

XXV.

Die Lungen-Ventilation bei Aenderung des Athmosphären-Druckes.

(Aus dem pneumatischen Institute der jüdischen Gemeinde in Berlin.
Dirigirender Arzt: Sanitätsrath Dr. Lazarus)

von

Dr. E. Aron,
Assistenzarzt.

A. Comprimirte Luft.

Da wir wissen, dass wir bei Verwendung comprimirter Luft die Lungenathmung direct zu beeinflussen im Stande sind, und da wir bei den verschiedensten Lungen-Erkrankungen von dieser Einwirkung auf die Lunge zu therapeutischen Zwecken Gebrauch machen, so hat es uns schon seit langer Zeit interessirt, zu erfahren, wie sich der Gaswechsel der Lunge unter verdichteter Luft gestaltet. Es ist nach den übereinstimmenden Untersuchungen anderer Autoren bekannt, dass die vitale Lungen-Capacität (Lange, v. Vivenot, Stembo, P. Bert) in comprimirter Luft wächst, dass die Athem-Frequenz sinkt (Haller, v. Vivenot, Tutscheck, Sandahl), dass das Zwerchfell tiefer tritt, dass die Lunge sich mehr in Inspirations-Stellung befindet (v. Vivenot, Panum). Die Frage lag nunmehr nahe, wird bei dieser sicher constatirten Veränderung der Athmung die Luftmenge, welche in einer bestimmten Zeit durch die Lunge hindurchventilirt wird, gleichfalls verändert und in welchem Sinne? Es war sehr berechtigt, dieser Frage auf experimentellem Wege näher zu treten. Die Versuchsanordnung an und für sich bot keine Schwierigkeiten. Man gebrauchte nur eine gut geaichete Gas-Uhr und leicht gehende Ventile, um die In- und Expirations-Luft zu scheiden. Die Resultate, welche bisher bei dem Studium dieser Frage erzielt worden waren, waren keineswegs einheitliche. Eine experimentelle Nachprüfung war daher dringend geboten. Panum

hatte gefunden, dass die geathmeten Luftmengen unter verdichteter Luft wachsen. Im Gegensatze hierzu constatirte v. Liebig, dass die respirirte Luftmenge in comprimierter Luft kleiner werde, als bei Athmosphären-Druck, ähnlich, wie es auch von Hausmann angegeben worden ist. P. Bert meint, aus seinen Versuchen schliessen zu dürfen, dass die die Lunge durchströmende Luft unbeeinflusst bleibt. Wir sehen also: so viele Möglichkeiten, so viele verschiedene Angaben.

Nunmehr will ich zu meinen eigenen Versuchen übergehen. Wir bedienten uns einer gut geachten Gas-Uhr und leicht gehender Wasser-Ventile. Die Expirations-Luft wird durch die Gas-Uhr hindurchgeleitet. Wir konnten also genau ablesen, wie viele Liter Luft in einer bestimmten Zeit ausgeathmet werden. Die Nase wird während der Versuche durch eine Klemme verschlossen gehalten, damit nicht etwa Luft durch diese expirirt und nicht mitgemessen werde. Als Mundstück wird ein solches aus Weichgummi benutzt. Um all zu grobe Täuschungen zu vermeiden, welchen man bei respiratorischen Versuchen, besonders des Menschen, nur gar zu leicht ausgesetzt ist, wählte ich als Zeiteinheit eine Beobachtungszeit von 10 Minuten. Die Versuchs-Person¹⁾ sass ganz bequem auf einem Stuhle mit verschlossenen Augen und hatte selber gar keine Beobachtungen oder Ablesungen vorzunehmen. Jedenfalls kann man wohl annehmen, dass es nicht leicht möglich ist, die Athmung willkürlich oder auch unwillkürlich bei einer Beobachtungszeit von 10 Minuten zu vertiefen oder zu verflachen. In dieser Zeit dürften sich doch wohl die vorübergehenden Fehlerquellen, welche in Frage kommen könnten, in Folge der Selbststeuerung der Lungenathmung völlig ausgleichen. Bei unseren Versuchen wurde demnach bestimmt, wie viele Liter Luft von einem Menschen in 10 Minuten bei gewöhnlichem Athmosphärendruck expirirt werden, dann wie viele Liter Luft in der gleichen Zeit von demselben Menschen bei $1\frac{1}{2}$ Athmosphärendruck, und schliesslich wiederum bei Athmosphärendruck. Die Temperatur der umgebenden Luft wird möglichst constant erhalten. Daneben zählt noch eine andere Person die Anzahl der Athemzüge in

¹⁾ Anscheinend gesunder Mann von 35 Jahren, von 162 cm Grösse, von einer vitalen Lungencapacität von 3400 ccm.

den beobachteten 10 Minuten direct. Die folgenden 3 Tabellen geben uns einen exakten Ueberblick über die Resultate unserer Versuche. Nebenbei möchte ich noch bemerken, dass die Versuchs-Person an Sitzungen in verdichteter und auch verdünnter Luft derart gewöhnt ist, dass bei ihr wohl kaum von Perturbations-Erscheinungen noch gesprochen werden kann.

Comprimirte Luft.

Datum	Zeit	Temp.	Druck mm Hg	Resp.-Frequenz	Luftmenge, abgelesen	Luftmenge, reducirt	Sauerstoff- menge, berech- net u. reducirt	Grösse eines Athemzuges	
					Liter	Liter		berechnet, nicht reducirt	reducirt
10. April 99	11 Uhr	—	749	—	49,29	49,29	10,35		
	11 „ 15	—	1140	—	57,85	88,05	18,49		
	11 „ 45	—	749	—	49,35	49,35	10,36		
11. April 99	1 „ 45	—	743	56	44,26	44,26	9,29	0,79	0,79
	2 „ 2	—	1140	63	54,95	84,31	17,71	0,87	1,34
	2 „ 30	—	743	60	53,42	53,42	11,22	0,89	0,89
12. April 99	11 „ 15	19°	749	54	56,52	56,52	11,87	1,04	1,04
	11 „ 30	20°	1140	48	62,46	91,46	19,96	1,30	1,90
	12 „	19,5°	749	57	57,95	57,95	12,17	1,02	1,02

Aus diesen 3 Versuchen geht ganz übereinstimmend hervor, dass das Quantum Luft, welches in einer bestimmten Zeit in verdichteter Luft, durch die Lungen hindurchpassirt, nicht unbedeutend wächst im Vergleiche zur Athmung bei Athmosphärendruck. Es ist dies nach meinem Dafürhalten eine sehr wesentliche Thatsache, welcher man sich erinnern muss, wenn man die therapeutischen Erfolge der Behandlung pathologischer Zustände der Lunge mittelst comprimirter Luft erklären und verstehen will. Wenn wir hierbei noch ins Auge fassen, dass in verdichteter Luft die Sauerstoff-Menge in der Volumeinheit Luft proportional dem Drucke wächst, so wird das Plus an Luft, welches in verdichteter Luft durch die Lunge hindurchventilirt, noch eine ganz andere Bedeutung bekommen. Berechnet man die Luftquantitäten auf Athmosphärendruck um, so erhält man, wie unsere Tabelle den Ausweis liefert, noch ganz be-

deutend grössere Steigerungen der geathmeten Luftmengen, als dies nach den abgelesenen Zahlen den Anschein hat. (Vergl. Spalte 7 d. Tab.)

In der 8. Columne der Tabelle habe ich die Sauerstoffmenge berechnet, welche die durch die Lunge in 10 Minuten hindurchventilirte Luft, reducirt auf Athmosphärendruck, enthält. In Versuch 2 stieg dieselbe bei $1\frac{1}{2}$ Athmosphären fast aufs Doppelte. Dieses sehr bedeutende Plus an Sauerstoff wird dem Blute zugeführt, und kann von diesem mehr oder weniger vollkommen (natürlich nur bis zur Sättigung des Blutes mit Sauerstoff) absorbirt werden. Wir werden uns nach dieser Ueberlegung ein ungefähres Bild davon machen können, welchen segensreichen Effect es unter Umständen haben kann, einem cyanotischen Menschen mit einem Emphysema pulmonum der Einwirkung verdichteter Luft zu unterwerfen. Wir werden es verständlich finden, dass unter diesen veränderten Verhältnissen der umgebenden Athmosphäre die Cyanose mehr oder weniger behoben werden kann. Freilich wird man gewärtig sein müssen, dass bei kranken Individuen die Beeinflussung der Lungenathmung möglicherweise keine ebenso effectvolle sein mag, wie beim gesunden Menschen, da z. B. beim Lungenemphysem ein Theil der Lungensepta verloren gegangen ist, und auf diese Weise die resorbirende Oberfläche der Lungen verkleinert ist.

Die letzten beiden Columnen unserer Tabelle geben die Werthe der Grösse eines einzigen Athemzuges an. Auch hier sehen wir ein constantes Wachsen, welches dem Wachsen der bei der Athmung durch die Lungen hindurchventilirten Luftmengen entspricht. Reduciren wir die Werte des einzelnen Athemzuges, so wird die Differenz des Athemzuges bei Athmosphärendruck und bei comprimirter Luft noch viel deutlicher. (Vgl. Tab.)

Wenn, wie wir constatirt haben, bei $1\frac{1}{2}$ Athmosphärendruck ein grösseres Luftquantum geathmet wird, als bei Athmosphärendruck, so wird man hieraus noch keineswegs ohne Weiteres den Schluss ziehen dürfen, dass nunmehr von dem Organismus auch um so viel mehr Sauerstoff aufgenommen worden ist, sondern sich klar darüber sein müssen, dass dies Plus an O, welches in der vermehrten Lungenluft enthalten ist, von dem Körper als überflüssiger Ballast wieder ausgeschieden werden kann, es müsste

denn sein, dass man auf die kleine Menge O Werth legen wollte, welche etwa der verstärkten Athmung und der veränderten Herzthätigkeit, also der mehr geleisteten Muskelarbeit, entspreche. Bei gesunden Individuen mit eupnoischer Athmung ist es in der That sehr wahrscheinlich, dass dies vollkommen zutrifft, dass das Plus an Sauerstoff absolut nicht verwendet werden kann. Anders liegen dagegen die Verhältnisse bei kranken Menschen, welche dyspnoisch sind. Bei diesen ist es sehr wohl denkbar und wohl auch wahrscheinlich, dass ein Theil der gesteigerten O-Zufuhr dazu benutzt werden kann, die Dyspnoë zu verringern.

Nicht unerwähnt möchte ich lassen, dass eine gewisse Beeinflussung der Lungenventilation noch bestehen bleibt, nachdem die Luftcompression schon aufgehört hat. Wir ersehen aus unseren Experimenten, was auch andere Untersucher früher schon constatirt hatten, dass die Luftmenge, welche in der Zeiteinheit durch die Lungen hindurchgetrieben wird, noch etwas grösser bleibt, als vor Einwirkung der Compression, dass der Effect derselben also noch nachhält. Unter Umständen scheint diese Nachwirkung keineswegs unbedeutend zu sein, vgl. Versuch vom 11. April.

B. Verdünnte Luft.

Nachdem wir die Beeinflussung der Lungenventilation in verdichteter Luft kennen gelernt haben, dürfte es auch von Interesse und Werth sein, die adaequaten Experimente in verdünnter Luft zu wiederholen, wenn wir uns auch nicht dieses Agens zu therapeutischen Zwecken in der pneumatischen Kammer bedienen, während wir allerdings uns diesem Einflusse im Gebirge auch zu Heilzwecken aussetzen. Wir wissen bereits, dass die verdünnte Luft als solche die Athmung direct beeinflusst. Die Vitalcapacität der Lungen wird kleiner (v. Vivenot, Schyrmunski, v. Liebig), die Athmung wird frequenter und oberflächlicher, das Zwerchfell tritt höher, die Lungenstellung nähert sich mehr der Expirations-Stellung. Wir mussten nach diesen Thatsachen auch darauf gefasst sein, dass die Lungenventilation in der verdünnten Luft gleichfalls beeinflusst wird. Wenn ich die Experimente anderer, welche diese Frage zum Vorwurf haben, erwähne, so will ich gleich bemerken, dass ich die Versuche jener Forscher

fortlasse, welche ähnliche Untersuchungen im Hochgebirge unternommen haben, da hierbei eine Menge anderer Dinge mit in Frage kommen werden, welche als solche schon im Stande sind, die Athmung bedeutend zu beeinflussen, so dass mir ein Vergleich der Resultate dieser Untersuchungen mit den Experimenten in der pneumatischen Kammer von sehr fraglichem Werthe erscheint. v. Liebig fand, dass bei verdünnter Luft in der pneumatischen Kammer die expirirten Volume wachsen. A. Loewy hat das gleiche Ergebniss bei seinen Untersuchungen gehabt. Die Resultate unserer eigenen Experimenten lege ich in folgender Tabelle nieder.

Verdünnte Luft.

Datum	Zeit	Temp.	Druck	Resp.-Frequenz	Luftmenge, abgelesen	Luftmenge, reducirt	Sauerstoff- menge, berech- net u. reducirt	Grösse eines Athemzuges	
			mm Hg		Liter		Liter	berechnet, nicht reducirt	reducirt
13. April 99	1 Uhr 45	20 °	749	53	56,93	56,93	11,96	1,07	1,07
	2 U. 20	19,2 °	507	79	63,64	34,58	7,26	0,81	0,44
	2 U. 55	21 °	749	57	50,73	50,73	10,65	0,89	0,89
14. April 99	2 U. 15	20 °	743	78	55,39	55,39	11,63	0,71	0,71
	2 U. 40	19 °	380	91	81,42	41,64	8,74	0,89	0,46
	3 U. 15	21,5 °	743	87	53,43	53,43	11,22	0,61	0,61
17. April 99	1 U. 45	21 °	753	60	55,53	55,53	11,66	0,93	0,93
	2 U. 15	19 °	380	75	70,15	35,40	7,43	0,94	0,48
	3 U. 10	21 °	753	63	48,08	48,08	10,10	0,76	0,76
18. April 99	1 U. 55	20,8 °	760	69	57,98	57,98	12,18	0,84	0,84
	2 U. 15	19 °	380	90	80,55	40,28	8,46	0,90	0,45
	3 U.	21 °	760	68	50,87	50,87	10,68	0,75	0,75
20. April 99	1 U. 40	22 °	757	66	59,88	59,88	12,57	0,91	0,91
	2 U. 10	20,5 °	380	78	65,61	32,94	6,92	0,87	0,42
	2 U. 55	22 °	757	64	50,68	50,68	10,64	0,79	0,79

Wir sind bei unseren Untersuchungen bis zu einer Verdünnung der Luft von $\frac{1}{2}$ Atmosphäre herabgegangen, um den etwaigen Effect der verdünnten Luft um so augenfälliger zu machen, wenn es auch nicht gerade zu den Annehmlichkeiten gehört, sich dem Einflusse von $\frac{1}{2}$ Atmosphäre auszusetzen. Man fühlt sich dabei schon ganz bedeutend müde und schläfrig, es wird einem schwindelig vor den Augen, man sieht cyanotisch aus,

man beginnt zu schwitzen, es ist einem alles gleichgiltig, man möchte am liebsten schlafen, mit einem Worte man fühlt sich so elend, wie bei der Bergkrankheit. Auch nach unseren Versuchen steigt die Lungen-Ventilation in der verdünnten Luft, und zwar recht bedeutend. Sollte in einer Luft von $\frac{1}{2}$ Atmosphäre das in 10 Minuten geathmete Luftquantum genügen, um das Sauerstoff-Bedürfniss des Organismus zu decken, so müsste *ceteris paribus* in 10 Minuten statt 55 Liter Luft ungefähr 2×55 Liter geathmet werden, während wir nach unserem Versuche sehen, dass es dem Körper nur gelingt, höchstens $81\frac{1}{2}$ Liter durch die Lungen hindurchzuventiliren, meistens jedoch weniger. Wir bemerken, dass der Körper in der That ganz automatisch sehr bedeutende Anstrengungen macht, um sein O-Bedürfniss zu decken. Er vermag jedoch nicht, dieses Minus O ganz auszugleichen. Selbst mit Nutzbarmachung seiner vorhandenen Reserve-Kräfte gelingt es der Athem-Musculatur nicht, die Athmung eupnoisch zu erhalten, nicht einmal bei Körperruhe. Sobald die geringsten, körperlichen Anstrengungen ausgeführt werden, steigern sich die Beschwerden noch sehr bedeutend.

Reduciren wir die abgelesenen Werthe der in verdünnter Luft geathmeten, anscheinend grösseren Luftmengen auf Atmosphärendruck, so erweisen die dann erhaltenen Zahlen, dass *de facto* in der Zeiteinheit wesentlich geringere Luftquantitäten durch die Lungen hindurchventilirt werden, als bei Atmosphärendruck. Die reducirten Luftmengen sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für den tierischen Stoffwechsel viel wichtiger, als die abgelesenen Werthe.

Welchen nicht unwesentlichen Einfluss die geringsten Körperanstrengungen bei verdünnter Luft auszuüben vermögen, ersehen wir aus unseren 5 Versuchen. Die ersten 4 Versuche in verdünnter Luft wurden angestellt, nachdem geringere, nicht dosirte körperliche Anstrengungen in der pneumatischen Kammer ausgeführt waren, bei recht schlechtem Allgemeinbefinden. In Versuch 5 hingegen wurde jegliche überflüssige, körperliche Bewegung in der Glocke bei der Luftverdünnung vermieden, so dass das Allgemeinbefinden, wenn auch kein ausgezeichnetes, so doch ein relativ gutes war. Wir erkennen dies auch an dem be-

obachteten Gaswechsel der Lunge. Derselbe hat in der verdünnten Luft nur eine geringere Steigerung erfahren, als bei den früheren Versuchen. Als dann, nach Beendigung der Athmung durch die Gas-Uhr, geringe körperliche Anstrengungen ausgeführt werden, tritt sofort eine bedeutende Verschlechterung des Allgemeinbefindens ein, welches sich objectiv in einer beträchtlichen Cyanose des Gesichtes documentirt.

In der 8. Columne unserer Tabelle habe ich berechnet, wie viel Sauerstoff in dem in 10 Minuten geathmeten Luftquantum (reducirt auf Atmosphärendruck) enthalten ist. Die Resultate sind ausserordentlich übereinstimmend in allen 5 Versuchen. Wir ersehen daraus, dass, obwohl in der verdünnten Luft eine nicht unbedeutende Steigerung der geathmeten (nicht reducirten) Luft erfolgt, trotzdem die Sauerstoff-Menge in dieser sehr erheblich hinter der Norm zurückbleibt, und werden es nach diesen Beobachtungen sehr verständlich finden, dass das Blut nicht genügend arterialisirt werden kann. Auch hierbei werden wir bemerken, dass nach Aufhören der Luftverdünnung noch eine Nachwirkung derselben zu constatiren ist (im entgegengesetzten Sinne, wie bei der Luftcompression), indem die in der Zeiteinheit geathmete Luftmenge noch etwas kleiner bleibt, als bei Beginn der Versuche.

In den beiden letzten Columnen habe ich die verschiedenen Werthe eines einzelnen Athemzuges angegeben. Nach den nicht reducirten Werthen können wir keine, sehr bedeutende Differenz der Ausgiebigkeit eines Athemzuges bei Atmosphärendruck und bei verdünnter Luft constatiren. Sobald wir jedoch die Zahlen auf Atmosphärendruck reduciren, sehen wir eine sehr bedeutende Abnahme der Athemtiefe auf etwa die Hälfte seines Werthes. Sobald der Luftdruck wieder ansteigt, werden die Athemzüge wieder tiefer und effectvoller, wenn sie auch zunächst noch constant hinter der Grösse der Athemzüge bei Beginn der Versuche zurückbleiben.
