante est plus basse. Les animaux thyroïdectomiés réagissent plus fortement que les animaux normaux.

6. On en arrive à la conclusion que dans les Tropiques, une adaptation à une haute altitude de 4000 m est parfaitement possible, puisque la température ambiante élevée évite de faire appel aux phénomènes chimiques de régulation thermique.

Riassunto

1. Si esamina l'acclimatizzazione degli indigeni indiani e dei bianchi immigrati nelle Ande a 3000–4000 m di altitudine. L'acclimatizzazione è completa. La capacità lavorativa non è diminuita, solo l'effetto postumo del lavoro dura più a lungo.

2. Certi fenomeni acuti dell'adattamento all'altitudine persistono, per esempio l'aumento degli eritrociti, dell'emoglobina, del volume totale del sangue come pure l'aumento del volume totale dei polmoni (allargamento del torace).

3. Altri fenomeni di adattamento, specialmente quelli del sistema circolatorio e dell'eccitabilità del centro respiratorio invece scompaiono.

4. La termoregolazione ha un'importanza assai grande per la acclimatizzazione alle grandi altitudini. Se la temperatura esterna è bassa, a pressione atmosferica diminuita, la termoregolazione diventa insufficiente. Insorge allora il raffreddamento con i brividi di freddo. Ciò ha potuto essere dimostrato tanto nell'uomo a grandi altitudini quanto negli animali d'esperimento nei cassoni a vacuo.

5. In esperimenti eseguiti sulle cavie in cassoni a sottopressione, fu possibile dimostrare che la temperatura dell'organismo, a pressione atmosferica bassa, diminuisce sia a temperatura esterna di 29–30 gradi come pure di 8–10 gradi. La diminuzione è tanto più notevole quanto più bassa è la temperatura esterna. Le cavie tireodectomizzate reagiscono più di quelle normali.

6. Si deduce da questi esami che la perfetta acclimatizzazione ad un'altitudine di 4000 m nei tropici è possibile solo perchè, essendo la temperatura esterna alta, la termoregolazione chimica non deve entrare in funzione.

Summary

1. The acclimatisation of South-American Indians as well as of the immigrated white population in the Andes at 3000 to 4000 meters altitude is discussed. This acclimatisation is very complete. There is

no diminished efficiency. However, the aftereffects of physical work last longer.

2. Certain changes due to altitude remain constantly, such are the increase of the number of erythrocytes, of haemoglobin and of the total blood volume. Also the augmentation of the lung-volume (enlargement of the thorax) persists continuously.

3. Other phenomena of adaptation, especially the changes of the blood-circulation and the changes of the excitability of the respiratory-center disappear when the acclimatisation is complete.

4. The regulation of the body-temperature is of great importance for the first acclimatisation to high altitudes. If the surrounding temperature is low, then at low atmospheric pressure, the body temperature falls and shivering appears. This was seen on men at arrival in altitudes of 4000 m.

5. Laboratory tests on guineapigs have shown that at low pressure the body temperature falls at 29–30° C. as well as at 8–10° C. The decrease is greater at lower temperatures. Thyreoidectomised animals react with greater decrease of the body temperature than normal animals.

6. In conclusion: a complete acclimatisation to altitudes of 4000 m is possible in the tropics because the high environmental temperature does not require the chemical regulation of body temperature.

Arch. Gab. Med. de Deportes La Paz, II, 3, 35 (1947). – *Béhague, Carsaux und Richet fils*: C. r. Soc. Biol. 96, 1, 766 (1927). – *Bert, P.*: La pression barométrique. Paris 1878. S. 732. Accidents de la décompression. S. 228 und 296. – *Blood, F. R., Ellioth, R. V., und D'Amour, F. E.*: Amer. J. Physiol. 146, 319 (1946). – *Blood, F. R., Glover, R. M., Henderson, J. B., und D'Amour, F. E.*: Amer. J. Physiol. 156, 62 (1949). – *Chevillard, J., und Mayer, A.*: Ann. physiol. 2, 225 (1935). – *Forel, M.*: Bull. Soc. méd. Suisse rom. 1ère Série 1871, 2e et 3e Série 1874. – *Gosse père, M.*: Bull. Soc. d'Anthrop. Paris II, 80 (1861). – *Gellhorn, E.*: Amer. J. Physiol. 120, 190 (1937). – *Hurtado, A.*: J. clin. Invest. 12, 793, 807, 833 (1933); 13, 169, 1027 (1934); 14, 81, 94 (1935); Symposium on high altitude biology. Lima 1949. – *Legallois*: Deuxième mémoire sur la chaleur animale. 1813. – *Lintzel, W.*: Z. Biol. 87, 137 (1928). – *Lintzel, W., und Radeff, T.*: Pflügers Arch. 224, 451 (1930). – *Lintzel, W.*: Pflügers Arch. 227, 693 (1931). – *Loewy, A.*: Physiologie des Höhenklimas, Springer Verlag 1932; Biochem. Z. 185, 287 (1927). – *Lortet, M.*: Lyon méd. J. 1869. – *Margaria*: Boll. Soc. Biol. sper. 2 (1928). – *Marcet, W.*: Arch. Sci. phys. et nat. Bibl. Univ. Genève, 5e Série 36, 247 (1869). – *Monge, M. C.*: Ann. Fac. Med. Lima II, 1 (1928). – *D'Orbigny*: zit. nach Bert, P. – *Pick, E. P., und Glaubach, S.*: Arch. exper. Path. (D.) 151, 341 (1930); 162, 537, 551 (1931). – *Rotta, A.*: Amer. Heart J. 33, 669 (1947). – *Russel und Killogh*: On mountains. 1872; zit. nach Bert, P. 1878. – *Verzár, F.*: Pflügers Arch. 232, 322 (1933); Schweiz. med. Wschr. 76, 932 (1946). – *Verzár, F.*: Höhenklimaforschungen des Basler Physiologischen Institutes II. Basel 1948. Benno Schwabe & Co.

Diskussion:

K. Wiesinger (Zürich): In der Klinik finden wir fast regelmäßig das Symptom der Trommelschlegelfinger bei chronischem Sauerstoffmangel, wie er u. a. bei kongenitalen Herzvitien auftritt. *Barcroft* hat von seiner Expedition in die Anden berichtet,

daß die Eingeborenen des Hochplateaus von Peru dieses Symptom ebenfalls aufweisen. Ich möchte den Vortragenden anfragen, ob er auch bei den zugewanderten Tiefländern solche Beobachtungen gemacht hat und nach welcher Zeitdauer des Höheng Aufenthaltes das Symptom allenfalls auftritt.

Werthemann (Basel) stellt an den Vortragenden die Frage, ob sich bei Personen, welche sich erstmals in die großen Höhen zum dauernden Aufenthalt begeben, Störungen der geschlechtlichen Funktionen bemerkbar machen, namentlich ob bei Frauen Ausbleiben der Menses oder Unfruchtbarkeit oder Häufung von Aborten zur Beobachtung kamen. Nach den Experimenten, z. B. von *Büchner*, kann ja durch reinen Sauerstoffmangel die Entwicklung der Frucht gehemmt oder unterbrochen werden, und Experimente, die im Gange sind, lassen erkennen, daß gravide Ratten, die in die Unterdruckkammer gebracht werden, bestimmte Entwicklungsstörungen der Föten aufweisen.

F. Verzár (Basel), Schlußwort:

An *K. Wiesinger* (Zürich): Die O₂-Sättigung des arteriellen Blutes beträgt hier etwa 84%. Trommelschlegelfinger treten nach Angaben der Internisten der Klinik in La Paz (4000 m) auch dort nur unter denselben Umständen wie in Europa auf. Als regelmäßige Erscheinung bei Ansässigen dieser Höhe, Weißen und Mestizen, wurde es nicht angegeben, doch ist keine systematische Untersuchung durchgeführt worden.

An *Werthemann* (Basel): Vorübergehende inkretorische Störungen nach Ankunft auf diesen Höhen durch die weitgehende Umstellung bei der Akklimatisation scheinen möglich. Sie überdauern aber die Akklimatisationszeit nicht.

Monge vertrat die Lehre von einer verminderten Fruchtbarkeit der Europäer in der Höhe des Altiplano im Gegensatz zur großen Fruchtbarkeit der eingeborenen Indianer. Die Erfahrungen mit europäischen Einwanderern in *Bolivien* und sonst zeigen aber, daß keine Abnahme der Fruchtbarkeit eintritt, falls die übrigen Lebensbedingungen günstig sind. Das wurde uns von Gynäkologen und praktischen Ärzten in La Paz und von Missionaren am Titicacasee mitgeteilt. Auch die staatliche Tierzuchtstation in Cuzco hat gezeigt, daß, günstige Nahrung und Stallung vorausgesetzt, die Fruchtbarkeit von in diese Höhe gebrachten Haustieren gut ist. Immerhin wird die Frage auch gegenwärtig noch besonders von der biologischen Station in Huancayo statistisch geprüft.

Die Unfruchtbarkeit von Ratten in *Sundströms* Versuchen trat erst bei wesentlich niedrigerem atmosphärischem Druck (360–300 mm Hg) ein.