Ueber die respiratorische Pause nach tiefen Inspirationen.¹

Von

Gustav Neander.

(Aus dem physiologischen Laboratorium in Upsala.)

(Hierzu Taf. X.)

Einleitung.

Zu den interessantesten Erscheinungen auf dem Gebiete der Respirationslehre ist unbestritten die Apnoe zu zählen, welche auch wiederholt Gegenstand der Beobachtung und Untersuchung für verschiedene Forscher gewesen ist.

Das Wort Apnoe ist von Alters her bekannt und in der physiologischen Litteratur angewandt worden. Bereits Galenus benutzte es, obgleich in einer Bedeutung, welche von der gegenwärtigen abweicht, z. B. in *De locis affectis* (Lib. IV Vol. VIII S. 281, herausgegeben von E. Kühn), wo gesagt wird: „Es giebt noch ein anderes Leiden der Respiration, Apnoea genannt, wenn dem Augenscheine nach keine stattfindet, während dies der Natur der Sache nach unglaublich ist.“² Die moderne Bedeutung des Wortes Apnoe wurde im Jahre 1862 von Rosenthal in seiner grundlegenden Arbeit gegeben: „Die Athembewegungen und ihre Beziehungen zum Nervus vagus (1)“³ und dürfte so auszudrücken sein, dass Apnoe der Zustand ist, in welchem ein lebendes Thier sich befindet, bei dem die Respirationsbewegungen für längere oder kürzere Zeit zu

¹ Der Redaction am 27. Juli 1901 zugegangen.

² Cit. von Rosenthal in Hermann's *Handbuch* IV. S. 264.

³ Die Ziffern in der Klammer deuten auf das Litteraturverzeichnis hin.

Zeit zu Folge Inactivität des respiratorischen Centrums aufgehoben sind.

Rosenthal fasste das Apnoe-Phänomen als einen ganz offenbaren Beweis für seine Theorie auf, betreffend die Abhängigkeit der Respirationsbewegungen von dem Sauerstoffgehalt des Blutes. Sobald das Blut durch die energischere Lungenventilation reichlicher mit Sauerstoff versehen worden war, fiel — nach Rosenthal — das für das Respirationcentrum specifisch reizende Moment, der Sauerstoffmangel, für einige Zeit weg, und während dieser Zeit mussten natürlich die Respirationsbewegungen eingestellt sein.

Zahlreiche Untersuchungen von anderen Forschern haben indess dargethan, dass das Apnoe-Phänomen von weit complicirterer Natur ist, als Rosenthal Anfangs annahm, und es als wahrscheinlich hingestellt, dass auch andere Momente als die Blutgase zu dessen Entstehen mitwirken.

Schon früh wurde die Aufmerksamkeit auf die Bedeutung gelenkt, welche man vielleicht den Nn. vagi bei der Entstehung der Apnoe zuerkennen muss. Es zeigte sich nämlich, dass, so lange diese Nerven intact waren, der Athmungsstillstand durch Einblasen von Gas-mischungen, welche verhältnissmässig arm an Sauerstoff waren, hervorgerufen werden konnte, während andererseits, nachdem die Nn. vagi eliminirt waren, auch eine äusserst kräftige Lungenventilation ungenügend war, um eine bemerkbare Apnoe hervorzurufen. So z. B. gelang es Thiry (2) im Jahre 1865, bei Thieren durch Einblasen einer Gasmischung, welche aus gleichen Theilen Luft und Wasserstoffgas bestand, Apnoe zu etabliren.

Dass die Integrität der Nn. vagi eine sehr grosse Bedeutung für die Möglichkeit hatte, bei Thieren durch Lufteinblasen Apnoe hervorzurufen, wurde durch zahlreiche Experimente dargethan. Diese Bedeutung wurde sogar eine Zeit lang für so gross gehalten, dass Brown-Séquard (6) im Jahre 1871 sich zum Vertreter der Auffassung machen konnte, dass die Anwesenheit der Nn. vagi in unbeschädigtem Zustande eine ganz unerlässliche Bedingung für die Entstehung der Apnoe ist, und dass das Lufteinblasen nicht durch reicheres Versetzen des Blutes mit Sauerstoff, sondern als Reflexhemmung durch mechanische Reizung, Dehnung der pulmonalen Vagusfäden Apnoe verursachen konnte.

Diese Frage ist später Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen, kann aber nicht als ganz erledigt betrachtet werden. Dem Brown-Séquard'schen Extrem gegenüber, dass die Nn. vagi unvermeidliche Bedingungen für die Entstehung der Apnoe sein sollten,

steht Rosenthal's (14) Behauptung, dass er keine grössere Schwierigkeit gefunden habe bei Thieren, deren Vagi geschnitten waren, Apnoe hervorzurufen als bei solchen, bei denen diese Nerven intact waren.

Die Untersuchungen, welche von Filehne (8), Knoll (17), Rosenbach (9) und Gad (15) gemacht worden sind, scheinen dafür zu sprechen, dass die Wahrheit mitten zwischen den beiden genannten Extremen liegt. Die Erfahrung, über welche die meisten Forscher einig sind, dürfte also die sein, dass man bei einem Thier, dessen Vagi eliminirt worden sind, Apnoe hervorrufen kann, aber mit grösserer Schwierigkeit, und dass die Apnoe dabei von kürzerer Dauer als bei einem Versuchsthier ist, bei welchem diese Nerven sich in unbeschädigtem Zustande befinden.

Indess sind auch von verschiedenen anderen Gesichtspunkten aus gegen Rosenthal's chemische Theorie von der Entstehung der Apnoe Einwendungen gemacht worden. So z. B. glaubte P. Hering (4) (im Jahre 1867) constatirt zu haben, dass das arterielle Blut während der Apnoe nicht reicher an Sauerstoff ist als unter normalen Verhältnissen, sondern im Gegentheil etwas ärmer, und zog Grund dessen die Richtigkeit der Rosenthal'schen Auffassung in Zweifel. P. Hering's soeben angeführte Erfahrung ist darauf indess von keinem Forscher bestätigt worden. Seine Untersuchung wurde (1868) von Pflüger (5) kritisirt, welcher in Hering's Arbeitsmethode eine Fehlerquelle nachwies, und im Jahre 1873 veröffentlichte August Ewald (7) eine Untersuchung über den Sauerstoffgehalt bei dem arteriellen Blute, welche Untersuchung unter Pflüger's Leitung ausgeführt wurde. Aus dieser ging hervor, dass das arterielle Blut während der Apnoe constant, wenn auch nur unbedeutend (0.1 bis 0.9 Proc.) reicher an Sauerstoff ist als unter gewöhnlichen Verhältnissen.

Ausgehend von den Untersuchungen über die Sauerstofftension im Arterienblute, welche E. Herter (12) (1879) veröffentlichte, wendet sich (auch 1879) Hoppe-Seyler (11) gegen die Rosenthal'sche Auffassung von der Ursache der Apnoe. Da das Arterienblut nach diesen Untersuchungen unter normalen Verhältnissen vollständig von Sauerstoff gesättigt ist, dürfte — nach Hoppe-Seyler — nicht einmal die kräftigste und energischste Lungenventilation dem Arterienblute eine so grosse Vermehrung des Sauerstoffgehaltes zuführen können, wie erforderlich wäre, wenn dieser Sauerstoffzuschuss die einzige oder wesentliche Ursache des Eintrittes der Apnoe sein sollte. Als Ursache der Apnoe nimmt Hoppe-Seyler anstatt dessen die Ermüdung an, oder sogar die Misshandlung des Respirationsapparates, welcher notwendiger Weise durch die forcirte künstliche Respiration verursacht wird.

Dieser Hoppe-Seyler'schen Annahme gegenüber führt Filehne (13) die Ziffern an, welche Hüfner (10) durch spektrophotometrische Bestimmung des Hämoglobin- und Sauerstoffgehaltes im Blute erhalten hat. Nach diesen Untersuchungen ist das Arterienblut beim Hunde unter normalen Verhältnissen nicht völlig mit Sauerstoff gesättigt, sondern enthält stets reducirtes Hämoglobin, weshalb also wenigstens die Möglichkeit einer vermehrten Sauerstoffbindung im Blute durch forcirte Respiration vorhanden ist.

Um den Einfluss der Ermüdung zu eliminiren, welcher von Hoppe-Seyler als äusserst kräftig angenommen worden ist, suchte Bieletsky (16) bei einem Raubvogel (*Astur palumbarius*) Apnoe hervorzurufen, indem er einen constanten Luftstrom durch die Lungen blies, nachdem er zuvor die Humeri abgebrochen und so die mit den Lungen communicirenden Luftsäcke geöffnet hatte. Er erhielt in diesem Falle bei dem Versuchsthiere mit Leichtigkeit Apnoe, obgleich die Respirationsbewegungen so ausgeschlossen waren.

Unter den übrigen, welche wichtige Einwendungen gegen Rosenthal's Theorie gemacht haben, seien Marckwald (20) und Mosso (21) genannt. Der erstere betont, dass die Athmung lange fortfahren kann, auch nachdem die Blutcirculation um das respiratorische Centrum abgesperrt worden ist, und behauptet, dass weder die Respiration, noch die Apnoe mit den Gasen des Blutes etwas zu schaffen habe. Der Letztere deutet darauf hin, dass grosse Variationen im Respirationsrhythmus vorkommen, welche nicht als Anpassungen nach Variationen im Sauerstoffbedarf des Organismus aufgefasst werden können und schliesst daraus, dass die Regulirung der Respiration unabhängig von der chemischen Beschaffenheit des Blutes ist.

Aus der Kritik, welcher die chemische Theorie der Entstehung der Apnoe ausgesetzt gewesen ist, wie aus den verschiedenen Erklärungsversuchen, welche gemacht worden sind, ging indess die Möglichkeit hervor, dass man mit mehreren Arten von Apnoe zu zählen habe, welche von mehreren ungleichartigen Ursachsmomenten hervorgerufen seien.

Dies wird auch von Miescher-Rüsch (18) in seiner orientirenden Arbeit erwähnt: Bemerkungen zur Lehre von den Athembewegungen (1885). Diejenige Art der Apnoe, welche dadurch entsteht, dass das Blut in Folge der Beschaffenheit seiner Gase keine Reizung auf das respiratorische Centrum ausübt, nennt er *Apnoea vera*, und unter dem Namen *Apnoea spuria* fasst er die Zustände in der Respiration zusammen, welche durch reflectorische, von den Nn. vagi oder von anderen Nerven ausgegangene Hemmung bewirkt werden.

Diese Distinction verdient es wohl, scharf betont zu werden. Der Begriff *Apnoea spuria* dürfte indess meiner Ansicht nach dahin zu erweitern sein, dass er alle anderen Formen von Apnoe, also gerade diejenigen umfasst, welche von ausgebliebener Reizung des Centralapparates zu Folge Beschaffenheit der Blutgase bedingt sind. Wenn es sich z. B. zeigen sollte, dass die durch sehr forcirte Athmung natürlich hervorgerufene Ermüdung des Respirationscentrums im Stande ist, einen apnoeähnlichen Athmungszustand zu verursachen, muss auch dies natürlich als eine *Apnoea spuria*, wenn auch von anderer Art, betrachtet werden.

Die Mehrzahl der Versuche, zum näheren Studium dieses Zustandes Apnoe hervorzurufen, ist an Thieren, meist Kaninchen, durch energische künstliche Respiration gemacht worden. Es ist indessen eine längst bekannte Thatsache, dass Apnoeversuche ohne Schwierigkeit auch am Menschen vorgenommen werden können. Wenn man eine grössere oder geringere Zahl tiefer und kräftiger Respirationen macht, ist sehr leicht zu beobachten, dass diejenigen gewöhnlichen Bewegungen des Brustkastens unmittelbar darnach für einige Secunden eingestellt sind. Rosenthal (14) erwähnt diese Thatsache mit folgenden Worten: „Wenn ich nur eine einzige tiefe Inspiration mache, wird die darauf folgende Athempause auf das Drei- bis Sechsfache ihrer normalen Dauer verlängert. Wenn ich einige solcher tiefen Athemzüge hinter einander mache, erhalte ich eine Apnoe von 5 bis 10 Secunden Dauer und darüber.“ Dieselbe Sache wird von Fredericq (24) erwähnt, welcher sagt: „On peu faire sur l'homme une expérience analogue. Si l'on exécute une série d'inspirations très profondes, on n'éprouve plus, pendant plusieurs secondes, le besoin de respirer: on est à l'état d'apnée.“

Und wirklich hat man im täglichen Leben nicht selten Gelegenheit, die erwähnte Thatsache zu beobachten. Wenn man auf Jemand Acht giebt, welcher gähnt oder tief seufzt, so ist leicht zu bemerken, dass ein kurzer Athmungsstillstand unmittelbar nach diesen Formen von tieferer Respiration folgt.

Nähere Untersuchungen über diese der Lufteinblasungsapnoe bei Thieren analoge Respirationspause scheinen bisher indess nicht gemacht worden zu sein. Eine solche Untersuchung dürfte indessen mancherlei von Interesse bieten, weil es scheinen will, als ob man dadurch Gelegenheit erhielte, der Frage hinsichtlich der Ursachen der Entstehung der Apnoe von etwas anderen Ausgangspunkten als den gewöhnlichen etwas näher zu kommen.

Ueber eine Reihe Untersuchungen in dieser Richtung will ich im

Folgenden berichten. Bei Vorlegung dieser Arbeit, welche in dem physiologischen Institut zu Upsala ausgeführt wurde, ist es mir eine angenehme Pflicht, dem Präfecten dieses Institutes, Herrn Professor Hj. Oehrwall, für das Wohlwollen und Interesse, womit er den Gang der Arbeit verfolgt hat, wie für die zahlreichen und werthvollen Rathschläge und Auskünfte, womit er dieselbe erleichtert hat, meinen wärmsten Dank auszusprechen.

I. Versuchsanordnung.

Sämmtliche Versuche, betreffend die Länge der Athmungspause nach tiefen Respirationen, habe ich an mir selbst ausgeführt.

Ich placirte einen Marey'schen Pneumographen auf die blosse Brust mitten über dem Sternum in gleicher Höhe mit den Brustwarzen und fixirte denselben dort sicher, doch nur so hart, dass er die Athembewegungen nicht im mindesten hinderte. Die Bewegungen des Brustkorbes wurden auf einen berussten Cylinder gezeichnet, welcher auf einem Baltzar'schen Kymographion rotirte. Zugleich wurde die Zeit mittels einer Secundenuhr registrirt.

So viel als möglich suchte ich die grösste Gleichförmigkeit in der Anordnung bei den verschiedenen Versuchen zu behalten. So z. B. wurde der Stuhl, auf welchem ich während des Versuches sass, stets in derselben Weise im Verhältniss zum Tisch, der Pneumograph immer in derselben Weise auf die Brust placirt u. s. w.

Bei der Arbeit mit Gasmischungen von anderer Zusammensetzung als der der atmosphärischen Luft wurden diese in einem Spirometer¹ eingeschlossen. Ein weiter Kautschukschlauch, welcher vom Spirometer führte, endigte mit einem Loven'schen Ventil, durch welches die Gasmischung vom Spirometer inspirirt wurde, nachdem die Nasenöffnungen mit einem Klemmer verschlossen worden waren.

Das Sauerstoffgas, welches zur Darstellung der Gasmischungen erforderlich ist, wurde theils fabrikmässig dargestellt und comprimirt auf einem eisernen Cylinder (von Elkan's Sauerstofffabrik, Tegeler Strasse 15,

¹ Hierbei wurde ein Holmgren'scher Doppelspirometer verwandt (siehe *Upsala Läkareförenings förhandlingar*. 1873. Bd. VIII. S. 465), auf welchem beide Glocken so mit einander verbunden wurden, dass der Apparat im Ganzen wie ein einfacher Spirometer wirkte. So wurde ein Gasvolumen erhalten, welches zu 15 bis 16 tiefen Respirationen hinreichte. Bei den Versuchen mit 25 und 40 tiefen Athemzügen wurde mit dem Spirometer eine Gasglocke verbunden, von welcher der Spirometer während des Versuches von einem Assistenten successive gefüllt wurde.

Berlin), theils auch mittels Zertheilung des Wassers durch einen elektrischen Strom erhalten, in welchem Falle es durch starke Erhitzung in einem kupfernen Rohr, durch welches das Gas geleitet wurde,¹ von Ozon befreit wurde.

Als Reagens auf Ozon wurde Schönbein's Jodkaliumstärkepapier (17 J. K. + 10 Stärke + 200 Wasser)² verwandt.

Das benutzte Wasserstoffgas wurde durch Zertheilung von Wasser mittels des elektrischen Stromes dargestellt.

Die Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt: Ich setzte mich auf einen Stuhl vor den Tisch, auf welchen die Registrirungsapparate placirt waren, und fixirte den Pneumographen in angegebener Weise auf der Brust, stellte die Schreibfedern ein und versetzte dann den Cylinder in Rotation. Nachdem ich eine Weile in gewöhnlicher Weise gleichmässig und ruhig geathmet hatte, machte ich die für jedes Mal bestimmte Anzahl tiefer Inspirationen und verhielt mich dann den Respirationsbewegungen gegenüber so passiv wie möglich.

Die Schwierigkeit bei diesen Versuchen bestand natürlich darin, in möglichster Weise den Einfluß des Willens auf die Länge der Pause zu eliminiren. Zu diesem Zwecke machte ich vor den eigentlichen Versuchen eine grosse Anzahl Uebungsversuche, durch welche ich mich allmählich gewöhnte, mich während des Versuches völlig passiv zu verhalten. Damit nichts hinzukommen sollte, was diese erworbene Gewohnheit stören konnte, suchte ich, wie bereits ausgeführt, eine detaillirte Gleichförmigkeit bei den verschiedenen Versuchen zu behalten. Dadurch, dass ich ausserdem während des Versuches selbst in einem Buch oder in einer Zeitung las, die Augen schloss und den Gedanken eine ganz andere Richtung gab, und besonders dadurch, dass ich sorgfältig vermied, während des Versuches das Resultat zu beobachten, welches auf den berussten Cylinder gezeichnet wurde, lernte ich es allmählich, die Versuche vollkommen mechanisch auszuführen, ohne dem Verlaufe irgend welche Aufmerksamkeit zu widmen. Uebrigens wurden alle Versuche, bei welchen ich selbst nicht ganz passiv gewesen zu sein vermeinte, ausser Rechnung gelassen.

¹ Das Ozon wurde entfernt, weil es für möglich gehalten wurde, dass dasselbe die Ursache zu der reizenden Wirkung auf die Schleimbaut des Larynx und Pharynx bilden könnte, welche auf diese Weise erhaltener Sauerstoff bisweilen zu besitzen sich erwies. Es dürfte zu bemerken sein, dass der Sauerstoff, erhalten durch Zertheilung von schwefelsäuresaurem Wasser, stets einen positiven Ausschlag auf das Reagenzpapier gab, während das Gas, welches durch Zertheilung von alkalischem Wasser erhalten wurde, einen negativen oder sehr schwachen Ausschlag gab.

² W. Hempel, *Gasanalytische Methoden*. S. 145. Braunschweig 1900.

II. Die respiratorische Pause nach tiefen Inspirationen.

Eine nähere Untersuchung der Resultate, welche durch die eben beschriebene Versuchsanordnung erhalten wurden, giebt an die Hand, dass schon nach einem einzigen tiefen Athemzug constant eine Pause in der Expirationsstellung erhalten wird.

Als Durchschnittsziffer von einer Anzahl Versuchen habe ich gefunden, dass die Länge dieses Stillstandes bei mir etwa 4 Secunden, d. h. ungefähr die Zeit beträgt, welche eine normale In- und Expiration zusammen umfassen.

Fig. 1 Taf. X giebt das Aussehen der Curven wieder, welche bei diesen Versuchen auf den berussten Cylinder gezeichnet worden sind (die Curve ist von links nach rechts zu lesen, die abwärts gehenden Linien bezeichnen die Inspiration, die aufwärts gehenden die Expiration; die Zeit ist in Secunden markirt. Die kleinen Wellen in der Curve entsprechen den Herzschlägen).

Aus dieser Curve geht hervor, dass, sobald der Brustkorb die Expirationsbewegung nach der tiefen Inspiration vollendet hat, ein einige Secunden langer völliger Stillstand in der Expirationsstellung eintritt; nach Ablauf dieses Stillstandes beginnt die Athmung mit einer ziemlich unbedeutenden Inspiration. Bei der nächsten Respiration ist die Amplitude des Ausschlages etwas grösser, aber erst bei der dritten oder vierten Respiration nach der Pause wird dieselbe Amplitude erreicht, welche die normalen Athmungsbewegungen unmittelbar vor der tiefen Inspiration zeigten. Danach setzt die Respiration unter völlig normaler Form fort.

Im Vorhergehenden ist angedeutet worden, dass Rosenthal (15) die Länge der erwähnten Pause in einem gewissen Zusammenhange mit der Anzahl der vorhergehenden tiefen Athemzüge stehend befunden hat und zwar so, dass der Stillstand länger wurde, wenn er „einige“ tiefe Inspirationen machte, als wenn er nur „einen einzigen“ that. Es scheint der Mühe zu verlohnen, die Art und Ausdehnung dieses Zusammenhanges näher zu untersuchen.

Zu diesem Zwecke habe ich durch eine Reihe Versuche die Länge der Athmungspause nach der verschiedenen Anzahl der vorhergehenden tiefen Athemzüge, von 1 bis einschliesslich 60, bestimmt. Die Figg. 2 und 3 Taf. X werden als Beispiel der Curven mitgetheilt, welche bei diesen Versuchen erhalten wurden.

Die hierdurch gewonnenen Resultate legen dar, dass die Länge der respiratorischen Pause bis zu einer gewissen Grenze mit der steigenden Anzahl der vorhergehenden tiefen Respirationen wächst.

Die Werthe der Pausenlänge (Mittelwerth von ungefähr 10 Versuchen für jede Anzahl tiefer Inspirationen), welche ich erhielt, waren folgende:

Anzahl tiefer Respirationen	Pausenlänge Sec.	Anzahl tiefer Respirationen	Pausenlänge Sec.
1	4	12	9
2	5.8	14	9.1
3	6.2	17	10.2
4	7	20	11.1
5	7.3	25	12.4
5	7.3	30	15.5
8	7.6	40	15.5
10	8	60	15.5

Geographisch dargestellt geben diese Resultate eine Curve von folgendem Aussehen:

Fig. 4. Zunahme der Pause nach der wachsenden Anzahl tiefer Inspirationen.
Abscisse: Anzahl der tiefen Respirationen. Ordinate: Zeit (in Sec.).

Nach etwa 30 Secunden hatte die Pause also eine Länge von ungefähr 15 Secunden erreicht; darauf schien sie nicht mehr zuzunehmen, sondern hatte deutlich ihr Maximum erreicht. Die Zunahme schien Anfangs am stärksten zu sein, so dass die Pause schon nach 5 tiefen

Respirationen eine Länge von 7.3 Sec. hatte. Dann erfolgt das Steigen langsamer, aber ziemlich gleichmässig bis zu ungefähr 25 Respirationen, wo ein steilerer Anstieg beginnt, welcher bis 30 reicht, wo die Curve ein Plateau bildet.

Es ist natürlich, dass sowohl die Länge dieser Pause nach der ungleichen Anzahl tiefer Athemzüge, wie auch der Punkt, bei welchem dieselbe ihr Maximum erreicht, wie anzunehmen, nicht unbedeutenden individuellen Schwankungen ausgesetzt sein muss, was auch aus verschiedenen Controlversuchen mit anderen Personen hervorgegangen ist. Indess haben diese Controlversuche stets die oben erwähnte Behauptung bestätigt, dass auf einen oder mehrere tiefe Athemzüge stets eine expiratorische Pause folgt, welche ihrer Länge nach innerhalb gewisser Grenzen von der Zahl der vorhergehenden tiefen Respirationen abhängig ist.

Es liegt nun nahe an der Hand, dass man sich fragt: ist diese Pause, welche natürlich ebenso gut wie der durch energische künstliche Athmung bei Thieren erzeugte Athmungsstillstand eine Apnoe ist, richtiger als eine *Apnoea vera* oder *Apnoea spuria*, oder vielleicht als eine Combination von beiden aufzufassen? Welche Momente können als mitwirkende Ursachen zur Entstehung dieser Pause nachgewiesen werden? Ist die Ursache nur darin zu suchen, dass das Blut durch die eingehendere Lungenventilation reichlicher mit Sauerstoff versehen oder von Kohlensäure befreit worden ist, so dass das für das respiratorische Centrum reizende Moment für eine Weile weggefallen ist, oder nur in einer durch Reflex hervorgerufenen Hemmung? Wirken möglicher Weise diese beiden oder noch andere Ursachen zusammen, und in letzterem Falle, welches sind diese anderen mitwirkenden Ursachen?

Der Zweck der nachfolgenden Untersuchungen ist der, zu versuchen, zur Beantwortung dieser Fragen einen Beitrag zu liefern.

Von besonderem Interesse für die Beantwortung dieser Fragen war es natürlich, zu untersuchen, ob die Länge der beschriebenen Pause in irgend welcher Weise von der Zusammensetzung der Luft abhängig wäre, mit welcher die Lungen durch die tiefen Athemzüge gefüllt werden. Dass ein grösserer oder geringerer Sauerstoffgehalt bei der inspirirten Luft eine bestimmte Bedeutung haben würde, erschien a priori sehr wahrscheinlich.

Ich bereitete daher Anfangs eine verhältnissmässig sauerstoffreiche Luftmischung, welche im Spirometer eingeschlossen gehalten wurde. Ich mischte 10 Liter gewöhnliche Luft mit 2 Liter reinem Sauerstoffgas, wonach die Mischung ungefähr 34 Proc. Sauerstoff enthielt. In

derselben Weise, wie oben beschrieben, führte ich nun eine Reihe Apnoeversuche aus, nur mit dem Unterschiede, dass ich bei den tiefen Athemzügen oben erwähnte sauerstoffreiche Luft inspirirte.

Das Gasvolumen, worüber ich disponirte, erlaubte mir nicht, eine grössere Anzahl tiefer Respirationen zu machen als 40, die indess völlig hinreichten, da die Länge der Pause offenbar schon vorher ihr Maximum erreicht hatte.

Ich erhielt bei diesen Versuchen folgende Werthe für die Länge der Pause nach verschiedener Anzahl vorhergehender kräftiger Inspirationen in der sauerstoffreicheren Luft. Zum Vergleiche theile ich auch die bei Versuchen in gewöhnlicher atmosphärischer Luft erhaltenen Werthe mit, wie auch die Differenz zwischen den Werthen in den beiden verschiedenen Versuchsreihen:

Anzahl der tiefen Re- spirationen	Länge der Pause nach		Differenz Sec.
	Athmung in ge- wöhl. Luft (21 Proc. O) Sec.	Athmung in sauerstoffreicher Luft (34 Proc. O) Sec.	
1	4	6	2
2	5.8	7	1.2
3	6.2	8	1.8
4	7	10	3
5	7.3	13	5.7
6	7.3	13	5.7
8	7.6	13.5	5.9
10	8	14	6
12	9	14	5
14	9.1	14	4.9
17	10.2	14.5	4.3
25	12.4	15	2.6
40	15.5	15.5	0

Die Curve, welche durch graphische Darstellung dieser Ziffernwerthe erhalten wurde, wird in Fig. 5 (S. 311 oberste Curve) wiedergegeben. Ein Vergleich zwischen dieser neuen Curve und der vorher bei Versuchen in gewöhnlicher atmosphärischer Luft erhaltenen (die mittelste Curve in Fig. 5) zeigt, dass schon nach einem einzigen Athemzuge in der sauerstoffreicheren Luft die Athmungspause bedeutend länger geworden ist als bei Athmung in gewöhnlicher Luft. Der Unterschied beträgt ungefähr 2 Secunden. Danach wächst die Pause nach den Inspirationen in der sauerstoffreichen Luft so schnell, dass

dieselbe bereits nach 10 Inspirationen das Maximum erreicht, welches bei Versuchen in gewöhnlicher Luft erst nach ungefähr 30 Inspirationen erhalten wurde. Durch einen ziemlich langsamen Anstieg erreicht die Curve schon bei ungefähr 20 tiefen Inspirationen das Plateau der ersten Curve, welchem sie dann folgt.

Es ist also deutlich, dass erhöhter Sauerstoffgehalt in der inspirirten Luft wesentlich die Schnelligkeit erhöht, mit welcher die Apnoe nach tiefen Respirationen ihr Maximum erreicht. Bemerkenswerth ist indess, dass es scheinen will, als ob dieses Moment keinen wesentlichen Einfluss auf die Grösse des endlichen Maximums der Pause hätte. Ob der Verlauf der Curven übrigens ein Ausdruck für eine allgemeingültige Thatsache, oder nur individuell für mich ist, lässt sich natürlich noch nicht mit Gewissheit entscheiden.

Um diese Untersuchung zu completiren, machte ich dann eine völlig gleichartige Versuchsreihe mit einer Gasmischung, deren Sauerstoffgehalt wesentlich niedriger als der der atmosphärischen Luft war. Ich mischte gewöhnliche Luft und Kohlensäure in solchen Mengen, dass die Mischung ungefähr 10 Proc. Sauerstoff enthielt, d. h. ungefähr die Hälfte des Sauerstoffgehaltes in der äusseren Luft.

Dabei erhielt ich folgende Werthe, welche der grösseren Uebersichtlichkeit wegen mit den bei den beiden vorhergehenden Versuchsreihen erhaltenen Werthen zusammengestellt sind.

Anzahl der tiefen Respirationen	Länge der Pause nach			Differenz 2-1	Differenz 1-3
	1. Athm. in gewöhnlicher Luft (21 Proc. O)	2. Athm. in sauerstoffreicher Luft (34 Proc. O)	3. Athm. in sauerstoffärmerer Luft (10 Proc. O)		
	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.
1	4	6	2	2	2
2	5.8	7	3	1.2	2.8
3	6.2	8	4	1.8	2.2
4	7	10	5	3	2
5	7.3	13	5	5.7	2.3
6	7.3	13	5.5	5.7	1.8
8	7.6	13.5	6	5.9	1.6
10	8	14	6	6	2
12	9	14	6	5	3
14	9.1	14	6.5	4.9	2.6
17	10.2	14.5	7	4.3	3.2
25	12.4	15	8	2.6	4.4
40	15.5	15.5	8	0	7.5

Die unterste Curve auf Fig. 5 giebt in graphischer Darstellung die Veränderungen wieder, welche die Länge der Pause bei diesen Versuchen erlitten hat. Es zeigt sich, dass diese Curve die ganze Zeit unter derjenigen liegt, welche bei den Versuchen in atmosphärischer Luft erhalten wurde, dass sie aber in ziemlich analoger Weise dem Verlauf der letzteren mit einer wenigstens anfänglich einigermaßen constanten Differenz von ungefähr 2 Secunden folgt. Bei ungefähr 25 tiefen Inspirationen scheint die Curve ein Plateau zu bilden, welches bedeutend niedriger liegt als das vorige. Die maximale Länge der Pause war nämlich 8 Secunden, aber nicht mehr als ungefähr die Hälfte des höchsten erreichten Werthes bei der vorigen Versuchsreihe.

Die Abnahme des Sauerstoffgehaltes in der Luft, mit welcher die Lungen durch die tiefen Respirationen ventilirt werden, hat also einen ganz deutlichen Einfluss auf die Länge der nachfolgenden Athmungspause, sofern als diese Pause, welche bei tiefer Athmung in sauerstoffarmer Luft ebenso constant wie bei demselben Versuche in gewöhnlicher Luft hervortritt, doch stets im ersteren Falle wesentlich kürzer ist, als bei den sonst gleichartigen Verhältnissen im letzteren Falle.

Der wesentliche Unterschied in der Länge der Pause, welcher erhalten wird, wenn man in derselben Weise athmet, mit tiefen Respirationen das eine Mal in sauerstoffreicher, das andere Mal in gewöhnlicher Luft, und da also alle Umstände bei den Versuchen mit Ausnahme der Sauerstoffzufuhr gleichartig sind, scheint kräftig dafür zu sprechen, dass man wenigstens zum Theil, gewiss zu einem wesentlichen Theil, diese Pause als eine *Apnoea vera*, d. h. als abhängig von dem Einfluss der Blutgase auf das respiratorische Centrum auffassen muss. Dies schliesst indess nicht aus, dass auch andere Momente bezüglich der Entstehung und Länge der Pause eine Rolle spielen können. Weiter-hinten will ich darauf zurückkommen.

Als ich mit den oben beschriebenen Versuchen beschäftigt war, lag mir natürlich der Gedanke nahe, zu untersuchen, wie ein Athemstillstand, der durch Einfluss des Willens bewirkt wurde, sich unter ähnlichen Umständen verhielte, oder mit anderen Worten, wie die Fähigkeit, den Athem zu halten, durch die verschiedene Anzahl vorheriger tiefer Respirationen in gewöhnlicher bzw. sauerstoffreicherer und sauerstoffärmerer Luft verändert würde. Wäre die Annahme richtig, dass die beschriebene Athmungspause zum grossen Theil eine *Apnoe vera* sei, so müsste natürlich jedes Moment, welches die Pause steigert, auch die Fähigkeit, den Athem zu halten, steigern. Eine Reihe von Versuchen in dieser Richtung müsste also in gewisser Beziehung eine

Controle für die Zuverlässigkeit der vorhergehenden Versuche abgeben.

Verschiedene Versuche hinsichtlich der Steigerung, die in der

Fig. 5. Länge der Pause nach steigenden Anzahl tiefer Inspirationen in 1. gewöhnlicher Luft; mittlere Curve; 2. sauerstoffreicher (34 Proc. O₂) Luft; obere (unterbrochene) Curve; 3. sauerstoffarme (10 Proc. O₂) Luft; unterste (unterbrochene) Curve.

Fähigkeit, den Athem zu halten, durch eine vorübergehende, mehr oder weniger gründliche Lungenventilation erreicht wird, sind bereits früher gemacht worden. Czermak (3) führt (i. J. 1855) an, dass er nach einer tiefen Inspiration den Athem 30 bis 35 Secunden halten konnte, nach 10 bis 18 kam er hinauf bis zu $1\frac{1}{2}$ Minuten. Filehne (12), welcher (im Jahre 1879) ähnliche Versuche beschrieben hat, konnte nach gewöhnlicher ruhiger Respiration den Athem höchstens 15 Secunden halten, nach 3 bis 4 tiefen Inspirationen 35 Secunden, nach 20 Secunden langer forcirter Athmung hielt er 50 bis 55 Secunden aus, ohne zu athmen; über diese Grenze kam er nicht. Richet (25) berichtet, dass er nach gründlicher Ventilation der Lungen, ohne nennenswerthe Schwierigkeit, bis 2 Minuten 15 Secunden kam; mit äusserster Anstrengung hielt er 15 Sec. länger aus, d. h. bis zu $2\frac{1}{2}$ Minuten, wobei doch die letzten Secunden äusserst peinigend waren.

Eine Angabe des Unterschiedes in der Fähigkeit, den Athem zu halten, welche vorliegt, wenn man von der In- oder Expirationsstellung des Brustkorbes, wie auch der Aenderung derselben Fähigkeit Respiration in Luftarten von verschiedener Zusammensetzung ausgeht, dürfte indess kaum existiren.

Einige Reihen von diesbezüglichen Versuchen habe ich theils an mir selbst, theils an einer Anzahl anderer Personen gemacht. Dabei habe ich beobachtet, dass die tiefen Athemzüge in ruhigem Rhythmus ausgeführt worden sind, dass sie kein Gefühl von Athemnoth hinterlassen haben. Bei einigen von diesen Versuchen bin ich von der Inspirationsstellung ausgegangen, d. h. ich habe begonnen, den Athem zu halten, während die Lungen durch eine kräftige Inspiration mit Luft gefüllt waren, und habe dann die Luft allmählich zwischen den Lippen herausströmen lassen, bei anderen dagegen bin ich von der Expirationsstellung ausgegangen, d. h. ich habe erst begonnen, wenn der Thorax nach der tiefen Inspiration in normale Expiration zurückgekehrt war.

Bei diesen wie bei den Apnoeversuchen wurden die Bewegungen des Brustkorbes auf früher angegebene Weise mit den Pneumographen registrirt und die Zeit mit der Secundenuhr aufgezeichnet. Hierdurch konnte ich theils die Zeit genau messen, in der es mir während der verschiedenen Versuche gelang, den Athem zu halten, theils, da jede Bewegung des Brustkorbes aufgezeichnet wurde, auch controliren, dass im Laufe des Versuches keine unbedeutende Inspiration unbewusst gemacht wurde.

Vor Beginn der eigentlichen Versuche bestimmte ich meine

Fähigkeit, den Athem zu halten, nach der gewöhnlichen ruhigen Respiration, und bekam als Resultat folgende Werthe:

in Expirationsstellung:	in Inspirationsstellung:
30 Sec.	45 Sec.

Darnach bestimmte ich, wie diese Fähigkeit sich event. veränderte, wenn ich vor dem Athemhalten eine oder mehrere Respirationen machte.

Untenstehende Tabelle giebt an, wie viele Secunden ich nach mehreren oder weniger tiefen Inspirationen den Athem halten konnte:

Die Anzahl tiefer Respirationen	In Expirationsstellung Sec.	In Inspirationsstellung Sec.
1	43.5	49.5
5	59	65.5
10	68	78.5
15	83	93
20	94.5	110
25	102	115
30	112	120
35	112	121
40	112	122
60	113	123

Wie hieraus mit Deutlichkeit hervorgeht, erzielt man durch eine Anzahl vorhergehender Respirationen eine in wesentlich hohem Grade vermehrte Fähigkeit, den Athem zu halten.

Wie bedeutend dieser Zuschuss in der That ist, dürfte am leichtesten so zu veranschaulichen sein, dass man die bei den vorbereitenden Versuchen nach gewöhnlicher Athmung erhaltenen Werthe der Fähigkeit, in Ex- und Inspirationsstellung den Athem zu halten, bezw. 30 und 45 Secunden, mit den verschiedenen Werthen vergleicht, welche bei den letzteren Versuchen genommen wurden und in Procenten von den primären Werthen (30 und 45 Secunden) die Grösse der Vermehrung berechnet, welche für jeden der verschiedenen Versuche erreicht wurde.

Eine solche Berechnung ist in der nachstehenden Tabelle ausgeführt.

Der Zuschuss beträgt nach:

Anzahl tiefer Respi- rationen	In Expirations- stellung Proc.	In Inspirations- stellung Proc.
1	45	10
5	96.6	49.1
10	126.6	74.4
15	176.6	106.1
20	215	144.4
25	240	155.5
30	273.6	166.6
35	273.6	168.8
40	273.6	171.1
60	273.6	183.3

Ein Blick z. B. auf die Verhältnisse bei den Versuchen in Expirationsstellung zeigt, dass schon nach 5 tiefen Inspirationen die Fähigkeit, den Athem zu halten, fast verdoppelt ist, nach 20 mehr als verdreifacht und nach 30 nahezu vervierfacht ist, dass aber danach keine nennenswerthe Vermehrung erfolgt. Auch in Inspirationsstellung ist die Zunahme nach 30 tiefen Inspirationen so gut wie zu Ende. Besonders bemerkenswerth ist, dass sowohl bei diesen, wie bei den früher genannten Apnoeversuchen die Verbesserung der Resultate bei ungefähr 30 tiefen Inspirationen aufzuhören scheint.

Wenn man die maximalen Werthe, die bei den oben erwähnten früheren Versuchen erhalten wurden, mit den höchsten Werthen vergleicht, die ich erhielt, zeigt es sich, dass meine Ziffer, 123 Secunden, die von Czermak und Filehne als höchste Grenzwerte angeführten Procente bzw. 55 Secunden bei Weitem überschreitet, dagegen Richet's Maximum 150 Secunden nicht erreicht. Hieraus und aus dem, was weiter unten noch erwähnt wird, geht mit Deutlichkeit hervor, dass man hier mit Verhältnissen zu thun hat, die starken individuellen Variationen unterworfen sind.

Bei Versuchen wie den oben angeführten darf man natürlich nicht den grossen Einfluss übersehen, den die Uebung auf die Fähigkeit hat, den Athem zu halten. Dass indessen die grossartige Vermehrung, die in diesen Fällen erreicht wurde, nicht allein oder auch nur hauptsächlich von dem Einflusse der Uebung herrühren kann, dürfte klar sein. Uebrigens habe ich durch die Anordnung der Versuche mich bemüht, den Einfluss der Uebung wenn nicht vollständig zu eliminiren, so doch möglichst zu beschränken. Die Versuche sind mit ziemlich langen Zwischenräumen gemacht, und habe ich mich überdies mit einer möglichst geringen Anzahl Versuche begnügt, so

dass die angeführten Ziffern nicht Mittelwerthe einer Anzahl Versuche sind, sondern das Resultat eines einzigen von jeder Art.

Die nun beschriebenen Versuche wurden nachher in der Weise zu Ende geführt, dass ich zwei gleichartige Versuchsserien machte, die eine unter Anwendung von sauerstoffreicher (34 Proc. O) Luft, die andere mit sauerstoffarmer (10 Proc. O). Die Resultate dieser Versuche waren folgende (die Werthe von der vorhergehenden Versuchsserie werden des Vergleiches wegen wiederholt):

Anzahl tiefer Respirat.	In gewöhnlicher Luft (21 Proc. O)		In sauerstoffr. Luft (34 Proc. O)		In sauerstoffarmer Luft (10 Proc. O)	
	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.
	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.
1	43.5	49.5	46.5	60	30	42
5	59	65.5	62	81.5	39	48
10	68	78.5	83	100	42	55
15	84	93	100	114	45	58
20	94.5	110	—	—	—	—
25	102	115	115	126	49	60
30	112	120	—	—	—	—
35	112	121	—	—	—	—
40	112	122	125	130	51	62
60	113	123	—	—	—	—

Dass der Sauerstoffgehalt in der durch tiefe Athemzüge inspirirten Luft also einen wesentlichen Einfluss auf die Grösse der Zunahme hat, welche die Fähigkeit, den Athem zu halten, durch eine vorhergehende Lungenventilation erhielt, und dass dieser Einfluss analog der Einwirkung ist, welche der Sauerstoffgehalt in der Luft ebenfalls auf die Grösse der Pause ausübte, die den tiefen Respirationen folgte, dürfte durch diese Ziffern klar bewiesen worden sein.

Um den Einfluss des vermehrten oder verminderten Sauerstoffgehaltes deutlicher zu veranschaulichen, theilen wir hier wie bei der vorigen Versuchsreihe eine Berechnung des Verhältnisses von den Zunahmen zu den ursprünglichen Werthen, 30 Secunden in Expirationsstellung und 45 Secunden in Inspirationsstellung, ausgedrückt in Procenten, von den letztgenannten mit (s. Tabelle nächste Seite).

Die Resultate der nun beschriebenen drei Versuchsreihen habe ich auch im Bilde zu veranschaulichen gesucht, zu welchem Zwecke die Curven in Fig. 6 gemacht worden sind. Diese dürften keiner weiteren Erklärung benöthigen. Nach 30 tiefen Inspirationen hört das Steigen der Curven so gut wie ganz auf, doch verbleibt eine kleine

Anzahl tiefer Respirat.	In gewöhnlicher Luft (21 Proc. O)		In sauerstoffr. Luft (34 Proc. O)		In sauerstoffarmer Luft (10 Proc. O)	
	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.	Exsp.-Stell.	Insp.-Stell.
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
1	45	10	55	33.3	0	-6.6
5	96.6	49.1	106.6	81.1	30	6.6
10	126.6	74.4	176.6	111.1	40	22.2
15	176.6	106.6	233.3	153.3	50	28.8
25	240	155.5	283.3	180	03.3	33.3
40	273.6	171.1	316.6	188.8	70	37.7

Fig. 6. Fähigkeit, den Athem zu halten, nach tiefer Inspiration. 1. In gewöhnlicher Luft: in Inspirationsstellung Curve *b*; in Expirationsstellung Curve *b*₁; 2. in sauerstoffreicher (34 Proc. O) Luft: in Inspirationsstellung Curve *a*, in Expirationsstellung Curve *a*₁; in sauerstoffarmer (10 Proc. O) Luft: in Inspirationsstellung Curve *c*, in Expirationsstellung Curve *c*₁.

Abscisse: Anzahl tiefer Insp. Ordinate: Zeit in Sekunden.

Tendenz zur Hebung, was indessen von dem Einflusse der Uebung abhängen kann. Bei den Apnoeversuchen dagegen konnte diese sich natürlich nicht geltend machen, sondern die Curve nahm schliesslich ein vollkommen constantes Niveau ein.

Diese Untersuchung hinsichtlich der Fähigkeit, den Athem zu halten, dürfte also mit ziemlicher Sicherheit darlegen, dass die genannte Fähigkeit ganz deutlich zunimmt durch alle Momente, welche geeignet sind, die Sauerstoffaufnahme des Blutes in den Lungen zu erleichtern oder zu vermehren. Die tiefen Inspirationen, welche theils eine bedeutend vergrösserte Respirationsfläche, theils eine für den Gasaustausch vermehrte disponible Luftmenge beschaffen, eine Luftmischung, deren Sauerstoffgehalt wesentlich den der normalen atmosphärischen Luft übersteigt, sind natürlich Ursachen, welche kräftig in eben angeführter Richtung wirken. Ebenfalls muss die Erklärung von dem constant auftretenden Verhältniss, dass man bessere Resultate erzielt, wenn man von der In- als von der Expirationsstellung ausgeht, in der gesteigerten Fähigkeit, den Sauerstoff der Luft aufzunehmen, welchen das Blut in den Lungencapillaren durch die Zurückhaltung einer grösseren Luftquantität erhält, gesucht werden. Bei einer Versuchsreihe dagegen, wo der Sauerstoffgehalt in der inspirirten Luft bedeutend geringer ist als in der normalen Luft, sinkt diese Fähigkeit in auffallender Weise. Diese Verhältnisse scheinen deutlich dafür zu sprechen, dass wirklich eine grössere Sauerstoffquantität als in gewöhnlichen Fällen im Blute gebunden ist, welches dadurch in Stand gesetzt worden ist, den Sauerstoffbedarf des Körpers für eine längere Zeit zu decken.

Ebenso kräftig wie die früher angeführten Apnoeversuche und in guter Uebereinstimmung mit diesen sprechen also diese Versuche dafür, dass der Athmungsstillstand, der bei den erstgenannten Versuchen eintrat, wenigstens theilweise als eine *Apnoea vera* aufgefasst werden muss.

Es ist leicht einzusehen, dass der Process, welcher stattfindet, wenn man den Athem so lange als möglich zurückhält, von ziemlich complicirter Natur ist. Zu demselben gehört natürlich ein weit über die Grenze der gewöhnlichen Verhältnisse getriebenes Ausnutzen der Sauerstoffanlage in Blut und Geweben, was durch einen rein psychischen Process möglich wird, nämlich durch ein Hemmen oder Unterdrücken der respiratorischen Impulse, welche sich natürlich weit eher einstellen, als der Versuch des Sauerstoffvorrathes eine Erstickungsgefahr mitbringt.

Es dürfte nicht unwahrscheinlich sein, dass der Einfluss der Uebung hier gerade darin liegt, dass die Fähigkeit, die Athmungsimpulse zu

unterdrücken, vermehrt wird. Dass dagegen eine Anzahl tiefer Inspirationen in gewöhnlicher oder sauerstoffreicherer Luft einen Einfluss auf dies Hemmungsvermögen sollte ausüben können, ist wohl nicht wahrscheinlich, sondern die bedeutende Steigerung der Fähigkeit, den Athem zu halten, welche unleugbar die Folge von solchen ist, hat wahrscheinlich ihre Ursache in der durch sie veranlassten Zunahme des Sauerstoffvorrathes im Blute. Je besser ventilirt und mit Sauerstoff versehen die Gewebe sind, desto länger muss es dauern, bis das Centrum zu unwiderstehlichen Respirationsimpulsen gereizt wird. Desto länger aber müssen auch die reflexhemmenden Apparate, welche ebenfalls für ihre Functionen vom Sauerstoffvorrathe abhängig sein müssen, dienstbar sein können. Man kann also meinen, dass die bessere Ventilation indirect dem Hemmungsprocesse selbst zu Gute kommt.

Neben dem rein theoretischen Interesse für das Verständniss der Entstehung der Apnoepause müsste diese Möglichkeit, die Befähigung, den Athem zu halten, in hohem Grade zu erhöhen, eine wichtige praktische Bedeutung erhalten können. Bei vielen Gelegenheiten, z. B. wenn es gilt, durch Staub oder Rauch (bei Feuersbrünsten u. s. w.) zu gehen, und vor Allem beim Tauchen dürfte dieser Umstand von Nutzen sein können.

Es will scheinen, als ob Taucher im Allgemeinen wenig wüssten von der Bedeutung für die Fähigkeit, den Athem zu halten, die in einer vorhergehenden, mehr oder weniger pünktlichen Lungenventilation liegt, und sich deshalb darauf beschränkten, mit Hülfe der Uebung die Möglichkeit, den Athem zu halten, zu erweitern, welche nach gewöhnlicher ruhiger Athmung oder im besten Falle nach einem oder einigen tiefen Athemzügen sich vorfindet. Es ist indess leicht einzusehen, dass eine Combination von Uebung mit nahezu gründlicher Lungenventilation vor jedem Versuche zu Resultaten führen muss, welche nicht unwesentlich diejenigen übersteigen, die jetzt im Allgemeinen erreicht werden.

Wie bereits vorher angedeutet, sind natürlich die individuellen Variationen auf diesem Gebiete sehr gross. Dass aber dennoch der Zuschuss in der Befähigung, den Athem zu halten, der durch das beschriebene Verfahren gewonnen wird, auffallend gross ist, dürfte aus einer Serie von Versuchen hervorgehen, die 8 Laboranten in dem hiesigen physiologischen Institut ausführten. Diese Versuche wurden in ganz derselben Weise wie die von mir oben beschriebenen angeordnet, obgleich weniger detaillirt ausgeführt.

Folgende Tabelle zeigt, wie viele Secunden die einzelnen Versuchspersonen den Athem halten konnten theils nach gewöhnlicher Athmung,

theils nach 1, 10 und 20 vorhergehenden tiefen Athemzügen, sowohl in In- wie in Expirationsstellung.

Versuchs- personen	Nach gewöhnl. Respiration		Nach 1 tiefen Inspiration		Nach 10 tiefen Inspirationen		Nach 20 tiefen Inspirationen	
	Exp.-St.	Insp.-St.	Exp.-St.	Insp.-St.	Exp.-St.	Insp.-St.	Exp.-St.	Insp.-St.
	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.	Sec.
1. (E. S.)	22.5	38	56	78	80	106	88	162
2. (K. F. H.)	25	38	42	52	60	75	70	92
3. (A. P.)	27	32	32	37	68	75	68	93
4. (K. H. G.)	28.2	33.9	32.2	66	60	88	104	97
5. (E. W.)	37.3	59.7	77.2	106	80	163	87	163
6. (G. L.)	37.9	72	51.2	72	94	120	121	185
7. (C. S.)	46.2	58.1	59	93	92	143	100	184
8. (C. W.)	71	153	103	141	135	197	158	222

(Hier folgt Fig. 7 S. 190.)

Zur Verdeutlichung dieser Werthe wird hier auch eine Berechnung von der Grösse des Zuschusses, ausgedrückt in Procenten, von den Werthen, welche bei den einleitenden Versuchen, den Athem ohne vorhergehenden tiefen Athemzug zu halten, erhalten wurden.

Nr. der Versuchs- person	Nach 10 tiefen Inspirationen		Nach 20 tiefen Inspirationen	
	Expirat.-Stell.	Inspirat.-Stell.	Expirat.-Stell.	Inspirat.-Stell.
	Proc.	Proc.	Proc.	Proc.
1	255.5	178.9	291.1	326.3
2	120	89.4	180	142.1
3	151.8	134.3	151.8	190.6
4	112.7	165.4	263.2	186.1
5	114.4	173	133.2	173
6	148	66.6	219.2	159.6
7	99.1	146.1	112.2	211.5
8	90.1	60.1	122.5	80.5

Noch anschaulicher dürfte indess die Grösse der Zunahme aus der graphischen Darstellung der Thatsache hervorgehen, wie wir sie in Fig. 7 sehen. Für jede der 8 Versuchspersonen (durch die Ziffern I bis VIII bezeichnet) sind 4 Striche gezogen, von denen zwei die Fähigkeit, nach normaler Athmung („N“) den Athem zu halten, die zwei anderen dieselbe Fähigkeit nach 20 tiefen Inspirationen („20“)

Fig. 7.

repräsentiren. Oberhalb der letzteren ist das Zunahmepercent im Verhältniss zu den ersteren angegeben. Die unterbrochenen Striche be-

zeichnen die Versuche in Expirationsstellung, die ausgefüllten die in Inspirationsstellung.

Eine Prüfung der oben angeführten Ziffern wie auch der Fig. 7 giebt an die Hand, theils dass grosse individuelle Schwankungen sich sowohl hinsichtlich der Fähigkeit geltend machen, den Athem zu halten nach gewöhnlicher normaler Respiration, wie auch in Bezug auf die Grösse der Zunahme, welche durch vorangehende Lungenventilation erhalten wird, theils auch, dass diese Zunahme in der Fähigkeit, den Athem zu halten, welche bei sämmtlichen Versuchspersonen erzielt wurde, ausserordentlich bedeutend gewesen ist. Zu bemerken ist, dass die Versuchsperson C. W., welche vorher ein geübter Taucher war, dennoch einen erheblichen Zuschuss erreichte. Nach 10 tiefen Respirationen z. B. hat die Zunahme zwischen etwa 100 Proc. und über 250 Proc. geschwankt, nach 20 kräftigen Athemzügen ist der Zuschuss über 300 Proc. der ursprünglichen Fähigkeit gestiegen.

Dass eine allgemeine Kenntniss dieses Sachverhaltes praktische Bedeutung erhalten könnte, liegt klar am Tage. So viel ich erfahren habe, ist die längste Zeit, die ein Taucher von Fach sich unter Wasser halten kann, 4 Min. 46 $\frac{1}{5}$ Sec., ein Kunststück, welches von einem „Professor“ Enoch ausgeführt worden sein soll. Richet (25) berichtet von einem Capitän James, welcher 4 Min. 14 Sec. unter Wasser blieb, und giebt auch an, dass kein Taucher den Preis von 5000 Francs hat erobern können, welcher in London demjenigen ausgesetzt war, welcher 5 Minuten unter Wasser bleiben könnte.

Da man aus vorstehenden Ziffern ersieht, dass mehrere der Versuchspersonen nach 20 tiefen Inspirationen über 3 Min. gekommen sind, und zwar bei ihren ersten Versuchen, also ohne dass die Uebung das Resultat hat beeinflussen können, erscheint es nicht unmöglich, dass eine systematische Benutzung von gründlicher Lungenventilation vereint mit Uebung höhere Werthe als diese soeben als bisher unübertroffen bezeichneten ergeben könnte.

Die eigentliche Bedeutung des Angeführten liegt indess nicht darin, dass der Weltrecord im Tauchen nach der Zeit möglicher Weise um einige Secunden erhöht werden könnte, sondern in der Leichtigkeit, mit welcher gewöhnliche Schwimmer und Taucher, die selten länger als $\frac{1}{2}$ bis 1 Min. unter Wasser aushalten können, ohne Schwierigkeit ihre Fähigkeit in dieser Hinsicht wesentlich erhöhen können.

Es ist indess nicht gut, diese Versuche mit einer allzu grossen Anzahl tiefer Inspirationen auszuführen. Schon bei etwa 20 solchen

stellen sich, individuell früher oder später, verschiedene Unannehmlichkeiten ein, wie Schwindel, Pochen in den Schläfen, flimmernde Gesichtssensationen u. s. w. Eine allgemeine Regel aufzustellen über die geeignetste Anzahl tiefer Inspirationen zur Erreichung des, praktisch genommen, grössten Gewinnes, lässt sich kaum thun, was auch aus den grossen individuellen Schwankungen hervorgeht, wie sie die Tabellen S. 319 zeigen. Am geeignetsten dürfte es sein, mit der Uhr in der Hand durch einige einfache Versuche die Anzahl tiefer Respirationen zu erforschen, welche man ohne Nachtheil ausführen kann und die nach der Berechnung die grösste verwendbare Zunahme geben. Auch wenn man sich auf 10 bis 15 tiefe Athemzüge beschränkt, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen keine der oben erwähnten Unannehmlichkeiten im Gefolge haben, wird die Zunahme auf jeden Fall höchst bedeutend, da dieselbe bei den oben beschriebenen Versuchen nach 10 Athemzügen zwischen 100 und 250 Procent der ursprünglichen Fähigkeit variirte.

Es ist von Wichtigkeit, dass die tiefen Athemzüge in ruhigem, normalem Rhythmus ausgeführt werden, so dass sie kein belästigendes Gefühl von Athemlosigkeit verursachen. Auch darf nicht vergessen werden, dass die Ausführung der tiefen Respirationen eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt, und dass es Zufälle geben kann, z. B. wenn es gilt, einen Ertrinkenden zu retten, wo man dadurch einige der werthvollsten Secunden verlieren kann. Dass indess der Gewinn grösser ist als die Zeit, welche die tiefen Athemzüge verlangen, kann man aus der Tabelle S. 319 ersehen. Wenn man die Zeit, welche 10 tiefe Respirationen erheischen, zu ungefähr 40 Secunden berechnet, findet man, dass der Unterschied zwischen dem Werthe für beispielsweise die Inspirationsstellung nach gewöhnlicher Athmung und nach zehn tiefen Inspirationen bei den Meisten höher steigt als 40 Secunden. Nach einiger Uebung dürfte mit aller Wahrscheinlichkeit der Gewinn bedeutend grösser werden.

Es dürfte zu erwähnen sein, dass ich mich, wie die acht anderen Versuchspersonen, bei diesen Versuchen vollkommen unbeweglich gehalten habe, und dass jede Bewegung in Folge des dadurch verursachten grösseren Sauerstoffverbrauches eine Beschränkung in der Grösse des Zuschusses, der durch die Lungenventilation erworben wird, im Gefolge hat.

Nachdem ich über diese Versuche und deren Resultate wegen der praktischen Bedeutung, die sie vielleicht haben können, etwas ausführlicher berichtet habe, gehe ich zum Bericht über die passive Respirationspause und deren Erklärung über.

Bereits vorher ist betont worden, dass diese Pause zum Theil als eine *Apnoea vera* aufzufassen sei.

Wie gleichfalls oben angedeutet worden, ist es gelungen, bei Thieren durch Einblasen von verhältnissmässig sauerstoffarmen Gas-mischungen Apnoe hervorzurufen. Head (21) hat sogar beim Kaninchen durch Einblasen von reinem Wasserstoffgas Apnoe erhalten, obgleich diese nur von kurzer Dauer war.

Die Ursache dieser so erzeugten Apnoe ist vor Allem in der besonders von den pulmonalen Vagusfäden ausgegangenen reflectorischen Hemmung gesucht worden.

Meine Versuchsanordnung erlaubte mir natürlich nicht, zu studiren, welchen Einfluss besonders der N. vagus oder Nerven überhaupt auf die Entstehung und Dauer der Pause haben. Dagegen vermochte ich mit Leichtigkeit zu erforschen, ob ich mit Benutzung von sauerstoffarmer Luft oder sogar Wasserstoff bei mir nach tiefen Inspirationen eine Pause erzeugen konnte.

Aus den oben beschriebenen Versuchen ist hervorgegangen, dass ich nach tiefen Athemzügen in der Luft, welche nur 10 Proc. Sauerstoff enthielt, constant eine kurze Apnoe erhielt. Ich setzte diese Versuche mit immer sauerstoffärmeren Luftmischungen fort und erhielt bei allen eine kurze Pause in Expirationsstellung unmittelbar nach den tiefen Respirationen.

Ich machte zuletzt eine Anzahl Versuche mit tiefen Inspirationen in reinem, ungemischtem Wasserstoffgas. Ich konnte bis vier derartige Versuche machen, ohne Symptome von Athemnoth zu bemerken, welche dagegen eintraten, sobald ich diese Zahl überschritt.

Bei diesen Versuchen erhielt ich ebenfalls constant eine kurze, $1\frac{1}{2}$ bis 2 Secunden lange Pause nach der letzten Expiration, bevor die Athmung in Luft zu ihrer normalen Form zurückging. Eine Variation der Länge liess sich bei dieser Pause nicht nachweisen. Verglichen mit der Länge der Pause, welche nach einer tiefen Inspiration in gewöhnlicher Luft erhalten wurde, beträgt die Länge derselben also nur ungefähr die Hälfte der letzteren.

Hieraus scheint hervorzugehen, als ob jegliche tiefe, kräftige Inspiration in irgend einer Weise stets einen Athmungsstillstand in Expirationsstellung verursacht, abgesehen von der Ventilation, und wenn dies der Fall ist, muss natürlich die Pause nach tiefen Athemzügen zum Theil auch als eine *Apnoea spuria* aufgefasst werden.

Es ist interessant zu beobachten, dass ein gewisser Zusammenhang zwischen der Ausführung von kräftigen, tiefen Respirationsbewegungen

und der Möglichkeit, überhaupt Apnoe hervorrufen zu können, zu bestehen scheint.

Zahlreiche Versuche von Fredericq (22, 23, 24), Speck und Dohmen¹ u. A. thun dar, dass Thiere, welche mit normaler Amplitude in sehr sauerstoffreicher Luft athmen, d. h. in reinem Sauerstoffgas, keine Apnoe zeigen, nur einen verlangsamten Respirationsrhythmus. Dagegen — sobald ein kräftigerer Inspirationsimpuls ausgesandt wird, so dass eine stärkere Ausdehnung der Lungen eintritt, ist es möglich, auch mit sehr sauerstoffarmer Luft, ja sogar mit reinem Wasserstoffgas Apnoe zu erzeugen. Dies scheint darauf zu deuten, dass gerade die Ausdehnung der Lungen oder vielleicht der forcirte Respirationsimpuls Bedingung für die Möglichkeit wäre, die erwähnte Athmungspause hervorzurufen.

Möglicher Weise könnte man sich den Verlauf hierbei so denken, dass entweder die reflectorische Hemmungswirkung von centripetal führenden Nerven, hervorgerufen durch die Ausdehnung der Lungen, wie Gad (14) angenommen, oder auch die forcirten Respirationsimpulse, oder vielleicht beide Momente zusammen eine verminderte Reizbarkeit des respiratorischen Centrums bewirken; in welchem Falle man sich ja denken könnte, dass auch eine unbedeutende Vermehrung des Sauerstoffgehaltes in dem arteriellen Blute hinreichend wäre, eine *Apnoea vera* als Fortsetzung der einleitenden *Apnoea spuria* zu erzeugen.

Wie es sich nun damit auch verhalten mag, so dürfte man in jedem Falle auf Grund der oben angeführten Erfahrungen zu der Behauptung berechtigt sein, dass ein Moment der *Apnoea spuria* zu dem passiven Athmungsstillstande nach tiefen Inspirationen gehört.

Die von Hoppe-Seyler ausgesprochene Ansicht, dass die Apnoe ausschliesslich durch Ermüdung des Athmungsapparates hervorgerufen wird, welche Ansicht von Rosenthal, Filehne u. A. stark bekämpft worden ist, scheint später keine Vorkämpfer mehr gefunden zu haben, und kann offenbar auch nicht mehr aufrecht erhalten werden. Es lässt sich indess nicht leugnen, dass es a priori sehr wahrscheinlich erscheint, dass es sich denken lässt, dass Ermüdung bei solchen Versuchen wie den oben beschriebenen einen gewissen Einfluss ausüben kann.

Da man weiss, welchen bedeutenden Einfluss Müdigkeit und Ermüdung auf alle Gebiete der Thätigkeit des Organismus ausüben, und

¹ Speck und Dohmen, cit. von Fredericq in (23).

wenn man bedenkt, dass eine grössere Anzahl Respirationsbewegungen von so ungewöhnlicher Amplitude wie diejenigen, welche bei den oben beschriebenen Versuchen ausgeführt worden sind, eine recht grosse und aussergewöhnliche Anstrengung für den Athmungsapparat bedeuten muss, so müsste man es sehr befremdlich finden, wenn man nicht besonders nach einer grösseren Zahl tiefer, kräftiger Respirationen Wirkungen nachweisen könnte, deren Ursache in der Müdigkeit des Athmungsapparates: des Centrums oder der Musculatur zu suchen wäre.

Um eine Vorstellung von dem Einflusse der Müdigkeit hierbei zu bekommen, habe ich einen Versuch gemacht, der indess kein directes Resultat ergab. Ich liess den ganzen Thorax mit einem starren Gips-corset umgeben, welches Athembewegungen von normaler Amplitude zulies, den Brustkorb aber daran verhinderte, sich mehr auszudehnen. Es war nun meine Absicht, eine Anzahl forcirter Respirationsimpulse anzuwenden, deren einziger Effect der werden sollte, dass sie das Centrum ermüdeten, während die Sauerstoffzufuhr nicht vermehrt werden sollte, noch die Lungen in erheblichem Grade sollten gespannt werden können. Es zeigte sich indess, dass das Ungewöhnliche in der Situation es unmöglich machte, Apnoeversuche mit nöthiger Passivität vorzunehmen. Dazu wäre es nöthig gewesen, dass ich das Gipscorset eine längere Zeit getragen hätte, so dass das Gefühl dabei eine Gewohnheit geworden wäre und also keine specielle Aufmerksamkeit in Anspruch genommen hätte.

Es erscheint mir indessen höchst wahrscheinlich, dass die Müdigkeit hierbei wirklich einen gewissen Einfluss ausübt. Dafür spricht der Umstand, dass ich stets nach einer grösseren Anzahl, mindestens 20 tiefen Athemzügen, ein specifisches Gefühl von Müdigkeit gehabt habe. Die folgenden Respirationen haben gewissermaassen grössere Anstrengung gekostet.

Aus den Untersuchungen, über welche ich in Obigem berichtet habe, scheint also hervorzugehen, dass die respiratorische Pause nach tiefen Inspirationen als eine Combination von Apnoea vera und Apnoea spuria zu betrachten ist. Sie ist zwar zum grossen Theil eine Apnoea vera, da sie offenbar ihrer Länge nach im höchsten Grade von dem Sauerstoffgehalte der eingeathmeten Luft abhängig ist; sie wird aber entschieden durch eine Apnoea spuria eingeleitet, beruhend auf Reflex oder Müdigkeit des Centrums, da auch eine tiefe Einathmung in reinem Wasserstoffgas eine, obschon kurze Pause erzeugt; und es ist wahrscheinlich, dass nach einer grösseren Anzahl tiefer Respirationen

die Müdigkeit dazu beiträgt, die Länge der Pause zu vermehren. In solchem Falle ist auch dieser Antheil der Pause als eine Apnoea spuria zu betrachten.

Litteratur.

1. Rosenthal, J., *Die Athembewegungen und ihre Beziehungen zum Nervus vagus*. Berlin 1862.
2. Thiry, L., Des causes des mouvements respiratoires et de la dyspnée. *Rec. des travaux de la sociét. médic. allem.* Paris 1865. Ref. von Rosenthal im *Centralbl. f. die med. Wissensch.* 1865. S. 611.
3. Czermak, J., Ein Experiment über die Beziehungen des Gaswechsels in den Lungen zum Athmungsbedürfnisse beim Menschen. *Centralbl. für die med. Wissensch.* 1866. Bd. IV. S. 81.
4. Hering, Paul, Einige Untersuchungen über die Zusammensetzung der Blutgase während der Apnoe. *Diss.* Dorpat 1867.
5. Pflüger, E., Ueber die Ursache der Athembewegungen, sowie der Dyspnoë und Apnoë. *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1868. Bd. I. S. 100.
6. Brown-Séquard, in *Bull. de la Soc. de Biol.* 1871. S. 135 u. 156 (cit. von Fredericq (23) und im *Arch. de Physiol. normale et pathologique*. 1872. Bd. IV. S. 202.
7. Ewald, Aug., Zur Kenntniss der Apnoe. *Arch. f. d. ges. Physiol.* 1873. Bd. VII. S. 575.
8. Filehne, W., Ueber Apnoë und die Wirkung eines energischen Kohlensäurestromes auf die Schleimhäute des Respirationsapparates und über den Einfluss beider auf verschiedene Krampfformen. *Arch. f. Anat. und Physiol.* 1873. Physiologische Abtheilung. S. 361.
9. Rosenbach, O., Zur Physiologie des Nervus vagus. *Centralbl. f. d. med. Wissensch.* 1877. S. 97.
10. Häfner, G., Ueber die Bestimmung des Hämoglobin- und Sauerstoffgehaltes im Blute. *Zeitschr. f. physiol. Chem.* 1879. Bd. III. S. 1.
11. Hoppe-Seyler, F., Ueber die Ursache der Athembewegungen. Ebendas. S. 105.
12. Filehne, W., Ein Beitrag zur Physiologie der Athmung und der Vasomotion. Nachtrag. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1879. Physiol. Abtheil.
13. Rosenthal, J., Die Physiologie der Athembewegungen und der Innervation derselben. *Hermann's Handbuch*, 1880. IV. S. 163.
14. Gad, J., Ueber Apnoë. Würzburg 1880.
15. Bieletsky, N. F., Zur Frage über die Ursache der Apnoe. *Biol. Centralbl.* 1882.
16. Knoll, Ph., Athmung bei Erregung der Vaguszweige. *Wien. Akad. Sitzungsber.* 1884. LXXXIII. 3.

17. Miescher-Rüsch, F., Bemerkungen zur Lehre von den Athembewegungen. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1885. Physiol. Abth.; wie F. Holmgren's Referat in *Upsala Läkaref. förhandl.* 1885. Bd. XXI. S. 184.
 18. Mosso, Angelo, Periodische Athmung und Luxusathmung. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1886. Physiol. Abth.
 19. Marckwall, Max, Die Athembewegungen und deren Innervation beim Kaninchen. *Zeitschr. f. Biol.* 1887. Bd. XXIII.
 20. Franck, C., und Langendorff, O., Ueber die automatische Thätigkeit des Athemcentrums bei Säugethieren. *Arch. f. Anat. u. Physiol.* 1888. Physiol. Abth.
 21. Head, On the regulation of respiration. *Journal of Physiology.* 1889.
 22. Fredericq, Léon, Ueber die Tension des Sauerstoffes im arteriellen Peptonblut bei Erhöhung derselben in der eingeathmeten Luft. *Centralbl. f. Physiol.* 1894. Bd. VIII. S. 34.
 23. Derselbe, Apnée. *Dictionnaire de Physiologie* par Ch. Richet 1895. T. I. S. 630.
 24. Derselbe, L'augmentation de la tension de l'oxygène peut-elle produire l'apnée? *Arch. de Biol.* 1895. XIV. S. 119.
 25. Richet, Ch., Asphyxie. *Dictionnaire de Physiol.* par Ch. Richet 1895. T. I. S. 728.
-