

## XXII.

# Ueber einen Versuch, die Spannung der Luft in der Trachea des lebenden Menschen zu messen.

Aus dem Krankenhause der jüdischen Gemeinde in Berlin, Abtheilung  
des Herrn Sanitätsrathes Dr. Lazarus.

Von Dr. E. Aron, Assistenten.

(Hierzu Taf. XV.)

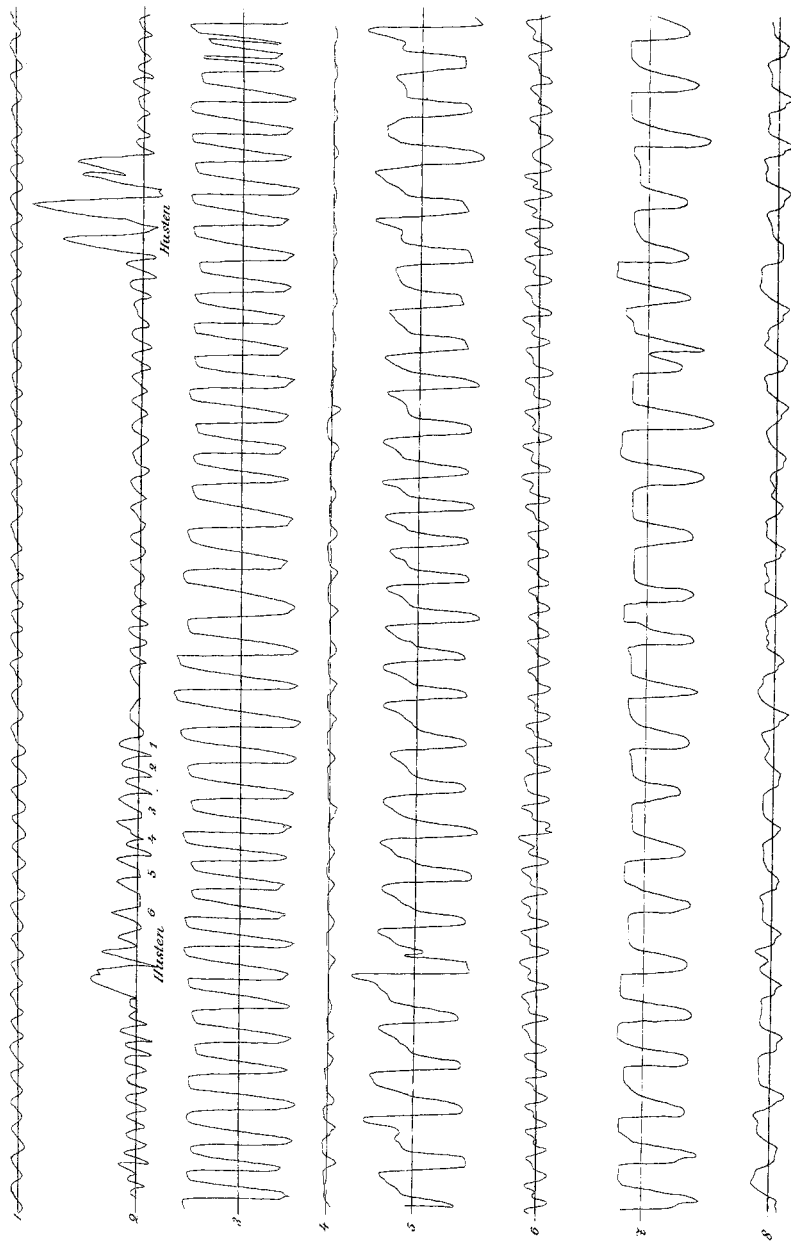
Wenn man versucht, in die Druckschwankungen der Luft im Respirationstractus bei der Athmung Einblick zu gewinnen, so wird man sehr von einander abweichende Resultate erhalten, je nach dem ob man diese Untersuchung nach Abschluss der Luftwege nach aussen anstellt, oder ob man diesen Verschluss der Luftwege nach aussen vermeidet, beziehungsweise unmöglich macht. Die Zahlen, welche man nach der ersten dieser beiden Methoden erhält, werden uns Aufschluss geben können über die Grenzwerte der Kraft der Athemmuskulatur, abgesehen von einigen nicht eben unbedeutenden Fehlern, welche durch die Versuchsanordnung bedingt sind, wie Waldenburg<sup>1)</sup>, Donders<sup>2)</sup> u. a. m. dies eingehend erörtert und nachgewiesen haben, während die Werthe, welche man nach der letzten Methode bekommt, uns Belehrung zu Theil werden lassen über die physiologischen Druckschwankungen im Athmungskanal bei der Respiration selbst. Auf die Versuche und Versuchsanordnungen, mittelst deren man die Kraft der Athemmuskulatur zu studiren versucht hat, will ich nicht näher eingehen. Waldenburg<sup>1)</sup> hat dieselben einer eingehenden Kritik unterworfen.

Ich habe den Versuch gemacht, am lebenden Menschen eine Messung der Druckschwankungen der Luft in der Trachea anzustellen, wie diese durch die Athmung bedingt werden, ferner

<sup>1)</sup> Waldenburg, Die pneumatische Behandlung. Berlin 1880.

<sup>2)</sup> Donders, Physiologie des Menschen. Leipzig 1859. Bd. I. S. 417.

—



auch über Aenderungen dieser Druckschwankungen bei einigen physiologischen Vorkommnissen des täglichen Lebens, z. B. Husten, Sprechen.

Um diese Versuche ausführen zu können, bedarf es nur sehr einfacher Apparate, eines Manometers mit Schwimmer und Zeichenfeder und einer rotirenden Trommel mit einem Papierstreifen, auf dem jene Zeichenfeder die manometrischen Schwankungen graphisch darstellt. Die von uns erhaltenen Curven sind sämmtlich von rechts nach links zu lesen.

Als Versuchsobjecte benutzte ich tracheotomirte Patienten, welche eine Canüle tragen. Führt man jenen eine gefensterter Canüle ein, und fügt man in diese einen gut passenden, durchbohrten Kork, in dem sich ein Glasrohr befindet, so kann man diese Glasröhre mit dem Manometer mittelst eines Gummischlauches in Verbindung bringen, während der Patient durch das Fenster der Canüle ungehindert athmet. Es hat also gar keine Schwierigkeiten auf diese Weise, sich Klarheit über die Druckschwankungen der Luft in der Trachea des lebenden Menschen zu verschaffen.

Bei Thieren hat Kramer<sup>1)</sup> sich annähernd der gleichen Versuchsanordnung bedient, während bei Menschen, so weit mir bekannt, die gleiche Methode bisher noch nicht Anwendung gefunden hat. Donders<sup>2)</sup> meint sogar, dass es unmöglich sei, diese Versuchsanordnung auch auf den Menschen zu übertragen.

Beim Menschen hat man versucht, auf andere Weise diese Frage zu studiren. Donders<sup>3)</sup> brachte bekanntlich ein Manometer luftdicht mit einem Nasenloch in Verbindung, während durch das andere geathmet wurde. Rosenthal<sup>4)</sup> macht bereits darauf aufmerksam, dass bei diesem Versuche die Respirationsöffnung auf die Hälfte ihrer normalen Weite verengt werde. Er meint, dass der von Donders gefundene Werth durch diesen Umstand beeinflusst wohl etwas zu gross sein dürfte. Donders fand für die Expiration 7—8, für die Inspiration 9—10 mm

<sup>1)</sup> Kramer, Haeser's Archiv. Bd. IX. 1847. S. 321.

<sup>2)</sup> Donders, Physiologie des Menschen. Leipzig 1859. Bd. I. S. 417.

<sup>3)</sup> Donders, Zeitschrift für rat. Med. Bd. III.

<sup>4)</sup> Rosenthal, Handbuch der Physiologie von Hermann. Bd. II. S. 222. Leipzig 1882.

Wasser. Andere haben das Manometer mit der Mundhöhle in Verbindung gebracht. Aber auch auf diese Weise wird man nicht zu exacten Resultaten gelangen können, da die Mundhöhle selbst vermittelt ihrer willkürlichen Musculatur störend einwirken kann, abgesehen von dem Umstande, auf welchen bereits Valentin<sup>1)</sup> hinweist: „Athmet ein Mensch durch ein Mundstück, das zu einem Widerstand darbietenden Behälter führt, so übt er unwillkürlich einen stärkeren Druck aus, als wenn diese Hindernisse wegfallen. Man erhält daher meist an allen Arten Manometern zu grosse Werthe.“

Lässt man die Unzulänglichkeiten aller dieser Versuche unberücksichtigt, so wäre es interessanter und wichtiger zu eruiren, wie gross die Druckschwankungen der Luft in der Trachea unterhalb des Larynx sind, da wir, wenn wir diese hier zu messen im Stande sind, auch die annähernden Werthe kennen, welche in den Bronchien und weiterhin wohl auch in den Alveolen der Lunge *ceteris paribus* Geltung haben, natürlich nur in solchen, welche nicht durch Erkrankungen und Schwellungen der Schleimhaut oder tieferer Theile der Lunge abnormen Bedingungen unterliegen und von der freien Communication mit den Bronchien und der Trachea ausgeschlossen sind. Denn dass die Gasspannung unterhalb des Kehlkopfes eine andere sein muss, als oberhalb desselben in der Mundhöhle oder in der Nase oder im Pharynx, war a priori zu erwarten. Rosenthal<sup>2)</sup> spricht das ganz präcis aus: „Da die Glottis die engste Stelle des Respirationstractus ist, so müssen die Druckschwankungen unterhalb derselben viel erheblicher sein, als oberhalb.“ Ob und in wie weit das zutrifft, werden wir kennen zu lernen Gelegenheit haben.

Jedenfalls scheint es mir, als ob der von mir eingeschlagene Weg auch noch den besonderen Vorzug hat, dass er die Willkür und den Willen des betreffenden Individuums in viel vollkommenerer Weise ausschaltet, als dies bisher möglich war, ohne indessen dies gänzlich zu erreichen. Wenn das Individuum durch seine Musculatur des Mundes, der Nase und des

<sup>1)</sup> Valentin, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Braunschweig 1847. Bd.I. S.530.

<sup>2)</sup> Rosenthal, a. a. O.

Kehlkopfes nicht mehr in der Lage ist (wir messen ja unterhalb dieser), die Druckschwankungen der Luft im Trachealbaum zu beeinflussen, so stehen ihm allerdings noch genug willkürliche Athemmuskeln zur Verfügung, mittelst derer er die Athmung willkürlich beeinflussen kann, ein Theil derselben kommt jedoch in Wegfall. Wenn wir also nicht immer constante und übereinstimmende Zahlen erhalten werden, so werden wir uns erinnern müssen, dass die Athmung auch unter den normalsten Verhältnissen eine sehr wechselnde, dem Willen unterworfen ist. Wir werden also zu dem Mittel greifen müssen, welches auch sonst oft genug in der Physiologie angewendet werden muss, nemlich aus einer grösseren Reihe von Beobachtungen Mittelzahlen zu berechnen; absolute Zahlen anzugeben werden wir nicht im Stande sein.

Dann sehe ich mich noch gezwungen, darauf aufmerksam zu machen, dass mir zu meinen Versuchen nicht völlig normale Individuen (natürlich abgesehen von der Trachealfistel) zur Verfügung standen, wenn auch unser drittes Versuchsobject den normalen Verhältnissen sehr nahe kommen mag. Ich veröffentliche also meine Zahlen mit einer gewissen Reserve.

Ich stellte meine Untersuchungen bei drei Patientinnen an, von denen ich die erste und dritte auf der Abtheilung meines Chefs, des Herrn Sanitätsrathes Dr. Lazarus, zu beobachten Gelegenheit hatte, während die zweite Patientin von ausserhalb mich zu diesen Versuchen zuweilen besuchte. Herrn Dr. Lazarus erlaube ich mir für die Erlaubniss zu diesen Untersuchungen, sowie für sein Interesse für dieselben meinen aufrichtigsten Dank an dieser Stelle auszusprechen.

Die erste Patientin war ein 18jähriges Mädchen, welches Anfangs October 1891 in Riga wegen hochgradiger Athemnoth tracheotomirt worden war. Sie ist 139 cm gross. Ihre Lungen sind anscheinend völlig normal. An ihrem Larynx findet sich auch noch jetzt (December 1891) nach der Operation eine nicht unbeträchtliche Schwellung beider Taschenbänder und in geringerem Maasse der Aryknorpel, welche ursprünglich möglicherweise noch hochgradiger gewesen sein mag und so die Ursache für den Luftröhrenschnitt abgegeben zu haben scheint. Von Ulcerationen oder Tumorenbildung ist im Larynx nichts zu sehen.

Patientin ist sehr kräftig gebaut und wohlgenährt und an ihr nichts von irgend einer sonstigen Organerkrankung nachzuweisen. Das einzig Auffallende an ihr ist die nicht ganz geringe, dauernde, wenn auch hinsichtlich der Zahl grossen Schwankungen unterworfen, beschleunigte Respiration, welche hinsichtlich der Frequenz um 30 und mehr variirt. Mangels sonstiger nachweisbarer Ursachen muss man zur Erklärung der frequenten Athmung wohl auf rein nervöse Einflüsse recurriren. Der Zustand der Patientin hatte sich allmählich während ihres Aufenthaltes im Krankenhause, leider aber nur vorübergehend, so weit gebessert, dass bei ihr die Trachealkanüle seit dem 20. December stundenweise ohne Beschwerden verschlossen werden konnte, einmal sogar auf volle 48 Stunden hinter einander, abgesehen von wenigen vorübergehenden Entfernungen des Verschlusses der inneren Canüle zur Reinigung derselben. Anfangs Januar 1892 verliess Patientin aus äusseren Gründen die Anstalt, ohne dass es möglich gewesen wäre, ihr die Canüle abzugewöhnen.

Das zweite tracheotomirte Individuum, das ich zur Bestimmung des intratrachealen Druckes benutzen konnte, war eine schwindsüchtige, 28jährige, 158 cm grosse Frau, welche Anfangs Mai 1891 von mir auf der Abtheilung wegen hochgradiger Dyspnoe in Folge bedeutender Schwellungszustände im Larynx auf tuberculöser Basis tracheotomirt worden war. Seit jener Zeit hatte sich das Oedem des Larynx nicht unbeträchtlich zurückgebildet und Patientin selbst sich nicht unbedeutend erholt und an Körpergewicht zugenommen, so dass Patientin im September 1891 das Krankenhaus verlassen konnte. Die Lungenaffection hatte in der Zwischenzeit nur geringe Fortschritte gemacht. Patientin athmet gleichmässig und langsam, 24—26 Mal in der Minute<sup>1)</sup>.

Die dritte Patientin, welche ich zu meinen Zwecken verwenden konnte, war ein kleines Mädchen von 3 Jahren, das von mir am 15. Februar wegen Diphtheritis tracheotomirt worden war. Am 19. Februar war das Befinden der kleinen Patientin und der Krankheitsverlauf ein so günstiger, dass ich eine ge-

<sup>1)</sup> Seit Anfang Februar 1892 soll sich das Befinden der Patientin wiederum in ziemlich acuter Weise verschlechtert haben, so dass mich Patientin (sie wohnt ausserhalb Berlins) nicht weiter besuchen kann. Ich musste also bis auf Weiteres die Untersuchungen einstellen.

fensterte Canüle einlegen durfte und mit meinen Versuchen beginnen konnte<sup>1)</sup>. Dass diese Experimente bei der Jugend des Versuchsobjectes besonders zuerst auf einige Schwierigkeiten stiessen und einige Geduld erforderten, darf ich wohl erwähnen. Ist es doch nach noch so kurzer Zeit meist nicht gerade leicht, besonders sehr junge Kinder wieder daran zu gewöhnen, durch den Mund zu athmen. Auch in unserem Falle löste das Verstopfen der gefensterten Canüle anfangs oft genug Hustenattaquen aus, und wehrte sich das Kind gegen die Verstopfung der Canüle. Sehr bald jedoch liess sich die Kleine diese Versuche recht gut gefallen. Immerhin dürfte es wohl berechtigt sein, gerade auf die Resultate, welche bei dieser Versuchsreihe erhalten wurden, besonderen Werth zu legen, da die Athmungsorgane und auch der übrige Organismus nach Erlöschen der Diphtheritis als annähernd normal betrachtet werden darf, und also auch die Zahlen, welche wir hierbei für den intratrachealen Druck erhalten haben, am meisten sich der Norm nähern werden.

Die Fehlerquelle, welche durch die Tracheotomie als solche etwa gesetzt worden ist, wird bei unserer Versuchsanordnung wohl so gut wie gänzlich in Wegfall kommen, da wir zum Zwecke unserer Druckbestimmungen die Canüle selbst luftdicht verschliessen und das Individuum durch das Canülenfenster per vias naturales athmen lassen.

Ich habe mich zu meinen Untersuchungen sowohl eines Quecksilber- wie eines Glycerin-Manometers bedient. Mit beiden habe ich recht brauchbare Resultate erzielt, doch muss man mit dem Glycerin-Manometer einigermaassen aufpassen, da es sich sonst leicht ereignen kann, dass bei plötzlichem Husten des betreffenden Versuchsobjectes der Inhalt des Manometers sammt Schwimmer und Zeichenfeder herausgeschleudert wird. Trotz dieser Unbequemlichkeit habe ich auf die Anfertigung von Curven mittelst des Glycerin-Manometers nicht ganz verzichtet, da diese bei einem langsam athmenden Individuum, wie besonders bei unserer zweiten Patientin, sehr instructiv ausfallen, instructiver vielleicht als die relativ niedrigen Bilder des Quecksilber-Manometers. Bei der ersten Patientin freilich geht die Athmung

<sup>1)</sup> Am 5. März konnte Patientin geheilt entlassen werden.

so schnell von statten und werden daher die Glycerincurven (wenn ich so der Kürze wegen sagen darf) so steil, dass diese weniger lehrreich sind. Bei unserer dritten Patientin endlich liessen mich die unvermittelt auftretenden Hustenstösse von dem Glycerin-Manometer abstrahiren.

Die Inspiration wird durch den absteigenden, die Exstirpation durch den aufsteigenden Schenkel der Curve dargestellt. Beide kreuzen die Nulllinie ganz regelmässig. Die Inspirationscurve geht unter spitzem Winkel, also plötzlich, in die Exspiration über, die Exspiration in die folgende Inspiration im Allgemeinen mehr stumpfwinkelig, also allmählich. Bei diesen Curven hat man an dem Inspirationswinkel meist zwei Theile zu unterscheiden, den ersten mehr horizontalen, beziehungsweise bereits etwas absteigenden, während dessen die Druckherabsetzung in der Trachea langsamer verläuft, und den zweiten steileren, der der folgenden Inspiration voraufgeht. Oft genug freilich zerfällt dieser Schenkel — fast constant bei unserer dritten Patientin — durch eine eingeschaltete, kleinere Zacke direct in zwei präcis getrennte Abschnitte. Die Inspiration erfolgt also dann in zwei Absätzen, zwischen welche eine kleine expiratorische Drucksteigerung eingeschaltet ist. In anderen Fällen hingegen, wie besonders häufig bei der ersten Patientin geht die gesamte Inspiration mehr gleichmässig und langsam von Statten, was durch den weniger steilen Verlauf des Inspirationschenkels an der Curve versinbildlicht wird. Die Exspiration dagegen geht in allen drei Fällen schneller und continuirlich vor sich, ein Umstand, der sich an unseren Curven durch die steil aufsteigende, ununterbrochene Linie ausprägt. Mit den mir zur Verfügung stehenden Manometern war es mir nicht möglich, den Einfluss der cardiopneumatischen Bewegung auf die intratrachealen Schwankungen der Luft mit einiger Sicherheit zur Darstellung zu bringen, wenn sie auch vielleicht hie und da eben angedeutet zu sein scheint, zweifle jedoch nicht, dass dies mit empfindlicheren Instrumenten, vielleicht mit einer Marey'schen Luftpapsel, gelingen muss.

Hustenstösse beeinflussen den Druck innerhalb der Luftröhre in so hohem Maasse, dass ich dieselben nur auf den Quecksilbercurven darstellen konnte. Die Einwirkung des Sprechens, z. B.



Zählens, auf jenen konnte ich sowohl mit dem Quecksilber- als auch dem Glycerin-Manometer sich aufzeichnen lassen.

Beim Husten erhielt ich als Durchschnittszahlen bei der vorausgehenden Inspiration  $-6$  mm Hg, bei der Expiration  $+46,13$  mm Hg. Beim Zählen bekam ich als Werthe beim Aussprechen des Wortes Eins, bei der Inspiration  $-2,2$ , bei der Expiration  $+6,1$  mm Hg, bei Zwei  $-6,0$  und  $+6,0$ , bei Drei  $-6,0$  und  $+7,0$ , bei Vier  $-2,0$  und  $+7,2$ , bei Fünf  $-5,6$  und  $+8$  mm Hg u. s. w. Selbstredend werden die beim Sprechen sich ergebenden Werthe nicht allein von der Art des ausgesprochenen Wortes abhängen, sondern vor Allem auch von der Stärke und Kraft, mit welcher dasselbe hervorgebracht wird.

Bei gewöhnlicher, ruhiger Athmung ergaben sich als Mittelwerthe aus 192 Einzelmessungen bei Patientin Eins für die Inspiration  $-3,49$ , für die Expiration  $+3,17$  mm Hg, bei Patientin Zwei aus 112 Einzelmessungen für die Inspiration  $-2,08$ , für die Expiration  $+1,23$  mm Hg, bei Patientin Drei aus 128 Einzelmessungen für die Inspiration  $-6,65$ , für die Expiration  $+6,29$  mm Hg.

Thatsächlich dürften die Zahlen der intratrachealen Druckschwankungen noch um ein Geringes grösser sein, als wir sie mit unserer Methode finden konnten, da wir ja nur im Stande waren, den Seitendruck der Gasspannung innerhalb der Trachea bei der Athmung zu bestimmen, nicht den intratrachealen Druck selbst.

Im Allgemeinen ist die intratracheale Druckschwankung bei der Inspiration eine grössere als diejenige der Expiration. Diese Zahlen differiren also in ganz bedeutender Weise von denen Donders, welcher, wie wir gesehen haben, für die Inspiration nur  $9-10$  mm Wasser und für die Expiration  $7-8$  mm Wasser angegeben hat. Wir werden dieses bemerkenswerthe Resultat wohl am besten mit der von Rosenthal vermutheten Annahme erklären, wonach die Druckschwankungen unterhalb der engsten Stelle des Athmungskanals, unterhalb der Glottis, viel beträchtlicher sein müssen, als oberhalb derselben.

Mittelzahlen aus je 16 Messungen.

Patientin I.				Patientin II.				Patientin III.			
Datum.	Insp. mm Hg.	Exsp. mm Hg.	Zahl <sup>1)</sup> d. Resp.	Datum.	Insp. mm Hg.	Exsp. mm Hg.	Zahl <sup>1)</sup> d. Resp.	Datum.	Insp. mm Hg.	Exsp. mm Hg.	Zahl <sup>1)</sup> d. Resp.
14. Decbr. 1891	-4,19	+5,02	36	22. Decbr. 1891	-3,52	+1,54	18	19. Febr. 1892	-8,11	+6,95	29½
15. -	-4,71	+4,89	35½	-	-2,33	+1,40	21½	20. -	-8,26	+9,86	40½
17. -	-4,12	+2,45	46½	8. Jan. 1892	-2,11	+1,31	20½	21. -	-8,15	+5,29	37
17. -	-2,35	+1,94	43	-	-1,09	+0,70	21	22. -	-2,54	+1,93	51
18. -	-2,66	+1,90	48	-	-1,15	+1,15	16	23. -	-13,19	+12,93	42
18. -	-3,82	+3,57	40	3. Febr. -	-1,82	+1,43	23	(Febr.)			
19. -	-3,54	+3,34	38	-	-2,52	+1,10	25½	24. Febr. 1892	-4,69	+5,37	33
21. -	-5,33	+6,67	43					25. -	-2,54	+1,96	33½
23. -	-2,54	+2,42	31½					26. -	-5,70	+6,00	23½
27. -	-2,80	+1,79	34½								
27. -	-1,66	+1,75	29½								
28. -	-3,22	+2,29	31								
Mittelwerte aus 192 Messungen	-3,49	+3,17		Mittelwerte aus 112 Messungen	-2,08	+1,23		Mittelwerte aus 128 Messungen	-6,65	+6,29	

<sup>1)</sup> Als Zeiteinheit wurde die Zeit gewählt, welche dazu erforderlich war, um den Papierstreifen, auf dem die Curven gezeichnet wurden, 15 cm von der Trommel abzuwickeln.

Während sich obige Arbeit bereits im Drucke befand, hatte ich noch Gelegenheit bei zwei weiteren tracheotomirten Individuen, einem kleinen Mädchen von 8 Jahren und einem Knaben von  $4\frac{1}{2}$  Jahren, welche wegen Diphtheritis zur Operation gekommen waren, nachdem die gefensterter Kanüle hatte eingelegt werden können, Messungen des intratrachealen Druckes vorzunehmen. Aus 16 Einzelmessungen am 24. April bei dem 8jährigen Kinde erhielt ich als Mittelzahlen für die Inspiration  $-1,94$  mm Hg und für die Expiration  $+0,72$  mm Hg. Patientin athmete völlig frei und gleichmässig. Die Zeichnung (s. Tafel 7) wurde nicht durch Hustenstösse gestört. Die Curve stimmt im Princip mit den früher erhaltenen der anderen Versuchsobjecte vollkommen überein, wenn sie auch natürlicherweise individuelle Unterschiede aufweist.

Bei dem Knaben hingegen blieb die Athmung noch relativ lange nach der Operation eine angestrenzte und abnorme. Die Zahlen, welche wir bei den Messungen dieser Curven (s. Tafel 8) bekamen, waren dementsprechend auch recht bedeutend grösser als in den übrigen, früheren Fällen. Es ergaben sich als Mittelzahlen aus je 16 Einzelmessungen

	für die Inspiration	für die Expiration
am 25. Mai	$-3,3$	$+2,95$ mm Hg.
- 26. -	$-4,75$	$+3,5$ - -
- 27. -	$-4,0$	$+4,1$ - -
Mittel aus 48 Messungen	$-4,0$	$+3,5$ mm Hg.

## Erklärung der Abbildungen.

Tafel XV.

Patientin I: 1. und 2. Curve mit Hg-Manometer gezeichnet. Auf Curve 2 der Einfluss von Husten und des Zählens (1—6) sichtbar.

3. Curve mittelst Glycerin-Manometer gezeichnet.

Patientin II: 4. Curve mit Hg-Manometer.

5. Curve mit Glycerin-Manometer aufgenommen.

Patientin III: 6. Curve mittelst Hg-Manometer.

Patientin IV: 7. Curve mit Hg-Manometer erhalten.

Patient V: 8. Curve mit Hg-Manometer.