Zeitschrift: Bulletin der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften = Bulletin de l'Académie suisse des sciences médicales = Bollettino dell' Accademia svizzera delle scienze mediche

Herausgeber: Schweizerische Akademie der Medizinischen Wissenschaften

Band: 7 (1951)

Heft: 3-4

Artikel: Die "dritte Form" der Atmungsregulation beim Aufstieg in grossen Höhen und bei der Hochgebirgsbevölkerung der Anden

Autor: Verzár, F.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-307004

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 15.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

D. K. 612.2:551.56

Aus dem physiologischen Institut der Universität Basel
(Direktor: Prof. Dr. F. Verzár)

Die «dritte Form» der Atmungsregulation beim Aufstieg in große Höhen und bei der Hochgebirgsbevölkerung der Anden

Von F. Verzár

Bei erhöhtem Sauerstoffbedarf wird außer der Atemtiefe und der Zahl der Atemzüge auch das Gesamtvolumen der Lunge vergrößert. Wir haben diese Reaktion als «dritte Form» der Atmungsregulation bezeichnet. Ihr Vorkommen wurde auf drei verschiedenen Wegen bewiesen: Ursprünglich mittels Körperplethysmographie (1, 2) und später mit registrierender Thorakometrie (3, 4, 5). Andere haben eine Bestimmung der Residualluft mit Hilfe eines Mischverfahrens versucht. Nach unserer Auffassung handelt es sich um eine wesentliche Regulation, deren Zweck die Vergrößerung der respiratorischen Oberfläche ist; die Beweise hiefür haben wir in früheren Arbeiten diskutiert (6).

Bisher bestimmten wir die Veränderungen des Lungenvolumens und der Thoraxerweiterung nur bei akutem O_2-Mangel. Neuerdings konnten wir diese Reaktion auch bei langsamem Aufstieg auf simulierte große Höhen im Vakuumkessel während mehreren Stunden verfolgen.

Die Versuche sind an drei gesunden Studenten gemacht worden. Mit der Abnahme des atmosphärischen Druckes entwickelte sich kontinuierlich eine Thoraxerweiterung, wie sie in Abb. 1 und 2 für zwei Personen dargestellt ist.

Die Versuchspersonen hatten das von uns konstruierte registrierende Thorakometer (8), welches die Thoraxbewegungen direkt und in natürlicher Größe registriert, auf dem Thorax angeschnallt. Eine im Vakuumkessel miteingeschlossene Person führte etwa jede Viertelstunde die nötige Registrierung aus. Die einzelnen Perioden sind in den Kurven durch dicke Vertikalstriche getrennt. Nach 1½ Stunden befanden sich die Versuchspersonen unter einem Druck von 432 mm Hg, was einer Höhe von rund 4600 m ü. M. entspricht. Dann wurde wieder etwa innerhalb einer Stunde auf den Ausgangsdruck von 732 mm Hg zurückgekehrt.

Die Thorakometerkurven zeigen während der Druckabnahme die bekannte Zunahme der Atemtiefe bzw. bei der zweiten Versuchsperson

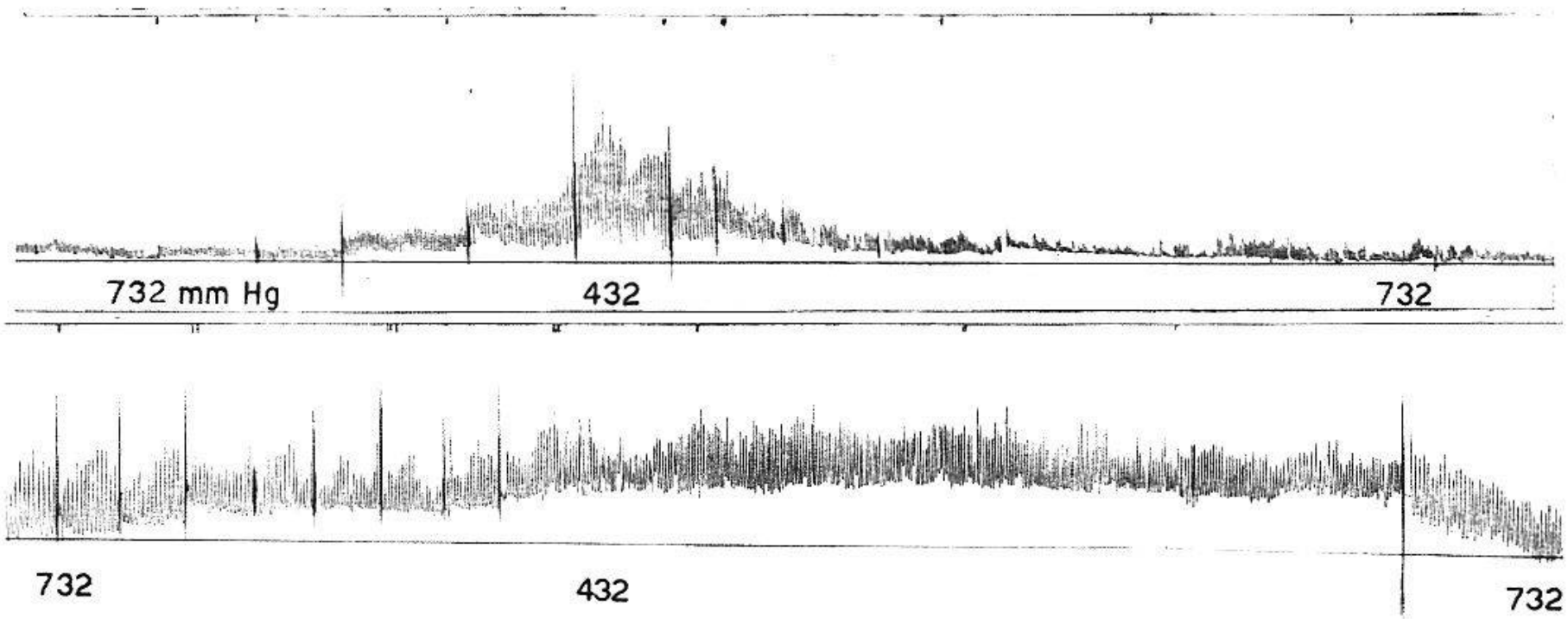

Abb. 1 und 2. Zwei gesunde Studenten, ♂, 22 Jahre. Registrierendes Thorakometer von Verzár am Hals getragen und über die Brust geschnürt. 1 cm = 1 Minute. Die Originalkurve ist hier auf die Hälfte verkleinert. 732 mm Hg Luftdruck in Basel als Ausgang. Inspiration nach oben. Die Registrierungen wurden alle 15 Minuten während etwa 1 Minute gemacht, wobei der Druck stets um 35–40 mm Hg abgenommen hatte. Die Versuche sind im Vakuumkessel des physiologischen Institutes gemacht, der Raum für zwei Personen, liegend oder sitzend, hat.

Die *Versuchsperson 1* (obere Kurve) reagiert auf simulierter großer Höhe von 4600 m (432 mm Hg) besonders mit Vertiefung der Atmung. Der exspiratorische Thoraxumfang ist etwa 6–8 mm vergrößert; beim Abstieg nimmt er wieder auf die ursprüngliche Lage ab.

Bei *Versuchsperson 2* (untere Kurve) ist die Reaktion auf die Höhe vor allem eine Beschleunigung und nicht eine Vertiefung der Atmung. Der exspiratorische Thoraxumfang wird schon sehr bald und sehr stark erhöht. Bei 432 mm Hg beträgt die Erhöhung der Exspirationslage 14–15 mm und kehrt bei der Rückkehr zum Ausgangsdruck von 432 mm Hg wieder auf die Ausgangslage zurück. Dabei wird die Atmung wieder langsamer.

besonders der Atemzahl und auch sehr deutlich die Thoraxerweiterung, d. h. eine über die Null-Linie erhöhte Exspirationslage. Diese ist ein Ausdruck für das vergrößerte Lungenvolumen. Wie sie beim Aufstieg langsam entsteht, so bildet sie sich beim Abstieg wieder zurück. Die Zunahme des exspiratorischen Thoraxumfanges in der simulierten Höhe beträgt etwa 8 bzw. 15 mm. Diese Erscheinung ist bei der Versuchsperson der Abb. 2 viel stärker ausgeprägt.

Der Grund, weshalb ich dieses Thema hier diskutiere, liegt darin, daß sich diese im Laboratorium gefundene Regulation – die übrigens klinisch von großer Bedeutung ist (6, 7) – in den Anden, wo eine große Bevölkerung dauernd auf 4000 m Höhe bei rund 450 mm Hg Druck lebt, bestätigen und nachweisen läßt.

Diese Beobachtungen sind heute zum Teil von rein historischem Interesse. Zum Teil sind es aber physiologische Beobachtungen der letzten Jahre, die, weil sie ganz unabhängig von unseren Untersuchungen erfolgten, als besonders wertvolle Beweise für die Existenz dieser Reaktion, der Vergrößerung der respiratorischen Oberfläche bei vermehrtem O_2-Bedarf, angesehen werden müssen.

In den Anden ist dieses Problem bereits über 100 Jahre alt. Schon 1839 hat *Alcide d'Orbigny* (9) behauptet, daß der Thorax der Bewohner der Anden besonders groß sei, und hat dies mit der Anpassung des Lungenvolumens an die verminderte Sauerstoffspannung erklärt (10). *A. d'Orbigny* schrieb in seinem Werk «L'homme américain» (1839) (9) das Folgende:

«Die Thoraxformen sind bei den Quichuas massiver als bei der andern Bergbevölkerung. Wir halten dies für charakteristisch. Die Quichuas haben sehr breite, eckige Schultern. Der Brustkorb ist außerordentlich breit, gewölbt und viel länger als gewöhnlich. Der ganze Brustkorb ist vergrößert. Auch das Verhältnis der Länge des Thorax zur Länge der Extremitäten ist bei den Quichuas nicht dasselbe wie bei unsern europäischen Rassen und ist übrigens auch anders als bei andern amerikanischen Rassen.

Wir wollten uns versichern, was wir eigentlich a priori schon geglaubt hatten, daß die Lungen selbst, abgesehen von ihrer größeren Ausdehnung, keine andern bemerkenswerten Unterschiede zeigen. Wir wohnten in der Stadt La Paz (3717 m ü. M.) und hörten, daß sich im Spital stets auch Indianer des sehr bewohnten Hochplateaus befinden, das noch höher liegt (3900–4400 m ü. M.). Unser Landsmann, *M. Burnier*, der als Arzt an diesem Spital amtete, stellte uns freundlicherweise seine Hilfe zur Verfügung. Wir baten ihn um die Erlaubnis, an einigen aus den Hochregionen stammenden Indianern eine Sektion machen zu dürfen. Mit *M. Burnier* zusammen konnten wir tatsächlich die außerordentliche, der äußern Form des Brustkorbes entsprechende Größe der Lungen feststellen. (*M. Burnier* machte unter anderem die Beobachtung, daß die Lungen in besonders viele Zellen aufgeteilt sind, in mehr als gewöhnlich. Dies schien uns seltsam und schwer zu glauben. Wir baten deshalb *M. Burnier*, diese Untersuchungen an einer größern Zahl von Personen zu wiederholen, und so erhielten wir nach einigen Jahren von diesem Kollegen die Nachricht, daß sich diese Beobachtung bestätigt habe.)»

Diese Mitteilungen erweckten noch nach 20 Jahren so großes Interesse, daß die Société d'Anthropologie in Paris in ihrer Sitzung vom 7. März 1861 (11) die Frage diskutierte, wobei *L. A. Gosse* sen. als Referent amtete. Es handelte sich um die Vorbereitung einer Expedition nach Peru und um Aufstellung von Problemen, die dort untersucht werden sollten. Das 50 Seiten lange Referat enthält unter vielem anderem Interessantem auch die Empfehlung, die Untersuchungen von *Alcide d'Orbigny* in den Anden zu wiederholen und mit Messungen in Meereshöhe zu kombinieren, um festzustellen, ob es sich bei dem großen Thoraxvolumen um eine Anpassung an die Höhe oder um eine Rasseneigenschaft handle. Es sind weitere 67 Jahre vergangen, bis diese Frage beantwortet wurde, allerdings ohne daß man sich dieser denkwürdigen Sitzung noch erinnert hätte.

Dagegen gab in Frankreich *Armieux* 12 Jahre später (1873) (12) an, daß Soldaten auf der Höhe von 1270 m einen etwas größeren Thoraxumfang als auf Meereshöhe hätten. Er zog die Folgerung einer «augmentation notable de la capacité thoracique pour faire une compensation au déficit d'oxygène». Seine Untersuchungen wurden aber nicht als beweisend betrachtet.

Später hat der Engländer *David Forbes* (1870) (13) die Thoraxform der Indianer in den Anden untersucht und seine Messungen statistisch behandelt. Seine Bestimmungen sind aber nach Sir *Arthur Keith* zum Teil unrichtig (14). Der letztere hat an einem Material, das von *J. Barcroft* in den Jahren 1922/23 in Cerro de Pasco (4500 m) gesammelt worden war, selbst Untersuchungen ausgeführt. *J. Barcroft* diskutiert in seinem Buch «Erfahrungen in großen Höhen» (1927) (15) seine bekannten Untersuchungen über Höhenklimawirkungen und behandelt die breite Thoraxform der Eingeborenen erneut. Er bezeichnet den Thorax der «Cholos» als faßförmig, groß und tief und in keinem Verhältnis zu ihrem sonstigen Körperbau stehend; er sagt, «daß die Breite des Brustkorbes im Verhältnis zur Höhe größer als bei den Angelsachsen sei». Eine Auswertung dieser Befunde für das Problem der Atmung führt er zwar nicht aus, doch scheint auch er an eine dauernd erhöhte Inspirationslage als Anpassungserscheinung gedacht zu haben.

Diese Beobachtungen sind von peruanischen Forschern stark diskutiert worden. *Carlos Monge* (16) regte schon 1928 systematische Untersuchungen über höhenphysiologische Probleme in den Anden an und überprüfte besonders die Resultate von *Barcroft* u. Mitarb. in Cerro di Pasco.

Hurtado (21, 1928; 17, 18, 1934) bestimmte das *Thoraxvolumen* durch Berechnung aus den 3 Durchmessern. Diese Methode ist zwar fehlerhaft, aber immerhin ließ sich damit bei 11 Studenten der weißen Rasse, die

von Lima (Seehöhe) nach Oroja (auf 4038 m) hinaufgingen, zeigen, daß bei allen, mit einer Ausnahme, sowohl der frontale als auch der sagittale Thoraxdurchmesser größer werden. Das berechnete Thoraxvolumen nimmt deutlich zu. Die Mittelwerte sind in willkürlichen (etwa «Liter») Einheiten die folgenden:

Gesunde Studenten (7)	Lima	Oroja
Exspiration	8,44	8,96
Mittel	9,64	10,09
Inspiration	11,64	12,00
Bergkranke (4)		
Exspiration	6,54	7,13
Mittel	7,62	8,07
Inspiration	9,10	9,37

100 Indianer, die allerdings auf 2300 m Höhe untersucht wurden, hatten ein Thoraxvolumen (in der Mittellage) von 9,98. Bei einer geringeren Anzahl von Indianern in Oroja wurden keine größeren Thoraxvolumina gefunden als bei den Weißen, aber individuell zeigte sich eine Volumenzunahme, wenn sie von 2300 m auf 4038 m Höhe stiegen, in gleicher Weise wie bei den Weißen.

Es besteht also kein Zweifel, daß in Oroja das Lungenvolumen bzw. der sagittale und frontale Durchmesser des Thorax bei Weißen und Eingeborenen zunehmen.

Neuerdings hat eine Gruppe von bolivianischen Forschern, *M.* und *E. Donoso Torres* u. Mitarb. (19) (1947), aus dem Nationalen Sportmedizinischen Institut in La Paz das Folgende beschrieben: In einem als Laboratorium eingerichteten Eisenbahnwagen fuhren sie von La Paz (4000 m) nach Arica (Meereshöhe), das in einem Tag erreichbar ist, und nahmen 12 bolivianische Sportleute als Versuchsobjekte mit. Von Arica brachten sie sodann 8 chilenische Sportleute auf die Höhe von 4000 m nach La Paz zurück. Die erste Gruppe von Sportleuten war also an eine Höhe von 4000 m, und die zweite an eine solche von 0 m Höhe akklimatisiert. 2–3 Tage nach der Ankunft auf Meereshöhe bzw. wieder auf 4000 m wurde bei allen Personen der Umfang des Thorax sowohl in Inspirations- als auch in Exspirationslage gemessen. Ferner wurde die Vitalkapazität bestimmt. Ihre Werte sind nur protokollarisch publiziert: wir haben sie deshalb zusammengestellt und für die ganze Reihe die Mittelwerte, die mittlere Abweichung[1] und den p-Wert[2] für die Signifikanz berechnet. Bei

[1] $\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma f^2}{n(n-1)}}$.

[2] p nach *R. A. Fisher*, Statistical methods for research workers.

dieser Berechnung wurde nicht in Betracht gezogen, ob die Personen von oben nach unten oder von unten nach oben disloziert worden waren, sondern nur die Unterschiede zwischen den beiden Messungen berechnet.

Von 40 in der Höhe von 4000 m Untersuchten wiesen 30 sowohl inspiratorisch als auch exspiratorisch deutlich eine Vergrößerung des Thoraxumfanges auf. Die Werte lagen zwischen +10 und +70 mm. 5 Fälle zeigten keinen Unterschied und 5 ergaben ein negatives Resultat. Im Mittel hat der Thorax einen in La Paz (4000 m) inspiratorisch um $15{,}8 \pm 4{,}7$ mm und exspiratorisch um $+15{,}0 \pm 4{,}0$ mm vergrößerten Umfang, mit einem Wert von $p = 0{,}01$.

Die Zunahme des Thoraxumfanges wäre an sich noch kein Beweis für eine Vergrößerung des Lungenvolumens (20). Da sie aber mit der durch Körperplethysmographie nachgewiesenen Lungenvolumenzunahme parallel läuft, kann man diese thorakometrische Registrierung ebenso bewerten. Diese Zunahme des Thoraxumfanges ist also ein reversibler Vorgang, der sich ganz akut einstellt.

Noch in einer anderen Weise bestätigt sich die Zunahme des Lungenvolumens in dieser Höhe. *Hurtado* (1928) (21) zeigte an 12 Personen, daß die Vitalkapazität beim Aufstieg von Lima (Meereshöhe) nach Oroja (4038 m) abnimmt. Sie sank bei Weißen im Mittel von 2480 auf 2192 cm^3 (pro m^2) und bei Eingeborenen von 2600 auf 2272 cm^3 (pro m^2). Seine Erklärung allerdings, die dieses Phänomen mit der Entwicklung eines Emphysems in Verbindung setzt, entspricht nicht unserer. Auch wir kennen diese Erscheinung seit langem aus den Alpen, und wir haben sie mit der Thoraxerweiterungsreaktion in Zusammenhang gebracht (22, 23). Der Thorax befindet sich in den großen Höhen in einer vermehrten exspiratorischen Lage. Der inspiratorische Muskeltonus ist verstärkt, und es kann deshalb nicht mehr so tief ausgeatmet werden wie auf Meereshöhe; dadurch sinkt die Vitalkapazität.

Auch die bolivianischen Forscher (19) haben bei den untersuchten Sportleuten die Vitalkapazität in beiden Höhen bestimmt. Sie fanden in der Höhe von 4000 m bei 13 Personen eine Abnahme von 200 bis 1600 cm^3, wobei die meisten Werte zwischen 200 und 500 cm^3 lagen. In 5 Fällen war keine und in 2 Fällen nur eine Differenz von 100 cm^3 vorhanden, was als Fehlergrenze gilt. Der Mittelwert beträgt 280 cm^3, was etwa der Größe der Abnahme entspricht, wie sie z. B. auf Jungfraujoch (3450 m) gefunden wurde (22). Diese Befunde sind uns deshalb besonders wertvoll, weil sie unabhängige Versuchsreihen darstellen, die ursprünglich gar nicht von den hier aufgeworfenen Problemen ausgingen.

Schließlich kann die Lungenvolumenzunahme in der Höhe auch noch mit Hilfe einer dritten Methodik bestätigt werden. *A. Hurtado* in Lima

(1933–1949) (21) bestimmte im höhenbiologischen Institut der Anden die Residualluft bei Menschen mit Hilfe der Mischmethode. Es hat sich gezeigt, daß das Volumen der Residualluft in Morococcha (4550 m ü. M.) größer ist als in Lima (Meereshöhe). Er referierte über seine Resultate, die zum Teil schon seit längerer Zeit vorlagen, am Symposium für Höhenbiologie in Lima im Herbst 1949. Die alveolare Ventilation ist auf 4550 m bei Ruhe um 21% und bei einer bestimmten Arbeit um 54% gesteigert. Außerdem ist ein erhöhtes «Alveolarvolumen» vorhanden: «Der Eingeborene in Morococcha hat ein größeres Volumen der Residualluft: 2,00 l gegenüber 1,00–1,50 l auf Meereshöhe (*Hurtado* und *Rotta* [17]).» «Die Alveolen sind erweitert. Ein Zustand eines mäßigen funktionellen Emphysems ist zu sehen. Die Kapillaren in der Alveolarwand sind dilatiert.» (*Campos Rey de Castro, J.* [25]). «Beide Prozesse haben eine vergrößerte Berührungsoberfläche zwischen Luft und Blut zur Folge und fördern dadurch die Diffusion der Atmungsgase durch die Alveolarmembran (*Hurtado* [21]).»

Diese Resultate von *Hurtado* zeigen, daß *Bohr* (1907) (26) doch recht hatte, als er mit Hilfe der Mischmethode eine Steigerung der von ihm so genannten Kapazität der Lunge nachwies. Er folgerte, daß es eine Regulation für die Residualluft gibt, die dann vermehrt wird, wenn der Sauerstoffbedarf steigt. *Krogh* und *Lindhard* (1913) (27) hatten seine Befunde nicht bestätigt, und sie waren deshalb in Vergessenheit geraten.

Hurtado spricht allerdings bei der Analyse seines Befundes von einem «funktionellen Emphysem», das er dem «pathologischen Emphysem» gegenüberstellt. Er ist dazu besonders berufen, da er die Zunahme der Residualluft bei Lungenfibrose und auch im Asthmaanfall in ausführlichen Untersuchungen beschrieben hat (1933, 1934) (24). Er unterscheidet ganz richtig vom «funktionellen Emphysem» die pathologische Reaktion der Lungenvolumvergrößerung ohne vermehrte Ventilation beim «pathologischen Emphysem», bei welchem die respiratorische Oberfläche entweder vermindert ist oder die durch Bronchialmuskelkrämpfe gefangene Luft nicht an der Ventilation teilnimmt. Beim funktionellen Emphysem ist umgekehrt die respiratorische Oberfläche vergrößert und die Alveolarventilation vermehrt. Es wäre angebracht, das Wort Emphysem nur für die pathologischen Zustände zu benützen und für diese physiologische Regulation nur von einer «Volumenvergrößerung der Lunge» zu sprechen.

So zeigen also drei unabhängige Beobachtungen an Menschen, die in diesen großen Höhen in den Anden leben, die Vergrößerung der respiratorischen Oberfläche durch Zunahme des Lungenvolumens. Die Unter-

suchungen von *Hurtado* in Lima und die thorakometrischen Untersuchungen von *Donoso Torres* in La Paz führen zum gleichen Resultat, wie wir es im Vakuumkessel gefunden hatten: bei Abnahme des Sauerstoffdruckes nimmt das Lungenvolumen zu.

Schon einmal haben Untersuchungen in den Anden zu einer wichtigen physiologischen Entdeckung beigetragen. Hier war es, wo 1890 *Viault* die Beobachtung machte, daß die roten Blutkörperchen in der Höhe an Zahl zunehmen. Sie hat eine unendliche Reihe von Forschungsarbeiten über die Regulation der Blutbildung angeregt. Unter den ersten, die die Bedeutung dieser Entdeckung erkannten, war der Basler Physiologe *Friedrich Miescher* (28), der bereits 1892 die Befunde aus den Anden in den Schweizer Bergen wiederholen ließ und sie viel diskutierte. Die Bedeutung dieser Erythrocytenzunahme liegt, wie schon er erkannte, in der Zunahme der sauerstoffübertragenden Oberfläche. Diese Zunahme der «inneren Oberfläche» hat ihr Analogon in einer Zunahme jener Oberfläche, durch welche der Sauerstoff aus der Luft in das Blut diffundiert, nämlich der «respiratorischen Oberfläche der Lunge». Vorher wenig oder nicht durchlüftete Bezirke der Lunge werden ventiliert, und in der gleichen Zeit kann somit mehr O_2 in das Blut diffundieren, als dies in der Niederung möglich war.

Zusammenfassung

Als «dritte Form der Atmungsregulierung» bezeichnete der Verfasser die bei körperlicher Arbeit oder bei Atmung von Luft mit niedrigem O_2-Partialdruck auftretende Vergrößerung des Lungenvolumens, die zu einer Vergrößerung der respiratorischen Oberfläche mit stärkerer Durchlüftung führt. Ihre Existenz wurde zuerst mit Körperplethysmographie nachgewiesen und später mit registrierender Thorakometrie bestätigt. Die erhöhte exspiratorische Lage des Thorax bzw. das vergrößerte Lungenvolumen sind die Folge eines vermehrten Tonus der inspiratorischen Atemmuskulatur.

Mit dem registrierenden Thorakometer von *Verzár* wurde die Entwicklung einer erhöhten Exspirationslage im Vakuumkessel bei Druckabnahme, entsprechend 4600 m Höhe, registriert (Abb. 1 und 2).

Es wurden die historisch interessanten Daten gesammelt, welche in den Anden von Südamerika das Bestehen dieser Regulation beim Aufstieg auf die Höhe von 4000 m stets wieder erwiesen haben. Es werden insbesondere die Angaben von *d'Orbigny*, *Barcroft*, die experimentellen Befunde von *Hurtado* sowie die statistischen, thorakometrischen Messungen von bolivianischen Forschern analysiert. Beim Aufstieg auf etwa 4600 m Höhe erweitert sich der Thoraxumfang um rund 20 mm.

Die Beobachtungen in den Anden stehen demnach in Übereinstimmung mit den Laboratoriumsversuchen und bestätigen die Existenz der «dritten Form der Atmungsregulation» bei vermehrtem O_2-Bedarf.

Résumé

Sous «troisième forme de la régulation respiratoire» l'auteur décrit l'augmentation du volume respiratoire qui se produit lors de gros efforts physiques ou en respirant un air pauvre en oxygène; cette augmentation du volume respiratoire est due à une augmentation de la surface respiratoire avec ventilation augmentée. Ce fait a été prouvé d'abord par un enregistrement pléthysmographique, puis par la thoracométrie. L'amplitude augmentée de l'expiration, c'est-à-dire l'augmentation du volume pulmonaire, sont les conséquences d'un tonus augmenté des muscles de l'inspiration.

A l'aide du thoracomètre enregistreur de *Verzár*, on a pu enregistrer le développement du périmètre thoracique dans une chambre à vide, avec une pression atmosphérique correspondant à une altitude de 4600 m (fig. 1 et 2).

Après une analyse des observations successives qui ont démontré l'existence de cette régulation dans la population des Andes de l'Amérique du Sud, lorsque l'on s'élève à une altitude de 4000 m, l'auteur étudie plus particulièrement les données de *d'Orbigny*, *Barcroft*, les expériences de *Hurtado*, ainsi que les statistiques établies par les savants boliviens sur leurs mensurations du périmètre thoracique. En montant à une altitude de quelque 4600 m, le périmètre thoracique augmente de 20 mm.

Les observations faites dans les Andes confirment ainsi les expériences de laboratoire, et aussi l'existence d'une «troisième forme de régulation respiratoire» en cas de besoin augmenté d'oxygène.

Riassunto

L'autore definisce quale «terza forma di regolazione della respirazione» l'aumento del volume dei polmoni e conseguente aumento della superficie respirativa con ventilazione più intensa. L'aumento del volume polmonale insorge durante il lavoro fisico oppure durante la respirazione in un'atmosfera con pressione parziale di ossigeno diminuita. L'esistenza di questa terza forma di regolazione fu trovata in primo luogo con la pletismografia del corpo e in seguito confermata con la registrazione toracometrica. La più alta posizione espiratoria del torace rispettivamente l'aumento del volume polmonale sono prodotti dall'aumento del tono della muscolatura inspiratoria.

Con l'aiuto del toracometro di *Verzár* fu possibile registrare lo sviluppo di una posizione espiratoria più alta in esperimenti eseguiti nel cassone

a vacuo ad una pressione corrispondente a 4600 m di altitudine (fig. 1 e 2).

L'autore dà un riassunto dei fatti storici che dimostrano come l'esistenza di una terza forma di regolazione, ad altitudini di ca. 4000 m nelle Ande dell'America del Sud, fosse già considerata da tempo. Vengono analizzati specialmente le constatazioni di *d'Orbigny*, di *Barcroft*, gli esperimenti di *Hurtado* come pure le determinazioni toracometriche di scienziati boliviani. Salendo ad un'altitudine di ca. 4000 m il perimetro del torace aumenta di ca. 20 mm.

Quanto fu osservato nelle Ande è quindi in pieno accordo con gli esperimenti di laboratorio e prova l'esistenza di una terza forma di regolazione della respirazione.

Summary

The "third form of respiration regulation" is the increase of the lung-volume. This is observed during work or during the respiration of air with diminished oxygen pressure. The result is an increase of the respiratory surface, with a better ventilation of the lung. It was originally shown with body plethysmography and confirmed with thoracometry (registering thoracometer of *Verzár*). The increased lung volume is the result of an increase of inspiratory muscle tonus.

The increase of the thorax circumference was shown in man in a vacuum-chamber on decreasing the pressure to correspond with an altitude of 4600 m (fig. 1 and 2).

The historical facts are collected, which led a long time ago in the Andes to the recognition of this reaction and were discussed by *d'Orbigny*, *Barcroft* and others. *Hurtados* experimental work, and the work of Bolivian workers has shown that the thorax circumference increases by about 20 mm if a person comes from sea level to the altitude of about 4000 m.

Thus the observations in the Andes agree with what was found in laboratory experiments and prove the existence of this "third form respiration regulation".

1. *Verzár, F.:* Pflügers Arch. **232,** 322 (1933). – 2. *Peyser, E., Sass-Kortsák, A.,* und *Verzár, F.:* Amer. J. Physiol. **163,** 111 (1950). – 3. *Verzár, F.,* und *Vögtli, W.:* Höhenklimaforschungen des Basler physiol. Institutes. Schwabe & Co., Basel 1945, S. 80. – 4. *Bühlmann, A.:* Helv. physiol. Acta **8,** 286 (1950). – 5. *Schweizer, W.:* Dissertation Basel 1944. – 6. *Verzár, F.:* Schweiz. med. Wschr. **76,** 932 (1946); Schweiz. med. Jahrb. 1934. – 7. *Verzár, F.,* und *Vögtli, W.:* Schweiz. med. Wschr. **75,** 457 (1945); **77,** 980 (1947). – 8. *Verzár, F.:* Registrierendes Thorakometer. Höhenklimaforschungen des Basler physiologischen Institutes. Schwabe & Co., Basel 1945, S. 76. – 9. *D'Orbigny, A.:* L'homme américain. 2 vol., Paris 1839. – 10. *Bert, Paul:* La pression barométrique. 1878, S. 311. – 11. *Gosse* sen., *L. A.:* Bull. Soc. Anthropol. **2,** 86 (1861). – 12. *Armieux:*

Mém. Acad. Sci. Toulouse, 7e série, t. 4, 214 (1873). – 13. *Forbes, David:* J. Ethnolog. Soc. II, 193 (1870). – 14. *Keith, A.:* Phil. trans. B **211**, 472 (1922). – 15. *Barcroft, J.:* Erfahrungen in großen Höhen. Deutsche Ausgabe 1927, Bd. I, S. 40. – 16. *Monge, Carlos:* La enfermedad de los Andes. An. Fac. Med. Lima **11**, 1 (1928). – 17. *Hurtado, A.*, und *Rotta, A.:* La capacidad pulmonar en la altura. Rev. Soc. biol. Lima **1**, 7 (1934). – 18. *Hurtado, A.:* Respiratory adaptation in the Indian natives of the Peruvian Andes. Amer. J. physic. Anthrop. **17**, 137 (1932). – 19. *Donoso Torres, M. L., E. D.* u. Mitarb.: Investigaciones somatometricas sobre el escolar Andino, La Paz II, 2, 79 (1947); II, 3, 35 (1947). – 20. *Fleisch, A.*, und *Lehner, F.:* Helv. physiol. Acta **7**, 410 (1949). – 21. *Hurtado, A.:* An. Fac. Med. Lima **11**, 266 (1928); Summary of round table conference; Symp. Biol. High Altit., Lima, Nov. 1949. – 22. *Verzár, F.:* Höhenklimaforschungen des Basler Physiologischen Institutes. Schwabe & Co. 1945, S. 92. – 23. *Verzár, F.*, Schweiz. med. Wschr. **63**, 17 (1933); siehe dort die ältere Literatur. – 24. *Hurtado, A.*, u. Mitarb.: J. clin. Invest. (Am.) **12**, 793, 807, 833 (1933); **13**, 169 ,1027 (1934); Amer. J. Physiol. **109**, 626 (1934). – 25. *Campos Rey de Castro, J.:* Observaciones Anatomicas en la altura. Nota preliminare. Sympos. Intern. Biol. Altit., Nov. 1949. – 26. *Bohr, Chr.:* Dtsch. Arch. klin. Med. **88**, 385 (1907). – 27. *Krogh, A.*, und *Lindhard, J.:* J. Physiol. **47**, 112 (1913). – 28. *Miescher, F.:* Zbl. Schweizer Ärzte, 28. Okt. 1893. Über Beziehungen zwischen Meereshöhe und Beschaffenheit des Blutes.