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: 6 (1950)

Heft: 1

Artikel: Physiologische Wirkungen des mittleren Höhenklimas

Autor: Grandjean, E. / Gautier, E.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-309009

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: 01.12.2025

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

D. K. 612.0: 551.5

Physiologisches Institut der Universität Lausanne
und Physiologisches Institut der Universität Bern

5. Physiologische Wirkungen des mittleren Höhenklimas[1])

Von **E. Grandjean** und **E. Gautier**

In den letzten Jahren sind auf dem Jungfraujoch (3450 m) eine große Zahl von Untersuchungen durchgeführt worden, welche zum Teil neue und interessante physiologische Resultate ergeben haben (1). Dabei wurden neue Methoden entwickelt, welche die Reizwirkung des Höhenklimas quantitativ zu erfassen gestatten. Da die erhaltenen Resultate nicht nur ein rein physiologisches, sondern auch ein medizinisches Interesse haben, schien es uns angezeigt zu sein, die Methoden, die sich auf 3450 m besonders bewährt haben, nun auch auf der Höhe eines Klimakurortes anzuwenden.

Zu diesem Zwecke führten wir eine Expedition nach Zuoz[2]) (1750 m) durch, über deren Ergebnisse hier zusammenfassend berichtet werden soll.[3])

Methode

Die Erfahrungen der Expeditionen auf das Jungfraujoch haben uns gelehrt, daß die Streuung von solchen physiologischen Reihenuntersuchungen recht beträchtlich ist. Man muß deshalb an gleichen Versuchspersonen eine möglichst große Zahl von Messungen unter genau gleichen Versuchsbedingungen durchführen und hernach die erhaltenen Resultate einer objektiven statistischen Analyse unterwerfen.

Wir haben an 8 gesunden Versuchspersonen im Alter von 21 bis 32 Jahren, 2 Frauen und 6 Männer, während 10 aufeinanderfolgenden Tagen in Lausanne (560 m) und während eines dreiwöchigen Aufenthaltes in Zuoz die Messungen durchgeführt.

---

[1]) Diese Arbeit wurde mit Hilfe der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften und des Eidgenössischen Kredites für Arbeitsbeschaffung durchgeführt.

[2]) Wir möchten auch an dieser Stelle Herrn Dr. *A. Nadig*, Direktor des Lyceum Alpinum in Zuoz, unsern besten Dank aussprechen für die gastfreundliche Aufnahme und die großzügige Unterstützung unserer Arbeiten.

[3]) Für mehr Einzelheiten siehe: *E. Grandjean* u. Mitarbeiter: Helv. Physiol. Acta 7 (1949).

Untersucht wurden die alveolare Kohlensäurespannung, die Dauer der willkürlichen Apnöe, die Erregbarkeit der die Herzfrequenz regulierenden Zentren, die Resistenz der Hautkapillaren, der Ruhemuskeltonus, die Reizschwellen des Hautdrucksinnes und des Patellarsehnenreflexes sowie das rote und das weiße Blutbild.

Wir verzichten auf die Beschreibung der einzelnen, angewendeten Methoden der Messungen und der statistischen Prüfungen, da sie bereits andernorts beschrieben worden sind (1, 2).

Resultate

1. *Die Atmung.* Aus der älteren Literatur (*Loewy* [3]) geht hervor, daß die meisten Autoren bereits in mittleren Höhen eine Steigerung des Atemminutenvolumens festgestellt hatten. Dem gegenüber sind *Verzár* und *Vögtli* (4) auf Grund ihrer Gasanalysen im Blute und im Gewebe zum Schluß gekommen, daß bis zu Höhen von 2000 m keine Regulationen gegen den gesunkenen O_2-Partialdruck eintreten. Eine systematische Untersuchung des alveolaren Kohlensäuredruckes im Tiefland und im mittleren Höhenklima schien uns deshalb angezeigt. In Tab. 1 sind die Mittelwerte der alveolaren Kohlensäurespannung bei Ruhe angegeben. Daraus geht hervor, daß im Mittel alle 7 untersuchten Versuchspersonen in Zuoz eine erniedrigte Kohlensäurespannung aufweisen. Die Erniedrigung ist statistisch stark gesichert bei 5 Versuchspersonen.

Dieselben Messungen wurden auch nach einer kurzen Arbeitsleistung durchgeführt. Dabei wurde im Tiefland im Mittel eine Kohlensäurespannung von 49,9 mm Hg gemessen, während in der Höhe ein Mittelwert von 40,3 mm Hg erhalten wurde. Dieselbe Arbeitsleistung bewirkt

Tabelle 1
Mittelwerte der alveolaren Kohlensäurespannungen im Tiefland und in mittlerer Höhe (1750 m)

Versuchspersonen	Mittelwert Lausanne (560 m)	Mittelwert Zuoz (1750 m)	Differenz	t-Test $t_{0,01} = 2,68$
Ar.	43,7	35,6	—8,1	6,88
Gu.	40,1	35,8	—4,3	3,65
Ga.	42,1	37,6	—4,5	3,82
Sch.	35,0	34,1	—0,9	0,76
Ki.	39,2	37,2	—2,0	1,70
Ma.	44,2	37,9	—6,3	5,35
Ja.	39,5	33,4	—6,1	5,18
Genereller Mittelwert	40,54	35,94	—4,6	10,2

somit im Tiefland eine größere Spannungserhöhung (+21,7%) als in der Höhe (+12,6%).

Die gleichzeitig gemessenen maximalen Atemanhaltezeiten zeigten im Mittel eine deutliche, statistisch signifikante Verkürzung während des Höhenaufenthaltes. Die gefundenen Mittelwerte betragen 60 Sekunden für Lausanne (560 m) und 47 Sekunden für Zuoz (1750 m).

Aus der gefundenen Kohlensäurespannung kann ein angenäherter Wert für die alveolare Sauerstoffspannung berechnet werden. Dabei zeigt sich, daß die alveolare O_2-Spannung in Zuoz nicht entsprechend dem Abfall des Atmosphärendruckes erniedrigt ist, sondern einen mittleren relativen Spannungsgewinn von 5 mm Hg aufweist. Nach der Arbeitsleistung ist die relative Erhöhung der Sauerstoffspannung noch deutlicher.

Die erhaltenen Resultate lassen erkennen, daß ein Aufenthalt in 1750 m Höhe bereits eine deutliche Steigerung des Atemminutenvolumens bewirkt, was zu einer Erniedrigung der alveolaren Kohlensäurespannung und zu einem entsprechenden Gewinn der Sauerstoffspannung führt. Die Resultate des Arbeitsversuches und des Atemanhalteversuches deuten auf eine Erregbarkeitssteigerung der atmungsregulierenden Zentren hin. Einzelheiten über die Ergebnisse und über die Methode dieser Untersuchungen werden von *Gautier* andernorts angegeben (5).

2. *Die Herzfrequenz.* Die bei Ruhe gemessene Herzfrequenz ist während der ersten Woche vorübergehend angestiegen. Die Tagesmittelwerte stiegen in signifikanter Weise von 74 auf 84 bis 88 Schläge pro Minute an.

Die mit dem Pulszeitschreiber von *Fleisch* registrierten Schwankungen der Herzfrequenz während eines quantitativ dosierten Valsalva-Versuches und nach einer bestimmten Arbeitsleistung zeigten im Höhenklima keine Änderungen gegenüber dem Tiefland. Die auf der Höhe vom Jungfraujoch mit dem gleichen Verfahren festgestellte Erregbarkeitssteigerung der die Herzfrequenz regulierenden Zentren läßt sich somit auf der Höhe von 1750 m noch nicht nachweisen.

3. *Die Resistenz der Hautkapillaren.* Die durchgeführten Messungen der Kapillarresistenz haben eine signifikante Erhöhung im Höhenklima ergeben. Dieses Resultat bestätigt frühere Ergebnisse von *Wyß* (6), welcher auf derselben Höhe eine Erhöhung der Kapillarresistenz bei asthmakranken Kindern gemessen hat. Einzelheiten dieser Untersuchungen sind in der Dissertation von *Schmid* (7) enthalten.

4. *Der Muskeltonus.* Der mit einem besonderen Myotonometer gemessene Ruhemuskeltonus sinkt nach einem vorübergehenden leichten Anstieg progressiv ab. Die Abb. 1 zeigt dies in eindeutiger Weise. Der

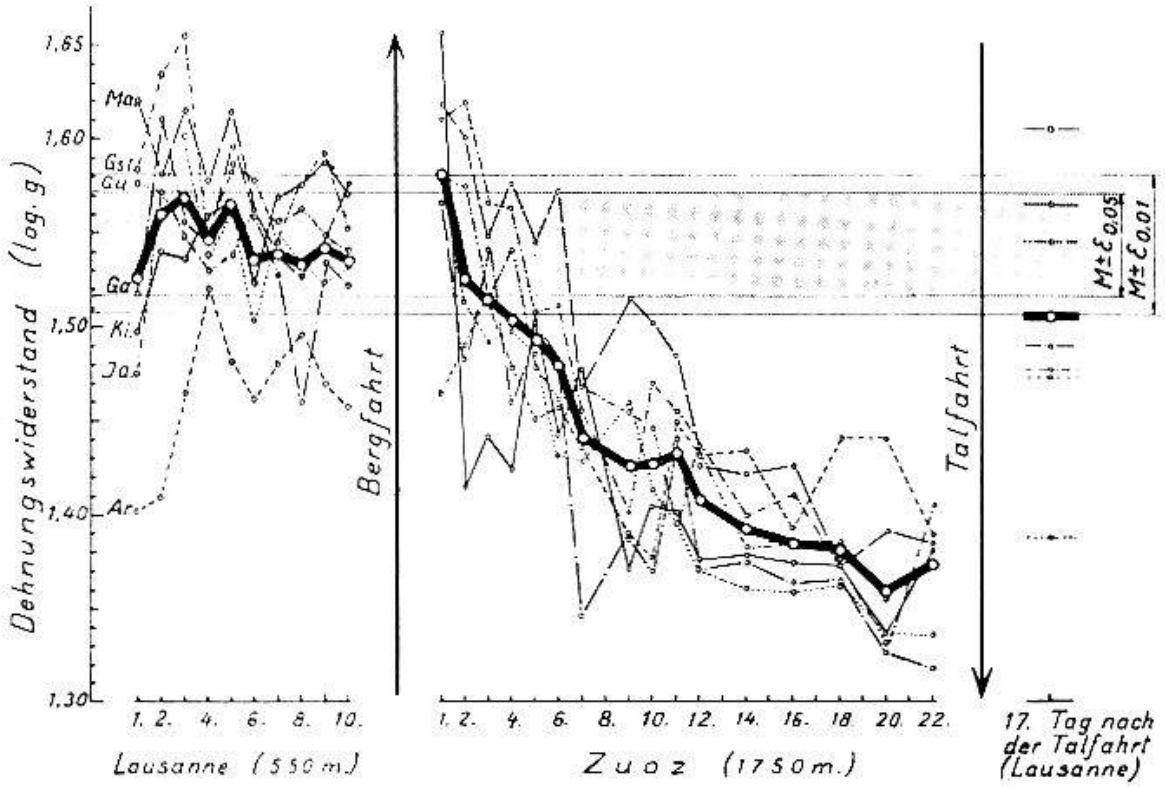

Abb. 1. Die Änderungen des Ruhemuskeltonus während eines Aufenthaltes in mittlerer Höhe. Ordinate: Dehnungswiderstand. Abszisse: Tage. Die dünn gezogenen Linien verbinden die individuellen Tageswerte, die dick gezogenen die generellen Tagesmittelwerte. Die horizontalen Linien $M \pm \varepsilon_{0,01}$ und $M \pm \varepsilon_{0,05}$ stellen die Fehlerbreiten der Tagesmittelwerte dar.

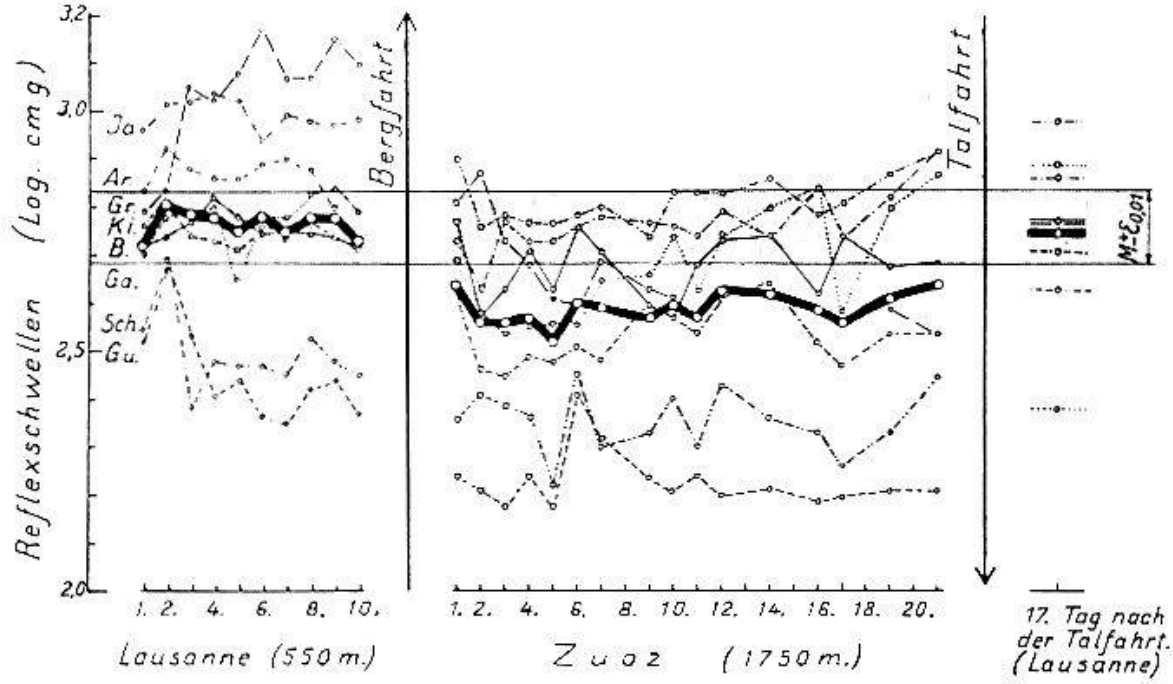

Abb. 2. Die Herabsetzung der Reizschwellen des Patellarsehnenreflexes während eines Aufenthaltes in mittlerer Höhe. Ordinate: Schwellenwerte. Übrige Legende wie in Abb. 1.

progressive Abfall des Muskeltonus ist im mittleren Höhenklima stärker als auf der Höhe des Jungfraujoches (3450 m).

5. *Die Reizschwellen des Hautdrucksinnes.* Die Messungen wurden mit dem Ästhesiometer von *Fleisch* (8) durchgeführt. Sie ergaben einen mittleren Abfall am 1. sowie vom 14. bis zum letzten Tage des Höhenaufenthaltes. Die Senkung der Druckschwellen ist weniger deutlich als auf dem Jungfraujoch.

6. *Die Reizschwellen des Patellarsehnenreflexes.* Die Messung der Reizschwellen des Patellarsehnenreflexes ergab vom ersten Höhentag an einen deutlichen Abfall, welcher bis zum Schluß des Höhenaufenthaltes unverändert bestehen blieb. Die Einzelergebnisse sind auf Abb. 2 graphisch dargestellt. Die mittlere Höhe bewirkt eine Schwellensenkung, welche ungefähr halb so stark ist wie die auf dem Jungfraujoch beobachtete.

7. *Das rote Blutbild.* Die Erhöhung der Erythrocytenzahl und des Hämoglobingehaltes im Höhenklima ist eine altbekannte Tatsache. Wir haben diese Messungen deshalb wiederholt, weil vor kurzem *Doetsch, Verzár* und *Vögtli* (9) sowie *Schönholzer* (10) eine Erythrocytenvermehrung im mittleren Höhenklima angezweifelt haben. Die in Abb. 3 auf-

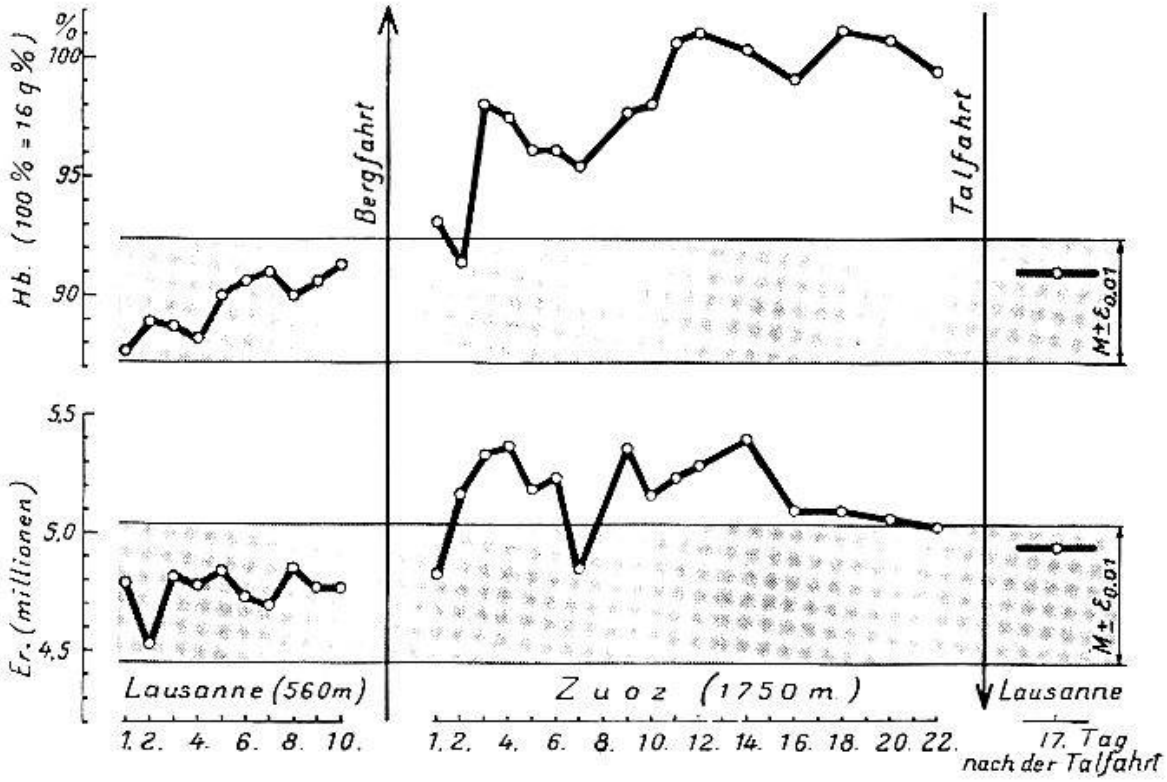

Abb. 3. Die Zunahme des Hämoglobins (obere Kurve) und der Erythrocytenzahl (untere Kurve) während eines Aufenthaltes in mittlerer Höhe. Die beiden Kurven stellen die Tagesmittelwerte der 8 Versuchspersonen dar. Die beiden grauen Bänder geben die mit 99% Wahrscheinlichkeit gesicherten Fehlerbreiten an.

gezeichneten Kurven der Tagesmittelwerte zeigen, daß der Aufenthalt auf 1750 m sowohl die Erythrocytenzahl als auch den Hämoglobingehalt erhöhen. Obwohl die Erhöhung nur von geringem Ausmaß ist, so hat sie dennoch ihre Bedeutung, da sie statistisch einwandfrei gesichert ist. Die Indikation von Kuren in mittlerer Höhe bei gewissen anämischen Zuständen bleibt somit zu Recht bestehen.

8. *Das weiße Blutbild.* Die systematische Untersuchung des weißen Blutbildes ergab während des Höhenaufenthaltes eine geringe, aber statistisch gesicherte Erhöhung der Zahl der weißen Blutkörperchen. Die Auszählung der differenzierten weißen Blutzellen ergab im Mittel eine absolute Zunahme der Lymphocyten, der stabkernigen neutrophilen Leukocyten und der Monocyten. Man kann daraus schließen, daß der Aufenthalt in mittlerer Höhe auch auf die blutbildenden Organe der weißen Zellen eine Reizwirkung ausübt. Dieser Befund stimmt gut mit der klinischen Erfahrung überein, wonach der Höhenaufenthalt eine günstige Wirkung auf die Abwehrfunktionen gegen infektiöse Erkrankungen ausübt.

Diskussion der Resultate

Fleisch und *von Muralt* (1) haben die zahlreichen Resultate der Jungfraujoch-Expeditionen zusammenfassend analysiert und unter dem Gesichtswinkel der neurovegetativen Regulation betrachtet. Sie kamen dabei zum Schluß, daß ein Aufenthalt auf 3450 m Höhe sowohl das System des Sympathicus als auch des Parasympathicus stimuliert, wodurch das gesamte vegetative Nervensystem in den Zustand einer Amphotonie umgestimmt werde.

Die hier mitgeteilten Resultate über die Wirkung einer mittleren Höhe von 1750 m bestätigen im wesentlichen die auf dem Jungfraujoch erhaltenen Ergebnisse. Auch in bezug auf die vegetative Stimmungslage gelangen wir zum selben Schluß. Die erhöhte Erregbarkeit des Atemzentrums und der animalen Funktionen (Hautdrucksinn und Patellarsehnenreflex) und die Zunahme der jungen Formen der Leukocyten sprechen für einen erhöhten Sympathicotonus, während die Lymphocytose von zahlreichen Klinikern als ein Funktionserfolg des Parasympathicus betrachtet wird. Fügen wir noch die Beobachtungen anderer Autoren hinzu, wie z. B. die Herabsetzung des Grundumsatzes in Davos (1800 m) (*Kapp* [11], *Wolf* [12], so können wir die Schlußfolgerung von *Fleisch* und *von Muralt* auch auf das mittlere Höhenklima ausdehnen.

Eine derartige vegetative Umstimmung im Sinne einer Amphotonie hat sicherlich auch ein medizinisches Interesse. So sind beispielsweise rasch einsetzende Abwehrreaktionen gegen Infektionen an eine Sympa-

thicotonie gebunden (Leukocytose, Fieber, Stimulierung von Atmung und Kreislauf), während die Restitutionsfunktionen des Organismus eng mit einer Parasympathicotonie verknüpft sind (Lymphocytose, ökonomische Einstellung des Stoffwechsels usw.). Eine solche Amphotonie des vegetativen Nervensystems mit seinen vielseitigen Auswirkungsmöglichkeiten auf die verschiedensten Funktionen des Organismus stellt sicherlich die Grundlage des therapeutischen Wirkungsmechanismus des Höhenklimas dar.

Zusammenfassung

Systematische Untersuchungen an 8 gesunden Versuchspersonen im Tiefland (560 m) und während eines dreiwöchigen Aufenthaltes in einer mittleren Höhe von 1750 m haben folgende Veränderungen durch den Höhenaufenthalt ergeben:

1. Die alveolare Kohlensäurespannung sinkt im Mittel um 4,6 mm Hg ab.
2. Die maximale Atemanhaltezeit ist verkürzt.
3. Die Herzfrequenz ist vorübergehend erhöht, während die Erregbarkeit der herzregulierenden Zentren unverändert bleibt.
4. Die Resistenz der Hautkapillaren ist erhöht.
5. Der Muskeltonus sinkt nach einer vorübergehenden leichten Steigerung progressiv ab.
6. Die Reizschwellen des Hautdrucksinnes und des Patellarsehnenreflexes sind erniedrigt.
7. Die Erythrocytenzahl und der Hämoglobingehalt sind erhöht.
8. Die Zahl der weißen Blutkörperchen ist erhöht, was auf einer absoluten Vermehrung der Lymphocyten, der stabkernigen Leukocyten und der Monocyten beruht.

Résumé

Une étude systématique effectuée sur 8 sujets sains en plaine (560 m) et pendant un séjour de trois semaines à moyenne altitude de 1750 m a révélé à la montagne les résultats que voici:

1° La pression alvéolaire du gaz carbonique diminue en moyenne de 4,6 mm Hg.

2° La durée de l'apnée volontaire est raccourcie.

3° La fréquence cardiaque s'élève passagèrement tandis que l'excitabilité des centres régulateurs de la fréquence cardiaque ne se modifie pas.

4° La résistance des capillaires de la peau augmente.

5° Après une augmentation passagère le premier jour, la tonicité musculaire diminue progressivement.

6° Les seuils de la sensibilité tactile et du réflexe rotulien sont abaissés.

7⁰ Le nombre des érythrocytes et le taux de l'hémoglobine sont élevés.

8⁰ Le nombre des globules blancs est augmenté ce qui est dû à une élévation du nombre absolu des lymphocytes, des leucocytes neutrophiles à noyaux en forme de bâtonnets et des monocytes.

Riassunto

Uno studio sistematico effettuato su 8 soggetti sani in pianura (560 m) e durante un soggiorno di tre settimane ad una media altitudine di 1750 m ha dato i risultati seguenti.

1.⁰ La pressione alveolare dell'acido carbonico diminuisce in media di 4,6 mm di Hg.

2.⁰ La durata dell'apne volontaria è diminuita.

3.⁰ La frequenza cardiaca aumenta passeggieramente mentre l'eccitabilità dei centri regolatori della frequenza cardiaca non si modifica.

4.⁰ La resistenza dei capillari della pelle aumenta.

5.⁰ Dopo un aumento passeggiero il primo giorno, la tonicità muscolare diminuisce progressivamente.

6.⁰ Le soglie della sensibilità tattile e del riflesso patellare sono diminuiti.

7.⁰ Il numero degli eritrociti e l'emoglobina sono aumentati.

8.⁰ Il numero dei globuli bianchi è elevato il chè è dovuto ad un aumento del numero assoluto dei linfociti, dei leucociti neutrofili con nuclei a forma di bastoncini e dei monociti.

Summary

Various measurements were made on 8 healthy subjects in the plain (560 m) and during a stay of three weeks at moderate altitude (1750 m). The following results were obtained at altitude:

1. The alveolar CO_2 pressure decreases on average 4.6 mm of Hg.

2. The duration of voluntary apnoe is shortened.

3. The heart rate increases during the first week. The excitability of the heart rate regulating centers is unchanged.

4. The resistance of the capillaries of the skin increases.

5. The muscular tonicity rises the day of arrival but shows thereafter a striking continuous lowering throughout the stay at altitude.

6. The thresholds of the cutaneous tactile sensibility and of the patellar reflex decreases.

7. The number of red cells and the hemoglobine level increase.

8. The number of white cells is also raised, as a consequence of an augmentation in the absolute number of lymphocytes, neutrophilic leucocytes with rod-shaped nuclei and monocytes.

1. *von Muralt, A.*, und *Fleisch, A.:* Klimaphysiologische Untersuchungen in der Schweiz, 1. und 2. Teil. Benno Schwabe & Co., Basel 1944 u. 1949. – 2. *Grandjean, E.*, und *Linder, A.:* Helv. Physiol. Acta **5,** 441 (1947). – 3. *Loewy, A.:* Physiologie des Höhenklimas. Springer, Berlin 1932. – 4. *Verzár, F.:* Höhenklima-Forschungen des Basler Physiologischen Institutes, 2. Teil. Benno Schwabe & Co., Basel 1948. – 5. *Gautier, E.:* erscheint demnächst in Helv. Physiol. Acta. – 6. *Wyss, F.*, und *Gianoli, A.:* Schweiz. med. Wschr. **76,** 626 (1946). – 7. *Schmid, A.:* Diss. Bern 1949. – 8. *Fleisch, A.:* Helv. Physiol. Acta **3,** 355 (1945). – 9. *Doetsch, R.*, *Verzár, F.*, und *Vögtli, W.:* Höhenklima-Forschungen des Basler Physiologischen Institutes, 1. Teil. Benno Schwabe & Co., Basel 1945. – 10. *Schönholzer, R.:* Erfahrungen über die Behandlung und die Erfolge bei inländischen und kriegsgeschädigten Ausländer-Kindern in schweizerischen Kurstationen. P. Haupt, Bern 1948. – 11. *Kapp, W.:* Beitr. Klin. Tbk. 1928. – 12. *Wolf, J. E.:* Schweiz. med. Wschr. **76,** 870 (1946).