

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Höhenklima und Bergwanderungen in ihrer Wirkung auf den Menschen

Zuntz, Nathan

Berlin, 1906

Kapitel XII. Herztätigkeit und Blutkreislauf

Kapitel XII.

Herztätigkeit und Blutkreislauf.

Die wesentlichste Aufgabe, die das Herz und der durch dessen Tätigkeit unterhaltene Blutkreislauf zu erfüllen haben, ist die Blut- und Sauerstoffversorgung des Körpers. Sie steht nicht nur ihrem Zweck nach in enger Verknüpfung mit der Atmung, sondern wird auch durch diese in erheblichem Maße mechanisch gefördert. Aber einen so klaren Einblick wir in den Ablauf des Atmungsvorganges gewinnen können, so leicht es ist, die Sauerstoffzufuhr zu den Lungen durch geeignete Versuchsanordnungen zu messen, so schwierig ist es, die Herztätigkeit und ihre Wirkung auf die Sauerstoffzufuhr zu den einzelnen Organen genauer zu analysieren. Es ist bis vor kurzem unmöglich gewesen, den unmittelbaren und bedeutungsvollsten Effekt der Herztätigkeit beim Menschen festzustellen, nämlich die bei jedem Herzschlage ausgeworfene Blutmenge. Sie ist bestimmend für die Menge des Ernährungsmaterials und des Sauerstoffs, die den Organen unseres Körpers zugeführt wird.

Man glaubte früher, daß die Frequenz der Herztätigkeit, also die Pulsfrequenz, insofern wenigstens einen Maßstab für die umlaufende Blutmenge abgebe, als mit ihrer Zunahme auch der Blutumlauf zunehme, mit ihrer Abnahme geringer werde. Aber das hat sich in neueren Versuchen¹⁴⁾ als unrichtig erwiesen. Selbst wenn neben der Pulsfrequenz der in den Gefäßen herrschende Blutdruck mit berücksichtigt wird, haben wir noch keinen Maßstab für die vom Herzen geförderte Blutmenge.

Pulsfrequenz und Blutdruck sind aber diejenigen Faktoren, deren Bestimmung

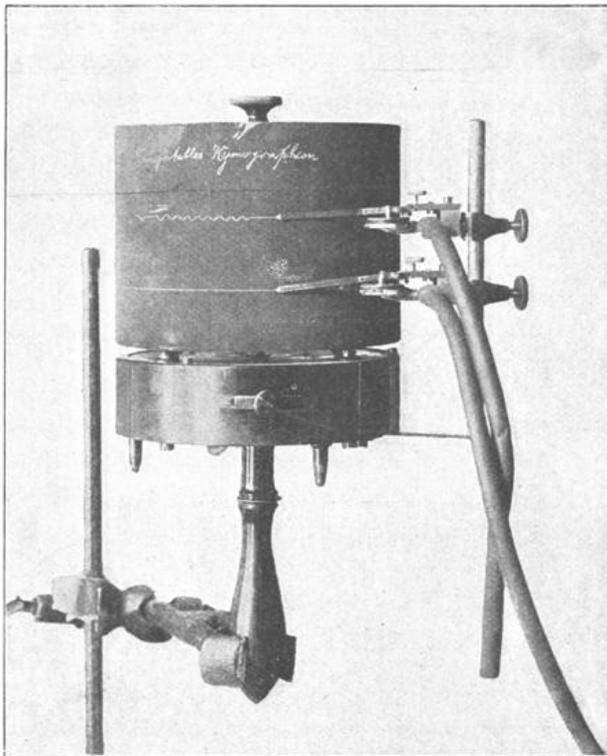


Fig. 1. Sphygmograph für Marschversuche.

in Untersuchungen über die Herzarbeit des Menschen allein Verwendung finden kann. Eine Ergänzung erfahren sie durch die Aufnahme des Pulsbildes. Wie der Ablauf der Atmung, so können auch die Pulswellen graphisch aufgezeichnet und in Kurvenform dargestellt werden. Im Laufe dieses Kapitels werden wir darauf noch ausführlicher zurückzukommen haben.

Die Anschauungen über die Bedeutung der Pulsbilder sind mannigfachem Wechsel ausgesetzt gewesen. Die hohe Schätzung, der sie sich früher erfreuten, ist einer sehr skeptischen Beurteilung gewichen, wenigstens soweit physiologische Verhältnisse in Betracht kommen. Bei Erkrankungen des Herzens und des Gefäßsystems ist es anders. Die Pulskurve zeigt bei einer ganzen Reihe krankhafter Prozesse so charakteristische Abweichungen von der Norm, daß aus ihnen die betreffende Krankheit ohne weiteres erkannt werden kann.

Beim Aufenthalt im Höhenklima und besonders bei Wanderungen im Hochgebirge wird die Grenze zwischen gesundhaftem und krankhaftem Verhalten kaum bei einem Organ leichter überschritten und mehr verwischt als beim Herzen. Ernährungsstörungen und Überanstrengungen des Herzens können sich langsam ausbilden, ohne zunächst subjektiv wahrnehmbar zu werden. Das gerade ist das Gefährliche, und diesem Umstande sind nicht wenige bei Wanderungen im Hochgebirge zum Opfer gefallen. Besonders zur Beurteilung solcher Zustände der Herzermüdung sind aber die Pulsbilder von Wert, da sie durch charakteristische Merkmale auf ihr Bestehen hinweisen. Darum haben auch wir neben der Pulszählung Bilder unserer Pulse, sog. Sphygmogramme, unter den verschiedenen Bedingungen, die unsere Expedition bot, aufgenommen.

Die Pulsfrequenz im Höhenklima. Bei der Besprechung der Atemmechanik hatten wir betont, wie leicht sie durch äußere und innere Reize zu beeinflussen sei, eine wie veränderliche Funktion sie darstelle. Das Gleiche gilt von der Herztätigkeit.

Am leichtesten der Beobachtung zugänglich sind die großen Schwankungen in der Frequenz der Herzschläge. Die als normal betrachtete Zahl von 65—70 Schlägen pro Minute findet sich nur, wenn längere Zeit schon vollkommene körperliche und geistige Ruhe besteht und äußere Reize ferngehalten werden. Sie wird, ebenso wie die Atmungsfrequenz, gesteigert durch Erregungen, die auf unsere Sinnesorgane wirken, durch grelles Licht, schrille Töne, durch Reize, die unsere Haut treffen, besonders durch Temperaturreize. Zu diesen äußeren Reizen kommen dann sog. innere, d. h. solche, die bei der Tätigkeit unserer Organe entstehen. Für die Erzeugung solcher ist in erster Linie, wie bei der Atmung so auch hier, die Muskeltätigkeit zu nennen.

Da das Klima, und zwar jedes Klima, Faktoren enthält, die auf die Sinnesorgane, speziell unser Auge und unsere Haut, wirken, so ist es nur natürlich, daß die Herztätigkeit gesteigert wird, wenn wir uns den Klimareizen direkt aussetzen, und es kann uns nicht wundernehmen, daß das Höhenklima energischer wirkt, als das des Tieflandes. Auffallender ist es schon, daß wir hier Dauerwirkungen nach Art der bei der Atemmechanik besprochenen finden, daß wir also

die Pulsfrequenz, gesteigert sehen, auch ohne daß eine unmittelbare Einwirkung der wirksamen Klimafaktoren stattfindet oder kurz vor der Untersuchung stattgefunden hatte.

Man scheidet den direkten Einfluß des Klimas und der inneren Reize am ehesten aus, wenn man den Puls frühmorgens vor dem Aufstehen zählt; dadurch hat man auch die größte Sicherheit, bei voller körperlicher Ruhe zu untersuchen und nicht durch Nachwirkung vorhergegangener Arbeit getäuscht zu werden.

Legt man diesen Gesichtspunkt zugrunde, so scheidet von den zahllosen Pulszählungen, die beim Aufenthalt in den Bergen vorgenommen wurden, die überwiegende Mehrzahl, insbesondere der älteren Zählungen aus, denn einerseits wurden sie im Anschluß an einen aktiv unternommenen Aufstieg gemacht und standen noch unter dem Einfluß der vorausgegangenen, meist ermüdenden Muskularbeit, andererseits befanden sich die Untersuchten unter der direkten Wirkung der Sonnenstrahlung oder der Kälte, des Windes, der Blendung. Wir wollen deshalb auf die so gewonnenen Ergebnisse, über die zuerst wohl Saussure¹⁷⁾ bei seinen Montblanc-Besteigungen, Parrot¹⁶⁾ bei seinen Besteigungen der armenischen Gebirge, Zumstein²¹⁾ vom Monte Rosa berichtet, nicht weiter eingehen. Kronecker¹⁰⁾ hat eine große Zahl solcher Beobachtungen aus allen Gebirgen der Erde in seiner, der „Bergkrankheit“ gewidmeten Monographie zusammengestellt, und auf diese möchten wir verweisen.

Übereinstimmend ergab sich, daß die Pulsfrequenz von einer geringeren oder größeren Höhe ab mehr oder weniger gesteigert war.

Kronecker selbst unternahm im Jahre 1894 seine Expedition von Zermatt (1600 m) aufs Zermatter Breithorn (3750 m). Er suchte dabei die Wirkung der Muskularbeit auf das körperliche Verhalten in der Höhe auszuschließen und ließ alle Beteiligten bis zur unteren Theodul-Hütte reiten, von dort ab auf Sesseln aufs Breithorn tragen, dessen Spitze nicht ganz erreicht wurde. Auch die unter diesen Umständen vorgenommenen Pulszählungen ergaben eine deutliche, individuell aber stark wechselnde Steigerung:

Die Pulszahl pro Minute betrug für:

Knabe J. (10 Jahre)	in Zermatt	84	auf dem Breithorn	120
Frau Professor Sahli (20er Jahre)	„ „	96	„ „	106
Frau Professor Kronecker (30er Jahre) „ „	„ „	85	„ „	100
Professor S. (30er Jahre)	„ „	94	„ „	106
Professor Kr. (50er Jahre)	„ „	64	„ „	80
P. (70er Jahre)	„ „	70	„ „	80

Die erste und letzte Person stammten aus Zermatt, die übrigen aus Bern; die Steigerung der Pulszahl findet sich bei allen.

Über weitere Beobachtungen, in denen neben der Ermüdung auch die direkte Klimawirkung vermieden wurde, berichten Heller, Mager und v. Schrötter.⁷⁾ Sie hielten sich drei Tage in der 2210 m hoch am Dachstein gelegenen Simony-Hütte auf. Auch in dieser Höhe nahm die Pulszahl im Maximum um 13 pro Minute zu. Weitere Erfahrungen, finden sich bei Mosso.¹⁵⁾ Auf seine Veranlassung wurde die Pulsfrequenz bei den 15 Mitgliedern einer in der Mehrzahl aus Schülern bestehenden Karawane bestimmt, die von Turin

aus auf die Monte Rosa-Spitze gekommen war und dort mehrere Tage blieb. Die Beobachtungen geschahen bei voller Ruhe in der Hütte. Auch hier war eine Zunahme festzustellen, die am ersten Tage 20—40 Pulse für die Minute ausmachte. Am dritten Tage aber war schon ein deutlicher Rückgang zu erkennen, so daß die Pulszahl die in Turin nur noch um 3—8 Schläge übertraf.

Diese letztere Tatsache der Wiederabnahme der gesteigerten Pulsfrequenz bei längerem Aufenthalt in der Höhe scheint etwas ganz Gesetzmäßiges zu sein. Sie fand sich überall, wo darauf geachtet wurde, so, sehr deutlich, auf der Expedition der Gebrüder Loewy mit Leo Zuntz.^{13a)} Die bei A. Loewy von 64 in Berlin auf 78—84 in der Gnifetti-Hütte (3620 m hoch) gestiegene Pulsfrequenz sank am dritten Tage des Hüttenaufenthaltes auf 68 ab. Bei J. Loewy stieg sie von 60 in Berlin auf 86—88, um dann wieder auf 58—60 herabzugehen, bei Leo Zuntz waren die Pulszahlen 60 : 80—84 : 68. — Die auf unserer Expedition im Jahre 1901 gewonnenen Ergebnisse lehren dasselbe in noch deutlicherer Weise. —

Die vorstehend mitgeteilten Untersuchungen sind an Personen angestellt worden, die den Aufenthalt im Hochgebirge nicht gewohnt waren. Wir sahen bei Betrachtung der Atemmechanik, daß dieses Moment eine Rolle spielt. Die Atmung wurde weit mehr erregt bei Personen, die aus dem Tieflande aufstiegen, als bei denen, die dauernd oder selbst nur vorübergehend sich im Hochgebirge aufgehalten hatten. Bei der Herztätigkeit ist dieser Unterschied nicht von so erheblicher Bedeutung. Ein Urteil erlauben die Ergebnisse an Mossos Bergsoldaten. Ihre Pulsfrequenz lag in Turin sehr niedrig, nur zwischen 47—52 pro Minute; schon in Gressoney (1600 m) begann sie anzusteigen, deutlicher wurde die Wirkung in 2500 und 3000 m Höhe, und war auf der Monte Rosa-Spitze meist sehr ausgeprägt. Bei dem einen Soldaten betrug sie 90 gegen 46 in Turin, bei einem zweiten 84 gegen 48, bei drei anderen 67 : 51, 60 : 47, 58 : 52.

Wir haben uns bisher fast ausnahmslos auf die Wirkung bedeutenderer Höhen bezogen. Daß die Steigerung der Pulsfrequenz jedoch schon an Orten einsetzt, die noch als klimatische Kurorte benutzt und viel besucht werden, lehren die Erfahrungen der Ärzte in den Graubündener Kurorten. Jaccoud,⁸⁾ Veraguth,²⁰⁾ Egger⁵⁾ fanden in St. Moritz und Arosa zum Teil erhebliche Steigerung des Pulses, und in Veraguths Zahlen zeigt sich auch ein allmähliches Wiederabfallen.

Das umfassendste Material, was Verschiedenheit der Höhe und Dauer der Beobachtung betrifft, können wir selbst beibringen. Während der fast sechs Wochen dauernden Expedition wurde an jedem von uns frühmorgens, gleich nach dem Erwachen, und abends, längere Zeit nach Aufsuchung des Lagers, die Pulsfrequenz gezählt. Die äußeren Bedingungen sind also stets die gleichen gewesen. Erwähnenswert ist dabei, daß in den Stunden vor dem Schlafengehen keine anstrengende Muskeltätigkeit geleistet wurde, unter deren Nachwirkung etwa die Herztätigkeit stehen konnte. Nichtsdestoweniger sind die des Morgens gefundenen Werte maßgebender, da, wie sich zeigen wird, im Hochgebirge auch eine geringe Muskeltätigkeit den Puls für längere Zeit zu steigern vermag.

Unsere Resultate werden am deutlichsten, wenn wir sie nicht in Form von Tabellen, sondern in einer graphischen Aufzeichnung geben. Es genügt hier eine kurze Betrachtung, um einen Überblick über die wesentlichen Ergebnisse zu erlangen. Sie finden sich auf der Tafel zwischen S. 344 und 345.

Auf der Tafel bedeuten die untenstehenden Zahlen das Datum, die an der linken Seite die Pulszahl. — Die etwas fetter gedruckten senkrechten Linien, an deren Fuße das Datum steht, entsprechen der Morgenzählung, die in der Mitte dazwischen liegenden der Abendzählung. Wo eine Zählung fehlt, wurde dies durch Punktierung der Kurve angedeutet.

Die eigentümlichste Tatsache vielleicht ist die, daß schon der Aufenthalt in Brienz bei uns allen den Puls beschleunigte. Die in Berlin gefundenen Zahlen, deren Mittel den Werten in Brienz vorangesetzt ist, sind stets niedriger als in Brienz. Und dabei hat Brienz nur eine Höhe von 500 m! Diese Tatsache läßt sich schwer aus der Luftdruckverminderung erklären, wenn auch die Vermehrung der Blutzellen in gleicher Höhe und die von uns gefundene Steigerung des Eiweißansatzes für diese Möglichkeit sprechen.

Wir möchten besonders darauf hinweisen, daß bei zwei von uns sechs (Müller und Kolmer) die normale Pulszahl am Morgen 40 nur wenig überschreitet, bei den übrigen nahe an sechzig liegt. Hierin kommt die absolute körperliche und geistige Ruhe, deren wir uns befeißigten, zum Ausdruck. Es wäre sicherlich von großem Interesse, wenn eine Anzahl gesunder, kräftiger Menschen ihre normale Pulsfrequenz morgens im Bette bei vollkommener Entspannung der Muskulatur feststellen wollten, um zu ermitteln, ob nicht die jetzt in den Lehrbüchern angegebenen Zahlen zu hoch sind. Auch die oben angeführten Zählungen Mossos sprechen dafür.

Bemerkenswert ist sodann, wie bei uns allen die Pulsfrequenz während des Aufenthaltes in Brienz allmählich wieder absinkt. Besonders beweisend sind hierfür die morgendlichen, weil zuverlässigsten Werte. Am deutlichsten spricht sich der Vorgang bei Müller, Waldenburg und Loewy aus, ist aber auch bei den übrigen nicht zu verkennen. Er deutet auf eine allmähliche Gewöhnung an die klimatischen Reize hin, die bei dem einen früher, bei dem anderen später eintrat.

Der Übergang aufs Rothorn (2150 m) hat ein ganz eigentümliches Verhalten zur Folge. Sowohl bei der Gruppe Loewy-Müller-Kolmer, die es bereits am siebenten Tage aufsuchte, wie auch bei der zweiten, erst am neunzehnten Tage emporfahrenden, tritt zunächst eine Abnahme der Pulsfrequenz ein, die 1—2 Tage anhält, um dann einer Steigerung Platz zu machen, die bei vieren über die Brienzer Werte hinausgeht, bei Zuntz und Loewy sie nicht deutlich überschreitet. Der einzige, der den primären Abfall nicht erkennen läßt, ist Waldenburg.

Die Steigerung über die Pulsfrequenz in Brienz hinaus tritt nur bei Müller bereits am zweiten Ruhetage auf dem Rothorn, bei Kolmer, Waldenburg, Caspari dagegen erst am ersten Arbeitstage auf, so daß man daran denken könnte, sie als Nachwirkung der intensiveren körperlichen Betätigung aufzufassen. — Bei dem längeren Aufenthalt auf dem Rothorn kommt ein allmählicher Wiederabfall der Pulszahl zustande.

Das Ansteigen der Pulszahl auf dem Rothorn und der allmähliche Wiederabfall entspricht bekannten Tatsachen, dagegen ist ein primäres Absinken bis jetzt noch nie beobachtet worden. Für zufällig kann man es nicht halten,

dafür tritt er zu gleichmäßig bei fünf von sechs Personen auf. Eine Erklärung dafür zu geben, ist schwer, und wir möchten uns nicht in Vermutungen ergehen. Mit dem Training kann es nicht zusammenhängen, da es bei den Untrainierten und Trainierten auftrat. Hier werden erst weitere Untersuchungen Aufklärung bringen müssen.

Eine wichtige und neue Tatsache ist ferner die, daß bei keinem der drei Teilnehmer der ersten Gruppe nach Rückkehr nach Brienz sich die Pulsfrequenz wieder auf die Werte der ersten Brienzer Periode einstellt, vielmehr deutlich unter sie herabgeht. Dieser Befund tritt ganz dem für den Stoffumsatz und die Atemmechanik ermittelten an die Seite. Wir sahen, daß auch der Stoffzerfall und die Atemgröße in der zweiten Brienzer Periode niedriger lagen als in der ersten. — Die Erklärung dürfte hier die gleiche wie dort sein. Das Herz hatte sich an die Reize des Rothorn-Klimas und die größere körperliche Anstrengung der Märsche gewöhnt. Mit der Rückkehr nach Brienz fällt ein Teil dieser Reize fort, und das Herz wird jetzt weniger energisch angeregt.

Der Übergang zum Monte Rosa endlich brachte bei allen eine meist erhebliche Steigerung. Sie setzt schon auf dem 2900 m hohen Col d'Olen ein, um auf der Monte Rosa-Spitze das Maximum zu erreichen. — Auch für den Monte Rosa ist bemerkenswert, daß allmählich die Pulszahl wieder absinkt, ohne allerdings am Ende des achttägigen Aufenthalts die ursprünglichen Werte wieder erreicht zu haben.

Als Ergebnis haben wir also zunächst eine Anregung der Herztätigkeit durch das Gebirgsklima. Die Wirkung steigert sich mit zunehmender Höhe. Dabei scheinen mittlere Höhen die Herztätigkeit in anderer Art zu beeinflussen als bedeutende. Bei längerem Aufenthalt auf gleicher Höhe tritt ein allmählicher Wiederabfall der Pulsfrequenz ein; nach Rückkehr ins Tiefland scheint sie zunächst geringer zu sein als in gleicher Höhenlage vor dem Aufstieg.

Welches sind nun die Ursachen für diese Änderung der Herztätigkeit? Man muß auch für diese Frage eine Scheidung nach der Höhe vornehmen. In geringen und mittleren Höhen dürften andere Momente vorwiegend in Betracht kommen als in bedeutenden.

Man versuchte zunächst, den Einfluß der Luftverdünnung auf die Herztätigkeit festzustellen, und nahm zu dem Zwecke Pulszählungen im pneumatischen Kabinett bei verschiedenen Graden von Druckherabsetzung vor. Man fand dabei, daß die Luftverdünnung einen wesentlichen Einfluß auf das Verhalten des Pulses hat. Es wurden Pulssteigerungen beobachtet, die den im Gebirge gefundenen annähernd entsprachen. So fand G. v. Liebig¹²⁾ an drei Personen folgende Pulswerte:

Person I	Person II	Person III
724 mm Hg = 61	724 mm Hg = 69	720 mm Hg = 64
647 mm Hg = 65	615 mm Hg = 72	650 mm Hg = 72
500 mm Hg = 66	579 mm Hg = 75	424 mm Hg = 84
429 mm Hg = 67	512 mm Hg = 78	

Annähernd Gleiches beobachteten Paul Bert²⁾ und A. Mosso¹⁵⁾ an sich selbst.

Aus den Zahlen Liebigs ergibt sich, daß schon geringe, Höhen von etwa 1000 m entsprechende, Verdünnungen den Puls zu steigern vermögen. Hier braucht man aber die mit der Verdünnung einhergehende Sauerstoffverarmung der Luft noch nicht als Ursache heranzuziehen, wir müssen vielmehr an mechanische Wirkungen denken, ausgelöst durch die Empordrängung des Zwerchfells und die geänderte Lungenstellung, ferner an psychische infolge von abnormen Empfindungen oder gar Schmerzen in der Paukenhöhle durch die Ausdehnung der dort eingeschlossenen Luft. Solche Empfindungen wirken erfahrungsgemäß auf die Herzfrequenz. Die mechanischen Effekte haben beim Aufenthalt im Gebirge höchstens an den ersten Tagen Bedeutung, da ja, wie in Kapitel III erörtert, schon bald Ausgleichprozesse eintreten. Bei den stärkeren Verdünnungsgraden kommt dann der beginnende Sauerstoffmangel in Betracht.

Das zeigen sehr schöne Versuche, die Paul Bert an sich selbst im pneumatischen Kabinett anstellte. Mit den Symptomen des beginnenden Sauerstoffmangels setzte eine erheblichere Steigerung der Pulsfrequenz ein, die durch Einatmung von Sauerstoff sogleich beseitigt werden konnte.

Danach dürfte an der sehr erheblichen Steigerung, die wir an uns allen auf dem Monte Rosa fanden, der Sauerstoffmangel seinen Anteil haben, und das allmähliche Absinken des Pulses könnte zu der ihm parallel gehenden Besserung unserer Beschwerden in Beziehung gebracht werden. Daß Sauerstoffmangel die Pulsfrequenz steigert, wird uns verständlich, wenn wir auf die in Kapitel XV eingehender zu würdigende Tatsache hinweisen, daß er imstande ist, neben allen sonstigen Veränderungen im Organismus die Körpertemperatur zu erhöhen, also eine Art Fieber zu erzeugen. Daß mit gesteigerter Körpertemperatur eine Erhöhung der Pulsfrequenz einhergeht, ist ja allgemein bekannt.

Wir müssen also mehrere Momente als Ursachen der Pulsfrequenzsteigerung gelten lassen, von denen Luftverdünnung und Sauerstoffmangel bis jetzt am besten gekennzeichnet sind. — Man hat die Pulszunahme auch vom teleologischen Standpunkte aus betrachtet und sie für eine zweckmäßige Regulationseinrichtung angesehen. Man nahm dabei an, daß infolge der Beschleunigung des Pulses der Blutumlauf zunehme und so die Blut- und Sauerstoffversorgung der Organe eine bessere werde. Es ist schon hervorgehoben, daß es sich so verhalten kann, daß aber die Pulsbeschleunigung kein sicheres Anzeichen für eine Beschleunigung des Blutstromes ist. Für die verdünnte Luft des pneumatischen Kabinetts hat Loewy übrigens in besonderen Versuchen an Hunden eine Änderung der Blutstromgeschwindigkeit nicht nachzuweisen vermocht.¹³⁾

Bedeutsamer vielleicht als die Pulsveränderungen bei Körperruhe sind die bei Muskelarbeit im Hochgebirge. Es ist eine der auffallendsten und sich immer wieder dem Beobachter aufdrängenden Tatsachen, wie enorm der Puls durch Muskelarbeit im Gebirge beschleunigt wird, und wie selbst ganz geringfügige Bewegungen, etwa der Übergang zum Sitzen oder Aufrechtstehen aus liegender Stellung, den Puls unverhältnismäßig ansteigen lassen. Die hohe Pulszahl, die bei Selbstbeobachtungen gelegentlich kurzer Spaziergänge oder längerer, aber nicht anstrengender Märsche festgestellt wird, gibt nicht selten Grund zu Besorgnissen über

den Zustand und die Leistungsfähigkeit des Herzens. Und doch ist die Pulszahl, selbst wenn sie die höchsten, in fieberhaften Erkrankungen vorkommenden noch übertrifft, an sich von keiner schlechten Vorbedeutung.

Einige Beispiele sollen die Wirkung der Höhe auf die Pulsfrequenz bei Muskelarbeit erläutern. — Veraguth fand, daß Ersteigen einer Treppe von 50 Stufen seinen Puls in Zürich um 32.4 Schläge steigerte, in St. Moritz während der ersten 10 Tage dagegen um 47.3 Schläge. Später sank die Beschleunigung auf 33 herab.

Mosso ließ seine Bergsoldaten zwei je 5 Kilo schwere Hanteln alle 4 Sekunden heben bis zur Ermüdung, die nach 120—130 Hebungen eintrat. In Turin stieg dabei die Pulsfrequenz bei dem Soldaten Chamois von 62 auf 68, auf dem Monte Rosa-Gipfel von 96 auf 128, bei dem Soldaten Oberhoffer von 70 auf 86 in Turin, von 82 auf 118 auf dem Monte Rosa. Dabei war die Muskelkraft, für die die Zahl der ausführbaren Hebungen einen Maßstab abgibt, oben nicht herabgesetzt. — Auch Kronecker liefert interessante Beiträge. Auf dem Zermatter Breithorn (3750 m) war nach 20 Schritten auf dem schwach geneigten Schneefeld (die Neigung betrug 4.5%) die Pulsfrequenz bei Herrn S. von 106 auf 144 gestiegen, in Bern unter denselben Bedingungen gleich geblieben. Bei Frau S. stieg sie im ersten Fall von 106 auf 140, im letzteren von 100 auf 104. Kronecker selbst hatte auf dem Breithorn bei 20 Schritten eine Zunahme von 80 auf 120, in Bern nach 50 Schritten von 84 auf 102 Pulse.

Die vorstehenden Zahlen geben darum einen guten Begriff von der Wirkung der Höhenluft, weil in ihnen die Muskelarbeit in der Höhe der im Tieflande annähernd gleich gehalten wurde. Die Differenzen in der Pulszunahme können somit direkt der Höhenwirkung zugeschrieben werden.

Aber auch ohne solche Vergleichswerte werden einige unserer auf der Monte Rosa-Spitze gewonnenen Pulszahlen einen Begriff von der abnormen Erregbarkeit des Pulses geben. — Bei Zuntz betrug die Pulsfrequenz im Liegen 80, beim Sitzen 92, 106, 108. Bei Caspari war die Pulszahl im Liegen 66, im Sitzen 96, im Stehen 109. Bei Loewy 84 im Liegen, 110 im Sitzen. — So stark ließ die geringe mit dem Sitzen bzw. Stehen verbundene Muskelarbeit den Puls emporschnellen!

Die starke Zunahme der Pulsfrequenz bei Muskeltätigkeit im Gebirge erklärt sich aus dem Zusammenwirken von Höhenluft und Muskelarbeit.

Bei jeder Muskeltätigkeit pflegt der Puls anzusteigen. Die bei der Muskeltätigkeit sich bildenden Reizstoffe wirken wie auf die Atmung, so auf das Herz. Aber der Grad der Frequenzzunahme wechselt individuell auch bei gleicher Arbeit sehr erheblich. Es gibt eben mehr und weniger erregbare Herzen und auch die Menge der gebildeten Reizstoffe ist wohl individuell verschieden. Auf den Grad der Leistungsfähigkeit läßt sich aus dem Grade der Pulszunahme im allgemeinen kein Rückschluß ziehen. Das zeigen besonders deutlich die umfangreichen Untersuchungen, welche Zuntz und Schumburg²³⁾ über den Einfluß langdauernder Märsche bei wechselnder Belastung auf den Ablauf der Körperfunktionen angestellt haben. Bei einigen ihrer sechs Versuchspersonen ging zwar hohe Pulsfrequenz mit verminderter Leistungsfähigkeit einher, bei anderen jedoch war das nicht der Fall, ja, gerade bei der Person, die die geringste Pulsbeschleunigung zeigte, waren besonders deutliche Erschöpfungssymptome zu konstatieren.

Gewöhnlich steigt der Puls schon in den ersten Sekunden nach Beginn der Arbeit, stellt sich bei gleichbleibender Arbeit bald auf ein Maximum ein und verharrt auf diesem bis zum Schluß, um dann schnell wieder abzufallen.



Zahl der Pulse in der Minute, Morgens und Abends in Bettruhe.

Bei anstrengender Arbeit können schon im Tieflande enorme Pulsbeschleunigungen zustande kommen, die durch etwa eintretende Atemnot noch gesteigert werden. Als Typus dessen, was bei Dauerleistungen wohl trainierter Menschen beobachtet wurde, nennen wir die Werte, die Blake und Larrabee^{2a)} an Dauerläufern gelegentlich der olympischen Spiele in Boston feststellten. Der Puls war von 80 auf 164, 162, 160, gestiegen. Nach kurzdauernden maximalen Anstrengungen kann die Pulsfrequenz weit höher steigen. So berichtet Kolb⁹⁾ von einer Pulsfrequenz von 250 pro Minute nach Wettrudern.

Im Gebirge werden nun bei selbst geringen Arbeitsleistungen oft ungewöhnlich hohe Pulszahlen erreicht. A. Loewy, der häufig seine Pulsfrequenz beim Bergaufmarschieren auf den oberbayrisch-tiroler Kunststraßen zählte, hatte in früheren Jahren gewöhnlich 160—176 Pulse; J. Loewy und Leo Zuntz oberhalb Gressoney (1600 m) gleichfalls 150—160 Pulse, ohne daß dabei ein Gefühl der Ermüdung oder gar des Lufthungers bestand. Am Findelnbach fand Kronecker nach nur 100 Schritten aufwärts bei sich 156 Pulse, bei seinem Gehilfen nach 200 Schritten 150 Pulse. Durch einen Aufstieg um 300 m innerhalb 40 Minuten von Bern auf den Gurten wuchs Kroneckers Puls auf 138, sank dann bei Ruhe, um während eines nur eine Minute dauernden Steigens auf den Kulm wieder auf 138 heraufzugehen. — In Kroneckers Versuchen wie in den Beobachtungen an A. Loewy handelt es sich, wie ersichtlich, gar nicht um bedeutende Höhenlagen.

Bemerkenswert ist nun die Tatsache, daß bei über längere Zeit fortgesetzter oder häufig sich wiederholender Arbeit im Gebirge, analog den Erfahrungen im Tieflande, die Pulserhöhung geringer wird. Das hängt aber nicht notwendig mit einer Steigerung der Leistungsfähigkeit zusammen.

Am auffälligsten sind die Pulsdifferenzen, die zwischen dem aus dem Tieflande kommenden, wenn auch gut trainierten Wanderer und seinem berggewohnten Führer zutage treten; auffällig aber auch die geringere Erregbarkeit des Herzens, die im Laufe längerer Gebirgswanderungen bei ein und derselben Person sich allmählich einstellt.

So betrug die Pulsfrequenz bei Caspari und Waldenburg in den ersten Bergaufmärschen bei Brienz 150—175 pro Minute, um später nicht mehr über 120—130 hinauszugehen. Höher lag der Puls selbst nicht bei der Ankunft auf Rothorn Kulm nach fünfständigem Aufmarsche. Bei Kolmer, dem kräftigsten und schon bei Beginn der Expedition vollkommen trainierten, lagen die Pulszahlen anfangs bei 130—140, um später wenig mehr als 100, zum Teil nur 90—100 zu betragen. Loewy erreichte während der ersten Marschtouren bis 144 Pulse, später nur noch 128.

Selbst der Aufstieg zur Monte Rosa-Spitze vermochte unseren Puls nicht wesentlich mehr in die Höhe zu treiben. Trotzdem hier die Luftverdünnung doch schon erheblich ins Gewicht fällt, hatten sofort beim Betreten der Margherita-Hütte Zuntz nur 132, Loewy 132, Caspari 100, Kolmer 128, unsere beiden Führer allerdings noch weniger, nämlich nur 96 Pulse pro Minute.

Vergleichen wir die Pulszahlen auf den verschiedenen Höhen bei Ruhe und bei Arbeit, so finden wir zwar einerseits, daß die Muskelarbeit auch schon in mäßiger

Höhe die Pulsfrequenz mehr steigert als im Flachlande, daß aber diese Wirkung der Höhe durch Training, wie wir es durch unsere Übungsmärsche erworben hatten, selbst für bedeutendere Höhe kompensiert werden kann.

Die Pulszunahme des arbeitenden Menschen muß nun als ein wichtiger regulatorischer Vorgang betrachtet werden, durch den eine reichlichere Blut- und Sauerstoffzufuhr zu den arbeitenden Muskeln gewährleistet wird.

Wir hatten schon in Kapitel X erwähnt, daß die ruhenden Organe von dem ihnen mit dem Blute zuströmenden Sauerstoff ungefähr $\frac{1}{3}$ entnehmen. Würde sich in der Blutzirkulation nichts ändern, so könnte der Sauerstoffbedarf nur auf das Dreifache der Ruhe steigen; dann wäre aller Sauerstoff dem arteriellen Blute entzogen und ein weiterer Bedarf würde keine Deckung finden.

Tatsächlich steigt aber der Bedarf bei einer Arbeit, wie sie Bergaufmarschieren darstellt, auf das 4—6fache der Ruhe, und wie Versuche an Pferden von Zuntz und Hagemann²⁴⁾ gezeigt haben, verliert das Blut dabei durchaus nicht vollkommen seinen Sauerstoff. Beim Pferde entnehmen die Gewebe dem arteriellen Blut bei Körperruhe im Mittel 51.6%, bei Arbeit 68.9% seines Sauerstoffs, so daß das venöse Blut im letzteren Falle noch 31.1% der ursprünglich vorhandenen Menge enthält.

Es muß also eine sehr erhebliche Beschleunigung des Blutumlaufs stattgefunden haben und für diese stellt die Pulszunahme einen der wirksamen Faktoren dar. — Allerdings ist sie nicht der einzige; ihr zur Seite tritt eine Zunahme der Blutmenge, die durch die einzelne Herzkontraktion ausgeworfen wird. Aus Versuchen von A. Loewy und H. v. Schrötter¹⁴⁾ über die Zirkulationsverhältnisse beim Menschen ergibt sich, daß diese Menge bei der gleichen Person nicht unbedeutend schwanken kann, und daß sie bei gesteigertem Sauerstoffbedarf durch Muskeltätigkeit ansteigt. Danach müssen wir annehmen, daß bei der Steigarbeit im Gebirge neben der Zunahme der Pulsfrequenz eine Zunahme der durch jeden Puls den Geweben zuströmenden Blutmenge zustande kommt.

Wie groß der Anteil ist, den letztere neben ersterer an der Strombeschleunigung hat, läßt sich nicht sicher sagen. Sicher ist nur, daß mit zunehmender Gewöhnung an die Arbeit die von jedem Herzschlag geförderte Blutmenge wächst.

Man darf sich danach die Regulation des Blutumlaufs bei Muskelarbeit so erklären, daß bei Ungeübten im wesentlichen die Zahl der Herzschläge, bei Geübten die Leistung des einzelnen Herzschlages zunimmt, um das notwendige größere Blutquantum zu den arbeitenden Muskeln zu führen.

Nach unserer Auffassung liegt in der Zunahme der Pulsfrequenz bei Arbeit ein sehr zweckmäßiger Vorgang, der uns in den Stand setzt, unsere Muskeln kräftig arbeiten zu lassen, und auch die stärkere Zunahme im Höhenklima läßt sich als eine zweckmäßige Einrichtung auffassen. — Wir haben im vorstehenden Kapitel gesehen, wie schnell die Sauerstoffspannung in den Lungenalveolen mit zunehmender Höhe sinkt, wie sehr sich also die Möglichkeit reichlicher Sauerstoffaufnahme für das die Lungen durchströmende Blut verschlechtert. Die Gefahr, die darin liegt, daß das Blut schon arm an Sauerstoff zu den Organen gelangt, läßt sich durch schnellere Strömung kompensieren, denn dadurch steigt ja die

Sauerstoffmenge, welche in einer gegebenen Zeit mit dem Blute den Organen zugeführt wird. — Die Grenze, bei der die Gewebe nicht mehr die genügende Sauerstoffmenge aus dem Blute aufnehmen können, wird also herausgerückt. — Die Natur wirkt hier gewissermaßen in einer Art weiser Voraussicht: sie beschleunigt den Puls schon, bevor noch die Möglichkeit des Sauerstoffmangels zur Wirklichkeit geworden ist.

Daß die Pulszunahme bei Muskelarbeit im Gebirge zweckmäßig sei, ist nun allerdings nicht die allgemeine Annahme. So sieht Jaquet in der Steigerung der Pulsfrequenz bei Arbeit im Gebirge einen schädlichen Einfluß. Daß aber die hohe Pulszahl bei Arbeit an sich nichts Gefährliches bedeutet und kein Zeichen von Überanstrengung darstellt, geht wohl am besten daraus hervor, daß sie sofort mit dem Beginn der Muskeltätigkeit einsetzt. Das konnten wir an uns selbst beobachten, das beweist auch das oben angeführte Beispiel Kroneckers. Sie bleibt dann konstant, bis etwa wirkliche Herzmüdung eintritt, um nun einen neuen Anstieg zu nehmen. Zugleich aber ändert sich damit auch die Form des Pulses und deren Verhalten gibt erst genauere Aufschlüsse über die Leistungsfähigkeit des Herzens.

Änderung der Pulsfrequenz beim Ausruhen nach Bergaufsteigen.

Datum	Person	Aufstieg um Meter	Pulsfrequenz	
			sogleich	nach Ruhezeit von:
16. VIII. 1901	Zuntz	700	124	1 Min. 10 Sek. = 112
		850	136	3 „ 10 „ = 96
				1 „ 30 „ = 120
				3 „ 30 „ = 112
				7 „ 30 „ = 100
19. VIII.	Derselbe	1000	122	
		1300	124	
		1600	140	— „ 45 „ = 132
				1 „ 15 „ = 124
22. VIII.	Derselbe	500	140	— „ 30 „ = 112
				20 „ — „ = 96
2. IX.	Derselbe	700	144	3 „ — „ = 116
13. VIII.	Müller	obere Versuchsstrecke	136	— „ 30 „ = 110
14. VIII.	Caspari	untere Versuchsstrecke	136	2 „ — „ = 92
15. VIII.	Derselbe	400	116	3 „ — „ = 96
		700	124	3 „ — „ = 92
17. VIII.	Derselbe	700	174	2 „ — „ = 156
14. VIII.	Waldenburg	untere Versuchsstrecke	132	2 „ — „ = 100
		400	112	3 „ — „ = 100
15. VIII.	Derselbe	700	112	4 „ — „ = 100
		850	120	4 „ — „ = 112
		wieder in Brienz	120	2 „ — „ = 104
23. VIII.	Loewy	500	128	2 „ — „ = 104
		700	112	20 „ — „ = 100
		1500	120	27 „ — „ = 84

Darauf werden wir sogleich zu sprechen kommen. Zunächst wollen wir noch einige Beispiele dafür bringen, wie schnell die Pulszahl sinkt, wenn die Muskelarbeit beendet ist.

Ein sehr reichhaltiges Material, wie schnell nach geringer Arbeit die Pulssteigerung rückgängig wird, verdanken wir Kronecker. Am Findelenbach, oberhalb Zermatt, in 1770 m Höhe, betrug seine Pulszahl nach 200 Schritten 156, nach einer Minute Ruhe 80, nach 5 Minuten 70; bei seinem Begleiter Bartel nach 100 Schritten 120, nach 200 Schritten 150; nach 2 Minuten Ruhe nur noch 88. — Auf dem Gorner Grat in 3000 m Höhe zeigt Kronecker nach 100 Schritten gegen 160 Pulse, nach 5 Minuten Ruhe nur noch 92, Bartel nach 100 Schritten 138, nach 3 Minuten Ruhe 80. — Das sind nur einige Beispiele aus den von Kronecker mitgeteilten Tabellen.

Im allgemeinen ist der Pulsrückgang in der ersten halben Minute nach Beendigung der Arbeit ein rapider, dann verlangsamt sich die Abnahme, um je nach der Intensität der vorangegangenen Arbeitsleistung in 15, 20, auch erst 30 Minuten zu den Ruhewerten zurückzukehren. Je mehr man an die Arbeit gewöhnt ist, in um so kürzerer Zeit erfolgt er, wie besonders Stähelin¹⁹⁾ gezeigt hat. — Eine stundenlange Frequenzsteigerung nach der Arbeit ist ein schlechtes Zeichen.

Die Form des Pulses. Betastet man den Puls verschiedener Personen oder derselben Person unter verschiedenen Bedingungen, so kann man eine Reihe von Differenzen fühlen, die sich auf die Höhe der Pulswelle, auf die Spannung des Arterienrohres und auf den Ablauf der Pulswelle beziehen. Aber die Unterschiede müssen grob sein, damit man sie fühlen kann; feinere, insbesondere im Ablauf des Pulses, gibt uns unser Gefühl nicht deutlich zu erkennen. Diese können wir uns sichtbar machen durch Aufzeichnung des Pulses, wie dies Vierordt zuerst versucht hat.

Das Prinzip ist das gleiche wie das für die Aufzeichnung der Atmung: man bringt einen leichten Hebel auf die pulsierende Stelle und führt an seinem Ende eine berußte Schreibfläche vorüber, auf der die Bewegungen des Hebels aufgezeichnet werden. Oder man bedient sich anstatt dieser direkten Pulsschreibung der indirekten, wie wir das auf unserer Expedition getan haben. Dabei kommt auf die Arterie eine kleine Metallkapsel, deren aus einer elastischen Gummimembran gebildeter Boden ein Plättchen, eine sog. Pelotte, trägt, die auf die Arterie aufgelegt wird. Von der Kapsel geht ein dickwandiger Gummischlauch zu einer zweiten Kapsel, die den Schreibhebel trägt. An diesem bewegt sich, wie die Figur 1 dieses Kapitels zeigt, ein durch ein Uhrwerk betriebener Zylinder vorbei, der mit berußtem Papier überzogen ist. Man bezeichnet die der Pulsschreibung dienenden Apparate als Sphygmographen (*σφυγμῶς* = der Puls). Unter den der direkten Schreibung dienenden hat besonders der von Marey angegebene große Verbreitung erlangt.

Was wir Puls nennen, bedeutet eine stoßweise Erweiterung der Arterie. Sie wird von dem durch die Herzkontraktion erzeugten Blutzufuß zur Arterie hervorgerufen und ist nach Form und Umfang einerseits von der Menge und Geschwindigkeit des einströmenden Blutes, andererseits von der Beschaffenheit des Arterienrohres selbst abhängig. — Bringt man den Hebel des Sphygmographen auf die Arterie, so wird er bei jeder Erweiterung gehoben, auf dem berußten Papier wird also eine nach aufwärts gerichtete Linie geschrieben; zieht sich die Arterie, nachdem die Pulswelle durch sie hindurchgegangen ist, wieder zusammen, so sinkt der Hebel herab, und es wird eine Linie nach abwärts geschrieben. —

Betrachtet man die folgenden Kurven, so sieht man, daß sie dementsprechend einen aufsteigenden und einen absteigenden Schenkel besitzen. Man sieht aber weiter, daß beide Schenkel darin voneinander verschieden sind, daß ersterer ununterbrochen vom Fußpunkt zum Gipfel aufsteigt, letzterer dagegen Absätze zeigt, an denen der Pulshebel wieder etwas ansteigt („sekundäre Erhebungen“). Eine dieser, die sog. „dikrote Erhebung“, findet sich in jedem normalen Pulsbilde. Sie stellt eine zweite kleine Pulswelle dar, über deren Entstehung allerdings noch keine volle Einigkeit herrscht. Man darf aber annehmen, daß sie an den sog. halbmondförmigen Klappen, die sich in der Hauptschlagader (Aorta) dicht am Herzen befinden, ihren Ursprung nimmt. Wenn das Herz seinen Inhalt in das Arteriensystem entleert hat und aus dem Zustande der Kontraktion in den der Erschlaffung übergeht, werden diese Klappen geschlossen und das gegen sie an-

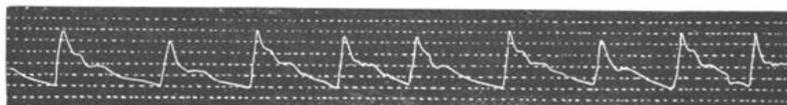


Fig. 2. Normaler Puls.

drängende Blut wird in Form einer neuen Welle nach der Peripherie zurückgeworfen. Diese Welle bezeichnet man deshalb auch als Rückstoßlevation. Ihre Lage auf dem absteigenden Schenkel schwankt, zuweilen liegt sie näher der

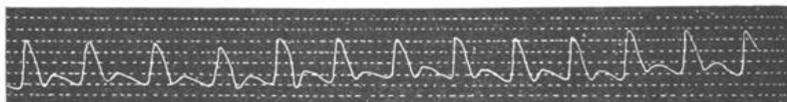


Fig. 3. Ermüdungspuls nach Marsch mit 22 kg Belastung in der Ebene (Zuntz-Schumburg).

Spitze, zuweilen näher dem Fußpunkte, zuweilen hat der absteigende Schenkel schon den Fußpunkt erreicht und die Rückstoßlevation erscheint als kleiner Nachpuls (wie auf Figur 3).

Die weiteren sekundären Erhebungen, die man an vielen Pulsbildern außerdem wahrnehmen kann, betrachtet man als elastische Schwingungen der Arterie. Wie ein mit Flüssigkeit gefüllter Gummischlauch, aus seinem Gleichgewicht gebracht, mittels einer Reihe von Schwingungen in seinen Ruhestand zurückkehrt, so auch die Arterie.

Man glaubte früher, man könne aus der Pulskurve viel und Sicheres über die Art der Herztätigkeit, den Blutdruck, das Verhalten der Gefäße herauslesen. Eine strengere Kritik zeigte jedoch, daß man bei der Deutung der Pulsbilder mit großer Vorsicht verfahren muß. Hat man es hier doch mit zwei unbekanntem Größen zu tun: der Art der Herztätigkeit und dem Zustand der Blutgefäße. Die Höhe der Pulskurve kann — eine immer gleiche Anlegung des Sphygmographen an die Arterie vorausgesetzt — abhängen von einem großen Blutvolum, das das Herz auswirft, aber auch von dehnbaren, nachgiebigen Gefäßwandungen; die Steilheit des aufsteigenden Schenkels des Pulsbildes steht in Zusammenhang wiederum mit der Blutmenge, die in die Gefäße hineingeworfen wird, ferner mit der Kraft, mit welcher das Herz sie austreibt und mit der Weite der peripheren Gefäße, d. h. mit der

Schnelligkeit, mit der das Blut abströmen kann. Die Entfernung zwischen primärem Anstieg der Pulswelle und Beginn der dickroten Erhebung hängt von der Dauer der Herzkontraktion aber auch von der Nachgiebigkeit der Gefäßwandungen ab. — Nur wenn man durch Betasten des Pulses oder durch Blutdruckmessung sich über die Weite und Nachgiebigkeit der Arterien orientiert hat, kann man aus dem Pulsbilde Schlüsse auf das Verhalten des Herzens ziehen.

Die ersten, welche bei Bergbesteigungen Pulsbilder aufnahmen, waren Chauveau und Lortet³⁾ auf dem Montblanc im Jahre 1866, weitere zahlreiche verdanken wir Kronecker vom Zermatter Breithorn und Gornergrat, ferner Mosso von der Monte Rosa-Spitze, sehr interessante auch Conway aus dem Himalaja, zwischen 4000 und 7600 m Höhe.

Die im Hochgebirge gewonnenen Pulsbilder sind nun meist von zwei Faktoren beeinflußt, vom Höhenklima selbst und von der körperlichen Anstrengung. Man hat früher der Luftverdünnung einen Einfluß auf die Pulsform zugeschrieben, aber es hat sich aus Versuchen in der verdünnten Luft des pneumatischen Kabinetts ergeben, daß ein solcher nicht existiert; solange es nicht zu Beschwerden infolge Sauerstoffmangels kommt, ändert sich die Pulskurve in verdünnter Luft nicht. Das zeigen die Kurven von Lazarus und Schirmunski¹¹⁾ und besonders die von G. v. Liebig¹²⁾.

Im Gebirge treten demgegenüber meist Veränderungen der Pulsform ein, aber sofern sie nicht durch Kälte, Wind und Insolation, also durch dem Höhenklima nicht spezifische Einflüsse bedingt werden, sind sie eine Folge der körperlichen Anstrengung, die zu einer Ermüdung des Herzens geführt hat.

Der Gebirgsaufenthalt an sich führt nicht zu einer Änderung des Pulses. — In 2210 m Höhe in der Simony-Hütte auf dem Dachstein konnten Heller, Mager und H. v. Schrötter nach dreitägigem Aufenthalte kaum Änderungen der Pulsform gegenüber dem Tieflande feststellen. Selbst bis zu Höhen von 4560 m kann die Pulsform ganz die gleiche wie im Tieflande sein. Das fand Mosso an drei seiner Bergsoldaten, und auf Conways⁴⁾ Expedition blieb der Puls des Schweizer Führers Zurbriggen bis über 7000 m Höhe hinauf dem im Tieflande fast gleich.

Daß die Abweichungen von der Norm, welche demgegenüber die meisten bis jetzt im Hochlande aufgenommenen Pulsbilder zeigen, wirklich durch die Körperarbeit verursacht sind, ergibt sich zunächst daraus, daß die Änderungen genau denen entsprechen, die man auch im Tieflande nach schwerer körperlicher Arbeit gefunden hat, so besonders Zuntz und Schumburg²³⁾ an ihren mit Gepäck bis zu 31 kg marschierenden Soldaten. Beweisend hierfür sind aber auch die von Conway gesammelten zahlreichen Kurven. Diese lassen zunächst erkennen, daß bei den schwächsten Teilnehmern die für die Ermüdung charakteristische Pulsform am frühesten eintrat, schon bei 4000 m Höhe, bei den kräftigeren, wie Conway selbst, erst später, und daß nach eingeschobenen Rasttagen das Pulsbild wieder normale Form annahm. (Vergl. die Kurven auf S. 354.)

Die Überanstrengung des Herzens im Hochgebirge. Unser Herz muß als ein ganz vorzüglicher Motor betrachtet werden, der sich in sehr weiten Grenzen

schwankenden Anforderungen leicht anzupassen vermag. Wie schon vorher erwähnt, reguliert das Herz seine Tätigkeit neben der Änderung der Zahl seiner Kontraktionen durch Änderungen seines Füllungsgrades. Bei wachsenden Ansprüchen dehnt es sich im erschlafften Zustande stärker aus, nimmt mehr Blut auf und wirft dann ein größeres Quantum bei seiner Zusammenziehung in die Schlagadern.

Geschieht die Mehrbeanspruchung längere Zeit hindurch, ist also das Herz gezwungen, länger abnorm große Blutquanta auszuwerfen, so akkommodiert es sich dieser Leistung durch zweckmäßige anatomische Veränderungen. Seine Wandungen verdicken sich allmählich, um so mehr, je mehr die Arbeit gesteigert ist, die Masse seiner Muskulatur nimmt zu und vermag nun den gesteigerten Ansprüchen gerecht zu werden. Der Herzmuskel verhält sich hier wie jeder andere Muskel, der ja gleichfalls durch gesteigerte Arbeit zum Wachstum angeregt wird.

Diese Vorgänge erfordern jedoch Zeit. Deshalb dürfen die Anforderungen nur allmählich gesteigert werden. Bürden wir einem ungeübten Herzen plötzlich eine übermäßige Arbeit auf, so kann es zu einer abnorm starken Erweiterung der Herzhöhlen, zu einer Überdehnung seiner Wandungen kommen, und wie ein überdehnter Gummisack sich nicht mehr vollständig zusammenzieht, so leidet auch die Kontraktionsfähigkeit des Herzens. Es entleert sich bei seiner Zusammenziehung nicht mehr so vollständig wie normal, es wirft nur geringe Blutmengen und diese mit geringer Kraft und Geschwindigkeit in die Arterien.

Zur Erzeugung einer derartigen, die Leistungsfähigkeit des Herzens schwer erschütternden krankhaften Veränderung bedarf es nicht einmal lange fortgesetzter Überanstregungen, schon eine einmalige kurze aber exzessive kann diese Wirkung haben. Allerdings erholt sich dann ein gesundes Herz bei Ruhe und Schonung allmählich wieder und gewinnt seine frühere Kraft zurück.

Überdehnung und Überanstregung des Herzens geben sich nun in verschiedener Weise zu erkennen; erstere bei Feststellung der Herzgrenzen, letztere bei Untersuchung des Pulses. — Früher vermochte man die Größe des Herzens nur durch Beklopfung der Brustwand zu ermitteln, jetzt haben wir eine sicherere Methode in der Durchleuchtung der Brust mit Röntgenstrahlen. Überall da, wo lufthaltige Lunge liegt, dringen die Strahlen ungehindert hindurch, der solide Herzmuskel hält sie dagegen zurück.

Die umstehenden beiden Abbildungen, photographische Röntgenaufnahmen, zeigen, wie leicht beeinflussbar die Größe des Herzens ist. Man sieht auf ihnen oben die seitlich ausstrahlenden Rippen, vom unteren Rande ausgehend den großen, sich aufwärts wölbenden Schatten des Zwerchfells und der Leber. Der innerhalb der dunklen Masse rechts gelegene helle Fleck rührt von dem lufthaltigen Magen her. — Auf den Zwerchfellschatten setzt sich nun der pyramidenförmige Herzschatten auf, der sich nach oben in den der großen Blutgefäße fortsetzt. In Fig. 5 sind Herz und Blutgefäße erheblich weiter als in Fig. 4. Bei Aufnahme von Fig. 5 war zuerst ausgeatmet worden, dann wurde bei geschlossenem Mund und Nase eine energische Einatmungsbewegung gemacht und damit viel Blut in das Herz eingesaugt. Bei Fig. 4 wurde umgekehrt nach erfolgter Einatmung kräftig ausgeatmet und zwar wiederum bei geschlossenen äußeren Luftwegen, wo-

durch das Herz entleert und der Einstrom neuen Blutes erschwert wird. — Bei der in natürlicher Größe erfolgten Originalaufnahme differierten die Durchmesser des Herzschatens im Mittel um **1.35** cm. Nimmt man das Herz als Kugel, so würde das einer Volumdifferenz von ca. 400 ccm entsprechen. Um so viel faßt das Herz im ersten Falle mehr als im letzteren.*) — Ehe es übrigens durch



Fig. 4. Herz und Hauptschlagader eng infolge energischer Ausatmung nach Verschuß von Mund und Nase.

Überanstrengung zu derartigen Dehnungen des Herzens kommt, müssen schon Schädigungen seiner Muskulatur eingetreten sein. Ein gesundes Herz läßt, wie neuere Untersuchungen von Levy-Dorn^{11a)} an Preisringern gezeigt haben, schon

*) Wir verdanken die Originale dieser Röntgenbilder Herrn Geh. Rat Kraus. Wir möchten ihm auch an dieser Stelle unseren Dank aussprechen.

wenige Minuten nach Beendigung der Arbeit auf dem Röntgenbilde keine deutliche Erweiterung mehr erkennen.

Der Ermüdungspuls. Für die durch Überanstrengung des Herzens erzeugte mangelhafte Funktionsfähigkeit und Schwäche gibt, wie erwähnt, der Puls charak-

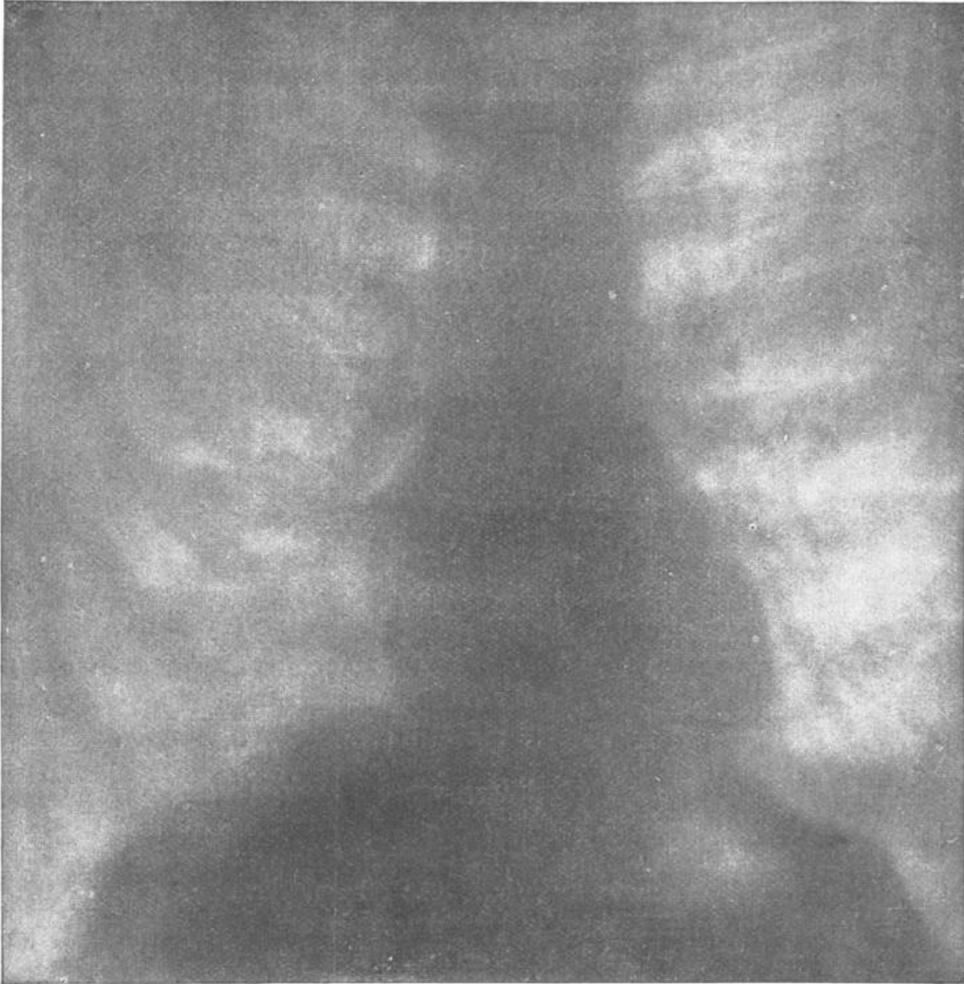


Fig. 5. Herz und Hauptschlagader erweitert durch Blutansaugung infolge tiefer Einatmung bei Verschuß von Mund und Nase.

teristische Merkmale. Er zeigt mehrfache Veränderungen, die auf Fig. 3 sowie Fig. 6—8 sehr schön zu erkennen sind. Erstere ist den Versuchen von Zuntz-Schumburg²³⁾ an mit Gepäck in der Ebene marschierenden Soldaten, die letzteren den Untersuchungen Conways⁴⁾ gelegentlich seiner Himalajabesteigungen entnommen.

Zunächst sei auf die in den Ermüdungskurven sehr ausgesprochene Einwirkung des Gebirgsklimas.

sekundäre Erhebung hingewiesen, die erst einsetzt, wenn die erste Welle schon fast vollkommen abgelaufen ist. Es kommt also zu einer Art von doppelschlägigem Puls. Das rührt von einer Herabsetzung des Blutdruckes her, die teils durch die Erschlaffung der Gefäßwände, teils durch die Schwäche der Herzaktion bedingt ist. Dazu gesellt sich eine Abrundung des Kurvengipfels und, als besonderes Kennzeichen der Kraftabnahme des Herzens, eine starke Erniedrigung der Pulscurve infolge der geringen, vom Herzen ausgeworfenen Blutmenge.

Hierzu kommt eine Erscheinung, die bei der Betrachtung der Kurven schwieriger wahrzunehmen ist, aber bei einer genauen Ausmessung klar hervortritt, das

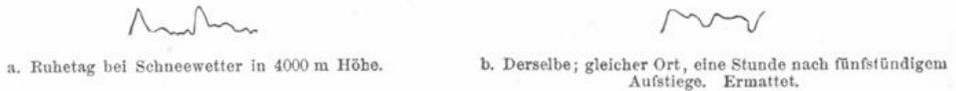


Fig. 6a u. b. Puls von Conways Begleiter E.

ist eine Verlängerung der Strecke von dem Beginn der primären bis zu dem der sekundären Erhebung und eine Verkürzung des Weges von letzterer bis zum Be-

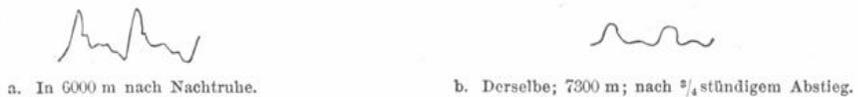


Fig. 7a u. b. Puls von Conway.

ginn der neuen Pulswelle. Das bedeutet aber eine Verlängerung der Zeit, die das Herz zu seiner Zusammenziehung braucht, und eine Verkürzung der Erschlaffungs-

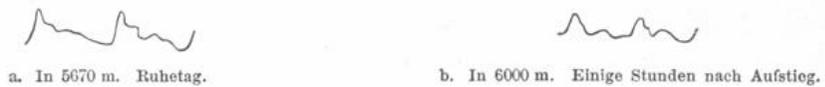


Fig. 8a u. b. Puls von Conway.

periode, also der Zeit, die seiner Erholung von der mit der Zusammenziehung verbundenen Arbeitsleistung dient.

In der Norm verhält sich die Dauer der Kontraktion zu der der Erschlaffung wie 1 : 3, bei Herzermüdung kann sie unter 1 : 1 herabgehen.

Während nun im Tieflande der Ermüdungspuls erst nach sehr bedeutenden Arbeitsleistungen sichtbar wird, kommt er im Hochgebirge relativ leicht zustande. So findet er sich bei Chauveau nach dem Aufstieg auf den Montblanc, bei Mosso nach Besteigung der unschwierigen Vincentpyramide (4100 m), ja in Kronesbeckers Beobachtungen nach kurzen Märschen bergan am Findelenbach (1800 m) und am Gornergrat (3000 m).

Die leicht eintretende Ermüdung des Herzens in bedeutenderen Höhen wird uns verständlich, wenn wir bedenken, daß das Herz beim Bergansteigen nicht nur eine gewaltige Mehrarbeit zu leisten hat, sondern daß es diese Arbeit auch unter ungünstigen Bedingungen ausführen muß. Entsprechend der Mehrleistung ist auch sein Sauerstoffbedarf gesteigert, während doch die Sauerstoffzufuhr mit zu-

nehmender Höhe beschränkt ist. Wie in Kapitel X erörtert wurde, sinkt ja die Sauerstoffmenge, welche das Blut aufzunehmen und zu befördern vermag, mit der Höhe, es gelangt nur teilweise mit Sauerstoff gesättigtes Blut zu den Organen, und so kann schnell die dem Herzen gebotene Sauerstoffmenge unzureichend werden. Die Ernährung des Herzens beginnt zu leiden und damit muß die Arbeitsfähigkeit auch eines ursprünglich leistungsfähigen und kräftigen Herzmuskels sinken. Es wird leicht zu den Zeichen der Ermüdung und Erschöpfung kommen.

Die erhebliche Zunahme der Pulsfrequenz im Gebirge, selbst schon bei geringer Muskeltätigkeit, die mit letzterer einhergehende erhöhte Arbeit des Herzens, sowie dessen leichte Schädigung durch mangelhafte Ernährung müssen uns eine Mahnung sein, mit der Empfehlung eines Höhenaufenthaltes oder gar von Bergbesteigungen bei schwächlichen und insbesondere bei herzkranken Personen sehr vorsichtig zu sein. Auch Blutarmen, bei denen die Ernährung des Herzens daniederliegt, wird man nicht ohne weiteres den Übergang ins Hochgebirge gestatten. Bei letzteren wird sich eine Übergangszeit in mittleren Höhen empfehlen, während der die Blutbildung genügend angeregt werden kann. — Übrigens hat die Natur für gewisse Signale gesorgt, die dem Aufmerksamen das Überschreiten der zulässigen Grenze anzeigen und vor einem Übermaß zu bewahren vermögen. Das sind Herzklopfen, Gefühl von Druck und Beklemmung auf der Brust und Atemnot. Ihr Auftreten, das je nach der Leistungsfähigkeit früher oder später erfolgt, sollte wohl beachtet werden.

Unter den zahlreichen zum Tode führenden Unglücksfällen, die Jahr für Jahr in den Bergen sich ereignen, nehmen diejenigen eine besondere Stellung ein, die infolge Überanstrengung und Lähmung des Herzens zustande kommen. Man braucht nur ein alpines Journal aufzuschlagen, um Beispiele dafür verzeichnet zu finden. Einzelne solcher Unglücksfälle sind von fachmännischer Seite beobachtet und eingehend beschrieben, keiner vielleicht anschaulicher als der, welcher die beiden Brüder Zoja betroffen hat und von Mosso in seinem Alpenbuche ausführlich mitgeteilt ist. Meist ist es aus jugendlichem Kraftgefühl entspringende Überschätzung der eigenen Leistungsfähigkeit, die zu der traurigen Katastrophe führt. Die körperliche Trainingung im Tieflande vermag viel zur Stählung des Körpers, aber das Hochgebirge verlangt eine besondere Form der Anpassung, insbesondere des Herzens und der Kreislaufsorgane, und diese bildet sich erst allmählich beim Aufenthalt in der Höhe aus. Auch der für das Flachland wohl Trainierte sollte deshalb anstrengende Hochgebirgstouren nicht schon in den ersten Tagen des Höhenaufenthaltes ausführen, vielmehr erst seine Organe, insbesondere Atmung und Herz, und deren Leistungen der Höhe anpassen.

Man darf auch nicht vergessen, daß man im Hochgebirge oft nicht die Möglichkeit hat, bei eintretender Schwäche zu ruhen und sich zu erholen, man muß meist seinen Weg fortsetzen. Daher sollte man bei der Wahl der ersten Touren Rücksicht darauf nehmen, daß die schützende Hütte nicht gar zu entfernt und schwer erreichbar ist.

Luftverdünnung und Blutkreislauf. Bei dem Ersteigen großer Höhen sind häufig Symptome beobachtet worden, die die Aufmerksamkeit in besonderer Weise auf sich zogen und deren Zustandekommen zu mannigfachen Deutungsversuchen Anlaß gegeben hat, das sind Blutungen aus der Augenbindehaut, der Nase, den Lippen, auch Lungenblutungen, ferner Erweiterungen der Venen der Haut und der Kapillaren der Schleimhäute, und ein eigentümlich bläuliches Aussehen letzterer, das man als cyanotisch zu bezeichnen pflegt. — Bei der Besprechung

der Bergkrankheit werden wir auf eine Reihe hierhergehöriger Angaben näher eingehen und eine Erklärung dafür versuchen.

Hier interessiert uns allein die Tatsache, daß man diese Erscheinungen mit Veränderungen des Blutkreislaufes in Zusammenhang gebracht hat und aus solchen abzuleiten suchte. Die Luftverdünnung sollte einen eigentümlichen Einfluß auf den Blutkreislauf und die Verteilung des Blutes im Blutgefäßsystem ausüben.

Der erste, der sich ausführlich hierüber aussprach, war der große Berner Physiologe Albrecht v. Haller.⁶⁾ Er nahm an, daß beim Aufenthalt in einem luftverdünnten Raume infolge des verminderten Druckes auf die Körperoberfläche ein größerer Teil des Blutes sich in den Gefäßen der Haut ansammle; es komme in ihnen zu einer Blutüberfüllung (Haller nannte das „Turgor nach außen“) und schließlich zu einem Zerreißen der Kapillargefäße und zu Blutungen. Dieselbe Anschauung vertrat auch Saussure und neuerdings wieder der berühmte englische Hochtourist Whymper.²¹⁾ Nach ihm tritt auch in den sehr nachgiebigen und mit der Außenluft direkt in Berührung stehenden Blutkapillaren der Lungen eine Ausdehnung und Überfüllung mit Blut ein.

Die Unrichtigkeit dieser Anschauung haben wir bereits in Kapitel III S. 85 dargetan. Es widerspricht den physikalischen Gesetzen, daß, wenn der gesamte Körper sich in verdünnter Luft befindet, also alle Organe und speziell alle Abschnitte des Zirkulationssystems ihrer Wirkung unterliegen, Änderungen der Blutverteilung zustandekommen sollten. Wäre das der Fall, dann müßten doch die Erweiterungen der Gefäße der Haut und der freiliegenden Schleimhäute sowie die Blutungen aus ihnen besonders da zur Beobachtung kommen, wo die Luftverdünnung erheblich weiter getrieben wurde und viel plötzlicher geschah als bei Aufstiegen im Gebirge, nämlich bei Luftballonfahrten und beim Aufenthalt im pneumatischen Kabinett. Sind doch in den berühmt gewordenen Ballonaufstiegen von Berson und Süring¹⁾ Höhen bis 10800 m erreicht worden, und konnten doch auch P. Bert und Mosso sich in der pneumatischen Kammer bei einer Luftverdünnung aufhalten, die ca. 11 000 m Höhe entsprach. Und hier wurden nie solche Kreislaufstörungen gefunden.

Ist nun die Hallersche Theorie in dieser krassen Form jetzt auch meist verlassen, so ist doch die Idee, daß Verminderung des Luftdrucks den Kreislauf des Blutes beeinflussen müsse, in etwas modifizierter Art auch heute noch vielfach anzutreffen. Ihr energischster Verfechter ist in jüngster Zeit Kronecker¹⁰⁾ geworden. Er hat sie zum Ausgangspunkte einer Erklärung der Bergkrankheitserscheinungen genommen.

Kronecker meint, daß bei Herabsetzung des Luftdruckes der verminderte Luftwiderstand sich an denjenigen Teilen des Körpers am meisten geltend machen wird, wo die an die Luft grenzenden Bedeckungen am nachgiebigsten sind. Das ist nun bei den Lungen der Fall. Die in ihnen verlaufenden Gefäße sind nur durch eine ganz dünne Wand von der Lungenluft geschieden, und das in den Lungen kreisende Blut soll deshalb nach Kronecker besonders leicht dem Einflusse der Luftdruckschwankungen unterliegen. Bei Herabsetzung des Luftdruckes sollen sich die Lungengefäße stärker füllen, es soll zu einer Zurückhaltung von Blut in ihnen, zu einer Blutstauung in den Lungen kommen. — Wenn wir selbst den Fall setzen, daß es unter vermindertem Luftdruck zu einer stärkeren Füllung der Lungen mit Blut kommt als bei höherem Druck, so braucht darum noch nicht eine Blutstauung zustande zu kommen.

Blutstauungen in den Lungen sind ein schwerwiegendes Symptom krankhafter Störung des Blutumlaufes. Sie sind die Folgen mangelhafter Funktionsfähigkeit des Herzens und bestehen nicht für sich allein, führen vielmehr zu einer Verlangsamung des gesamten Kreislaufes, zu Stauungen im Venensystem. Es kommt zur Erweiterung der Venen, zu cyanotischer Färbung, zu Blutungen, also zu dem Symptomenkomplex, den wir vorstehend geschildert haben. Blutstauungen könnten sonach sein Entstehen gut erklären, wenn sie beständen. Auch ist richtig, daß eine Überfüllung der Blutgefäße der Lunge den Luftraum in den Lungenbläschen vermindert, also die Sauerstoffaufnahme ins Blut erschwert.

Eigentümlicherweise bezieht sich Kronecker zum Nachweis dieser Blutstauung in den Lungen auf Versuche von Waldenburg und auf im Berner Laboratorium ausgeführte von Bartlett, die für seine Anschauung gar nicht beweisend sein können. In ihnen waren die Lungen einseitig mit einem luftverdünnten Raume in Zusammenhang gebracht, indem die Versuchsindividuen in einen Zylinder mit verdünnter Luft hineinatmeten! Dafür, daß allein durch den Aufenthalt unter Luftverdünnung eine Blutstauung in den Lungen eintritt, liegt bis jetzt gar kein Beweis vor. Sie ist nach den oben gegebenen theoretischen Vorstellungen, die unseren heutigen physikalischen Kenntnissen entsprechen, gar nicht zu erwarten und ist auch in Widerspruch mit den Ergebnissen von Loewys¹³⁾ Versuchen, den einzigen, die bis jetzt über die Blutströmung in verdünnter Luft angestellt worden sind. In ihnen war keine Änderung der Blutströmung im großen Kreislaufe zu erkennen, und danach ist also kein pathologisches Verhalten im Lungenkreislauf anzunehmen, das ja, wie oben ausgeführt, zu Änderungen auch im großen Kreislauf führen müßte.

Im Gegensatz zu Kronecker kommt G. von Liebig¹²⁾ zu der Anschauung, daß bei Luftverdünnung die Blutfüllung der Lungen nicht zu-, vielmehr abnehmen müsse, und man kann der Liebigschen Annahme eine Berechtigung nicht absprechen.

v. Liebig geht davon aus, daß der Blutgehalt der Lungen mit ihrem Ausdehnungsgrade wechsle. Eine stärker ausgedehnte Lunge, also eine inspiratorisch erweiterte, enthält mehr Blut, als eine mehr kontrahierte, in Expirationsstellung befindliche. —

Nun wurde in Kapitel III und XI auseinandergesetzt, daß infolge der mit der Luftverdünnung einhergehenden Ausdehnung der Darmgase das Zwerchfell emporgedrängt, das Lungenvolumen verkleinert werde, und wir erklärten daraus die Abnahme der maximalen Luftmenge, die die Lungen atmen können, der sog. Vitalkapazität.

Wir können danach auch mit v. Liebig die geringere Blutfüllung der Lungen bei Luftverdünnung, sei es in der pneumatischen Kammer, sei es im Ballon, sei es im Hochgebirge, gelten lassen, solange die Empordrängung des Zwerchfells besteht. — Allmählich geht diese ja, wie hervorgehoben, wieder zurück. Aber v. Liebig geht weiter. Er leitet von dem aus den Lungen verdrängten Blute eine Art Blutüberfüllung des großen Blutkreislaufes her und erklärt auf diese Art die bei Bergbesteigungen häufiger beobachtete stärkere Füllung der Venen der Haut und der Kapillaren der sichtbaren Schleimhäute. Soweit kann man v. Liebig aber wohl nicht folgen. Dazu ist zunächst die aus den Lungen verdrängte Blutmenge zu gering. Außerdem ist die Erweiterung der Hautgefäße wohl im Gebirge, aber, abgesehen von hochgradiger Verdünnung, nicht im pneumatischen Kabinett beobachtet worden. Hier sieht man im Gegenteil Enge der Gefäße und damit Erblassen der Haut.

Wir müssen somit zu dem Ergebnis kommen, daß die Luftverdünnung auf mechanischem Wege den Kreislauf nicht nachhaltig zu verändern vermag und jedenfalls nicht als Ursache des geschilderten Symptomenkomplexes dienen kann, zu

dessen Erklärung sie herangezogen wurde. Es ist notwendig, ihn auf andere Weise zu deuten und unserem Verständnis näher zu bringen.

Am einfachsten liegt das bei der bläulichen Färbung der Schleimhäute, besonders der Lippenschleimhaut, die wie im Gebirge, so auch im pneumatischen Kabinett zustande kommt. Hier bedarf es gar nicht der Annahme einer Verlangsamung der Blutströmung. Die bläuliche Färbung ist ein Zeichen geringen Sauerstoffgehaltes des Blutes der Kapillaren und Venen. Beim Aufenthalt unter vollem Luftdruck kommt diese allerdings nur bei abnorm langsamer Blutströmung zustande, aber in der verdünnten Luft ist ja schon das arterielle Blut sauerstoffärmer als normal, wie die Erörterungen im Kapitel X ergeben haben, und bei erheblicheren Graden von Luftverdünnung kann auch bei normaler Strömungsgeschwindigkeit das Kapillar- und Venenblut so sauerstoffarm sein, daß Cyanose sich ausbildet. Das kann schon bei Körperruhe der Fall sein und wird besonders leicht während und nach anstrengender Muskelarbeit zur Beobachtung kommen, selbst wenn dabei der Blutumlauf beschleunigt ist.

Was die Erweiterung der Hautgefäße und die Blutungen aus der Nase, den Lippen, event. den Lungen anlangt, so sind sie, wie wir wiederholen, nur ausnahmsweise beobachtet worden und an ihrem Zustandekommen müssen besondere Bedingungen beteiligt sein. Dabei brauchen die Blutungen nicht in direkter Beziehung zur Gefäßerweiterung zu stehen. Große Kälte, Wind, Trockenheit der Luft können an sich zu Sprödigkeit der Schleimhäute, zu Einrissen und damit zu Blutungen führen. — Bei erweiterten Gefäßen werden sie allerdings leichter zustande kommen als bei engen, und auf eine Gefäßerweiterung wirken in der dünnen Luft der Höhe — abgesehen von der direkten Sonnenstrahlung — zwei Momente hin: einsetzender Sauerstoffmangel und Überanstrengung des Herzens.

Daß ersterer an sich eine Erweiterung der Gefäße herbeizuführen vermag, dafür sprechen die Erfahrungen von Dastre und Morat;^{4a)} sie setzten Kaninchen unter eine Glasglocke und verdünnten die Luft in dieser. War die Verdünnung bis auf 410—400 mm Barometerdruck getrieben, so trat eine plötzliche starke Erweiterung der Ohrgefäße ein. Dieser Verdünnungsgrad ist aber der, bei welchem die Kaninchen an Sauerstoffmangel zu leiden beginnen.

Wichtiger ist der zweite Faktor: die Herzermüdung. Sie führt zu einer Verlangsamung der Zirkulation, damit zu Sauerstoffmangel und damit wieder zu einer Erweiterung der Hautgefäße. So kommt es zu der beobachteten Blutanhäufung in den Venen und Kapillaren. — Hier haben wir den Zustand, den Kronecker als direkte Folge der Luftverdünnung als solcher ansehen wollte.

Es ergibt sich somit, daß Cyanose, Schleimhautblutungen, Gefäßerweiterung beim Aufenthalt in verdünnter Luft zustande kommen können, ohne daß mechanische Einwirkungen die Zirkulation stören. Nur wo das Verhalten des Pulses und des Blutdrucks für Herzermüdung spricht, werden wir Cyanose, Gefäßerweiterung und eventuelle Blutungen auf eine Schädigung des Kreislaufes beziehen und auch die vorhandenen subjektiven Beschwerden zum Teil mit ihr in Zusammenhang bringen dürfen.

Literatur.

- 1) Berson und Süring: Illustrierte aëronautische Mitteilungen 1901.
- 2) Paul Bert: „La pression barométrique“. Paris 1878.
- 2a) Blake und Larrabee: Boston medical and surg. journ. 1903, cit. bei Kronecker cf. Nr. 10.
- 3) Chauveau (und Lortet): Revue scientifique 1894.
- 4) Conway: Climbing and exploration in the Karakoram Himalayas. London 1894.
- 4a) Dastre et Morat: Arch. de physiol. 1884.
- 5) Egger: bei Jaquet und Miescher: Arch. f. experim. Pathol. u. Pharmakologie. Bd. 39.
- 6) A. v. Haller: „Grundriß der Physiologie“. Deutsch von Sömmering. Berlin 1788.
- 7) Heller, Mager, H. v. Schrötter: Zeitschrift für klinische Medizin. Bd. 33 und 34.
- 8) Jaccoud: „La station médicale de St. Moritz“. Paris 1873.
- 9) Kolb: Beiträge zur Physiologie maximaler Muskelarbeit, besonders des modernen Sports. Berlin.
- 10) H. Kronecker: „Die Bergkrankheit“. Berlin und Wien 1903.
- 11) Lazarus und Schyrmunski: Zeitschrift für klinische Medizin. Bd. 7.
- 11a) Lennhoff und Levy-Dorn: Deutsche medizin. Wochenschrift. 1905. Nr. 22.
- 12) G. v. Liebig: „Der Luftdruck in den pneumatischen Kammern und auf Höhen“. Braunschweig 1898.
- 13) A. Loewy: „Über Respiration und Zirkulation bei Änderung des Druckes etc.“ Berlin 1895.
- 13a) A. Loewy, J. Loewy und Leo Zuntz: Pflügers Archiv für d. ges. Physiol. Bd. 66.
- 14) A. Loewy und H. v. Schrötter: „Untersuchungen über die Blutzirkulation beim Menschen“. Berlin 1905.
- 15) Mosso: „Der Mensch auf den Hochalpen“. Leipzig 1899.
- 16) Parrot: „Reisen zum Ararat“. Berlin 1834.
- 17) Saussure: „Voyages dans les Alpes“. Genève 1786—1796.
- 18) H. v. Schrötter: „Zur Kenntnis der Bergkrankheit“. Wien und Leipzig 1899.
- 19) Stähelin: „Über den Einfluß der Muskelarbeit auf die Herztätigkeit“. Naumburg 1897.
- 20) Veraguth: „Le climat de la haute Engadine“. Thèse de Paris 1887.
- 21) Whymper: „Travels amongst the great Andes of the Equator“. London 1892.
- 22) Zumstein: „Der Monte Rosa“. Herausgegeben von Ludwig Freiherr von Welden. Wien 1824.
- 23) Zuntz und Schumburg: „Physiologie des Marsches“. Berlin 1901.
- 24) Zuntz und Hagemann: Landwirtschaftliche Jahrbücher. XXVII. Ergänzungsband III.

