

VI.

Experimentelle Untersuchungen der normalen und pathologisch beeinflussten Druck- schwankungen im Brustkasten.

Von

Dr. med. Theodor Büdingen in Freiburg i. B.

(Mit 17 Abbildungen im Text.)

Die Lösung des technischen Problems einer directen Bestimmung der normalen Druckschwankungen im Brustkasten des lebenden Thieres muss an folgende Fragen anknüpfen: Wie kann eine diesem Zwecke dienstbare Canüle in den Raum zwischen Brustwand und Lunge ohne Verletzung der letzteren und ohne Herstellung eines Pneumothorax eindringen? Wie ist es möglich, die innere Mündung dieser Canüle bei den Bewegungen der inspiratorisch sich vorwölbenden Lunge offen zu erhalten? Auf welche Weise lässt sich eine derartige mit einem Manometer oder Schreibapparate communicirende Canüle trotz Hebungen und Senkungen der Brustwand in unveränderlicher Stellung zur Lunge fixiren? Bevor ich zur Schilderung des von mir construirten Apparates übergehe, welchem die Beseitigung der angedeuteten Schwierigkeiten gelang, erscheint es angezeigt, der bisherigen Methoden zur Bestimmung des Druckes im Brustkasten zu gedenken. — Bekanntlich legt sich die Lunge unter dem Drucke der atmosphärischen Luft der Wandung der luftleeren Brusthöhle an, während die Elasticität ihres gedehnten Gewebes sie zu contrahiren strebt. Diese Tendenz findet ihren Ausdruck in einem im Brustraum herrschenden unter-atmosphärischen, sogenannten negativen Drucke, welcher, um die Donders'sche Erklärung zu wiederholen, um so viel kleiner ist, als der atmosphärische, wie die Elasticität der Lunge beträgt. Erschlossen wurde dieser Druck zunächst von James Carson, am schärfsten formulirt und durch eine bessere Methode

festgestellt von Donders. Dieselbe ist, wie bekannt, eine indirecte und versagte daher beim lebenden Thiere.

Zur Erzielung einer directen manometrischen Bestimmung der Druckschwankungen führte Ludwig 1847 eine mit einem Wassermanometer in Verbindung gebrachte Sonde in die Brusthöhle ein. Dieselbe war an ihrem Ende mit einer mit Wasser gefüllten Kautschukblase versehen. Seit dieser Zeit wurden eine Reihe von anderen Vorschlägen zur Ausführung gebracht, welche in der trefflichen Arbeit von Heynsius¹⁾ über die Grösse des Thoraxdruckes bei ruhiger Athmung eine erschöpfende Kritik erfahren. Heynsius leitete an frischen Thierleichen (Hund oder Kaninchen) eine Art von künstlicher Athmung ein, indem er nach Oeffnung der Bauchhöhle das Zwerchfell durch einen Gehülfen bis zur Aufnahme der erforderlichen Luftmenge herabziehen liess, welche in genauer Dosirung durch einen mit der Trachea in Verbindung stehenden Apparat unter Luftdruck eingesaugt werden konnte; und zwar bestimmte Heynsius das einzusaugende Luftquantum einmal nach dem Gewichte des Thieres unter Zugrundelegung der Erfahrung, dass ein Mensch von 72 kg Gewicht durchschnittlich 500 ccm einathmet, oder nach dem Ausfalle der spirometrischen Untersuchung, welche er zuvor an dem betreffenden lebenden Thiere vorgenommen hatte. Nach Abschluss dieser künstlich eingeathmeten Luftmenge wurde die Brusthöhle eröffnet und der Donders'sche Druck notirt. Daraus, dass Heynsius sich zu einer solchen umständlichen indirecten Methode bequeme, ist zu entnehmen, wie wenig er von der directen Bestimmung hielt. In der That stehen derselben eine Reihe von Heynsius klar erkannter, oben geschilderter Schwierigkeiten im Wege.

Von den nach der Publication von Heynsius bekannt gegebenen Apparaten ist in erster Linie die Mediastinalcanüle von Knoll zu erwähnen, welche ursprünglich zur Bestimmung der Volumschwankungen angegeben wurde. Dieselbe besteht aus Metall und endigt mit einer scharfen Stahlspitze. Ihr Hohlraum mündet nach aussen durch ein weites, auf der convexen Seite des Röhrchens angebrachtes Fenster²⁾. Sie wird auf der einen Seite des Sternum ein-, die Spitze auf der anderen Seite wieder herausgestossen. Das Fenster kommt dabei in den Herzbeutel zu liegen. Unfraglich lassen sich damit Druckbestimmungen ausführen, aber nicht bei allen Thieren, sondern nur bei solchen, deren Pericard der Brustwand anliegt und nicht wie

1) Pfüger's Archiv. Bd. XXIX. 1881.

2) Langendorff, Physiologische Graphik 1891.

z. B. bei Hunden durch die vorn zusammenstossenden beiderseitigen Pleurablätter überdeckt ist, so dass eine Verletzung der Lunge unvermeidlich ist.

Das ist der eine Nachtheil, der andere besteht darin, dass mittelst dieser Mediastinalcanüle allerdings der im Mediastinum herrschende, durch den Einfluss beider Brusthöhlen bedingte Druck, nicht aber derjenige einer jeden Seite für sich ermittelt werden kann, was unter pathologischen Verhältnissen von allergrösster Wichtigkeit ist. Auf andere Weise suchte Meltzer den Druck im Thorax zu bestimmen. Er geht bei Kaninchen und Hunden mit einem Katheter in die eröffnete hintere Wand der Speiseröhre ein, ein Weg, der von retropharyngealen Abscessen benutzt wird, schiebt den Katheter hinter und parallel dem Oesophagus nach unten und kommt in das hintere Mediastinum. Je nach der Tiefe des Eindringens erhält er verschiedene von oben nach unten zunehmende Druckwerthe und schliesst daraus, dass in den verschiedenen Abschnitten und dementsprechend auch in der Pleurahöhle thatsächlich ein verschiedener Druck herrsche, welcher z. B. in der Nähe der Lungenspitze am geringsten sei und die Disposition derselben zur Tuberculose bedinge. Derartige Unterschiede konnten, wie gleich hier bemerkt sein soll, bei Einführung meines Apparates in verschiedene Intercostalräume nicht gefunden werden. Weiterhin empfahl Meltzer zur Controle des negativen Druckes eine von ihm erfundene, in der Zeitschrift für Instrumentenkunde publicirte Pleuracantüle. Das Abweichende von anderen Cantülen besteht in der Anbringung zweier zum Cantülenlumen concentrischer Scheiben, von denen die eine gegen die andere verschieblich ist. Die eine wird mit dem Cantülenende in die Brusthöhle eingeführt, die andere presst gegen die äussere Brustwand, so dass ein luftdichter Abschluss entsteht. Wie jedoch der Apparat ohne Eindringen von Luft eingeführt werden soll, ist aus der Beschreibung nicht ersichtlich.

Unzweifelhaft lässt er sich dagegen zur Herstellung eines Pneumothorax verwerthen und dürfte bei Beobachtung desselben gute Dienste leisten. Ich komme nun zur Beschreibung meines Apparates.

Der Thoraxdruckmesser) (s. Abbildung).*

Derselbe besteht aus einer Troicarhülse *a* mit schräg zugeschnittener, scharf zulaufender Spitze *b*. Das andere Ende der Hülse ist

*) Anmerkung: Der Apparat wurde nach meinen Angaben in sorgfältigster Weise von Herrn Instrumentenmacher Fischer, Kaiserstr. Freiburg i. Br. angefertigt.

festgelöthet an die Kapsel *c*. In der Hülse befindet sich ein beweglicher, hohler, 2 mm dicker Bolzen *d*, der vorne zwei Fenster *e* hat und hinten zwei längliche Öffnungen *f*, welche der Höhe des mit der Hülse verbundenen Hahnes *g* entsprechen. Ueber die Endröhre des Halses wird ein Gummischlauch gezogen, der wiederum mit einem Manometer oder einem Schreibapparate verbunden ist.

Durchschnitt.

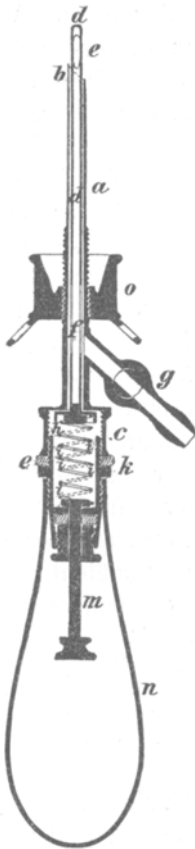


Fig. 1.

Auf die Endplatte *h* des Bolzens drückt eine in der Kapsel liegende Spirale *i* bei aufgeschraubtem Kapseldeckel *k* an. Für luftdichten Abschluss ist durch Einschaltung eines platten Lederringes *l* Sorge getragen. Beim Einstechen des Apparates in die Brustwand weicht der Bolzen zurück, während die Spitze der Troicarthülse zur Wirkung kommt. Sobald diese die Pleura costalis angeritzt hat, springt der Bolzen vor, drängt die Lunge zurück und schützt sie dadurch vor Verletzung. Damit die Fenster des Bolzens durch die sich bewegende Lunge nicht in die Hülse zurückgeschoben, die Communication mit der Brusthöhle also nicht aufgehoben werden kann, wurde ein mitten durch den Kapseldeckel gehender, verschieblicher Stengel *m* angebracht, welcher, niedergedrückt, den Weg durch die Spirale nimmt und auf die Endplatte des Bolzens zu stehen kommt. Später erwies sich diese Vorrichtung als überflüssig, weil der durch die Spirale niedergehaltene Bolzen einen Druck von 250 g, ohne zurückzuweichen, aushält, d. h. einen Druck, der höher ist, als er je innerhalb der Pleurahöhle auftritt. Als Handgriff beim Einstechen dient die auf den Kapseldeckel aufgesetzte hohle, abschraubbare Hülse *n*. Ausserdem ist noch die um die Troicarthülse *a* drehbare Kapsel *o* vorgesehen. Sie ermöglicht, dass je nach ihrer Einstellung der Apparat tief oder weniger tief in die Brusthöhle eingebracht

und unveränderlich festgehalten werden kann. Ferner dient sie durch ihre Füllung mit Lanolin dem luftdichten Abschlusse.

Gebrauchsanweisung. Was die Einführung des Thoraxdruckmessers anlangt, so gelten folgende Regeln. Zuerst wird ein Hautschnitt an einer, keiner der interlobären Lungenfurchen entsprechenden Stelle eines Intercostalraumes gemacht, der Bolzen des

Thoraxdruckmessers auf seine schnellende Kraft geprüft, die Kapsel mit Lanolin gefüllt, möglichst dem Bolzenende genähert und dieses in eine Lösung von schwefelsaurer Magnesia getaucht, wodurch der Verschluss der an ihm befindlichen Fenster durch Blutgerinnsel meist verhütet wurde. Dann wird in senkrechter Richtung zur Körperoberfläche in die Hautwunde eingestochen und unter beharrlichem Drucke vorgestossen. Schliesst man aus einer gewissen Tiefe des Eindringens auf die Nähe der Pleura costalis, so geht man unter langsamen, rotirenden Bewegungen vor. Man hüte sich vor zu gewaltsamem Zustossen. Denn je grösser der aufgewendete Druck ist, um so weniger hat man den Ausschlag bei plötzlicher Verringerung des Widerstandes in seiner Gewalt. Das Vorspringen des Bolzens hört man bisweilen mit blossem Ohre, ausserdem wird es dem Gefühle der bewegendenden Hand mitgetheilt, und endlich lässt es sich durch das widerstandslos erfolgende Vorschieben des Stempels direct nachweisen.

Anordnung der Versuche und die Fehlerquellen.

Das Thier, Kaninchen oder Hund, wurde auf den Operationstisch festgebunden. Die Kaninchen bekamen vorher Aether, Chloroform oder Chloral, die Hunde meist grössere Dosen Morphinum. Nach eingetretener Wirkung wurde der Thoraxdruckmesser eingestochen und mittelst Gummischlauches die Verbindung mit einem Schreibapparate hergestellt, welcher in seiner Construction dem Marey'schen tambour enregistrateur sich anlehnt, dagegen durch kleineren Luftraum der Kapsel und deshalb geringere Empfindlichkeit der darüber gespannten Membran sich von ihm unterscheidet; als Schreibfläche diente das Ludwig'sche Trommelkymographion. Später wurde, um den Luftraum innerhalb des Schreibapparates noch zu verkleinern, der zuvor benutzte Apparat durch folgende Vorrichtung ersetzt, die ich Herrn Privatdocent Dr. Nagel verdanke. Es wurde ein unten abgeschnittenes Reagenzgläschen genommen, sein unteres Ende mit einem Gummi- stöpsel verschlossen, durch welchen zwei rechtwinkelig abgebogene Glasröhrchen gingen. Der Raum zwischen innerer Wand des Reagenzglases und diesen Röhrchen wurde durch geschmolzenes Paraffin ausgefüllt. Dann wurde durch eine Gummimembran der übrig gebliebene kleine trichterförmige Luftraum, in welchen die Oeffnungen der Glasröhrchen mündeten, abgeschlossen. Auf der durch die Druckschwankungen im Thorax bald inspiratorisch eingezogenen, bald expiratorisch vorgewölbten Gummimembran bewegte sich die angebrachte Hebelvorrichtung des zuvor gebrauchten Schreibers, welche gleich dem Reagenzglase an einem Stative befestigt war. Das umgebogene Ende

der einen Glasröhre musste selbstverständlich zuvor durch einen kurzen dicken Gummischlauch von engem Lumen mit dem Thoraxdruckmesser verbunden sein. Das andere Röhrchen war eine enge Thermometer-röhre, über deren umgebogenes Ende ein Gummischlauch mit endstündigem Quetschhahn gezogen wurde. War letzterer geöffnet und der Thoraxdruckmesser und Schreibapparat verbindende Gummischlauch abgeklemmt, so diente das Röhrchen dem Druckausgleiche zwischen atmosphärischer Luft und dem Raume unterhalb der Gummimembran, so dass als Index für den an dem Versuchstage herrschenden Luftdruck die Abscisse auf die berusste Fläche gezeichnet werden konnte, daher es auch als Abscissenröhre bezeichnet wurde. Bei geöffnetem Hahn des Thoraxdruckmessers und offenstehendem Gummischlauche wurde gelegentlich der Pnenmothorax-Versuche Luft durch die Abscissenröhre in die Pleurahöhle eingelassen. — Selten dauerte ein Versuch weniger als eine Stunde. Zwei Personen sind immer erforderlich. Denn der Thoraxdruckmesser muss von einer Person in seiner Lage festgehalten werden, während die andere experimentirt. Die Befestigung des Apparates mittelst eines um den Leib des Thieres geschlungenen Gummigurtes, dessen Haken in die Oesen der drehbaren Kapsel griffen, bewährte sich nicht. Unmittelbar nach den Experimenten fand die jedesmalige Graduirung des Schreibapparates statt. Die erhaltenen Maassstäbe gaben sicheren Aufschluss über die Grösse der Druckschwankungen, über die Entfernung der inspiratorisch tiefsten und expiratorisch höchsten, bezw. nächsten Punkten von der Abscisse. Die Angabe erfolgt in mm Wasser und ist je nach dem Stande der Curve unter oder über der Abscisse negativ oder positiv.

Die Abscisse selbst wurde Anfangs jedesmal vor Beginn einer neuen Reihe auf die berusste Tafel der rotirenden Trommel aufgeschrieben. Sie konnte 10—15 mal notirt werden, ohne dass irgendwie beträchtliche Luftmengen in die Pleurahöhle eindringen, freilich mussten gegen Ende des Versuches auch diese geringen Quantitäten eine Annäherung der Curve an die Abscisse bedingen, wie sie in der That bei verschiedenen Bestimmungen in der oder den letzten aufgenommenen Reihen zum Ausdruck kommt. Darin ist also eine Fehlerquelle zu sehen, welche indes bei Eliminirung der zuletzt erhaltenen Resultate wegfällt. Bei späteren Versuchen wurde zur Aufzeichnung der Abscisse ein unveränderlicher, am Tambour befestigter Schreiber verwendet. Ein weiterer in Berechnung zu ziehender Uebelstand ist das Eindringen der Troicartspitze in den Raum zwischen 2 Lungenlappen, in welcher Stellung die vorderen Fenster des Bolzens vor Anzeige des vollen expiratorischen Druckes geschlossen werden

können. Der Sectionsbefund, welcher regelmässig sofort nach Tödtung des Thieres aufgenommen wurde, entschied über die Zuverlässigkeit der Curven. Auf der Fläche der Pleura pulmonalis hinterlässt nämlich der einschnellende Bolzen eine deutliche, die Stellung des Thoraxdruckmessers in der Pleurahöhle kennzeichnende Marke, welche in einer geringen, die Breite des Bolzenendes kaum überschreitenden Sugillation besteht. Liegt die letztere zwischen den Lungenlappen, bezw. auf der den interlobären Raum begrenzenden Fläche, so sind selbstverständlich die Resultate mit Vorsicht zu verwerthen. Auch die Frage, wie weit der Bolzen eingedrungen ist, will berücksichtigt sein. Bei voluminösem Lungenorgan und geräumigem Brustkasten wird $\frac{1}{2}$ cm entfernter oder näher der Brustwand von geringem Einfluss auf die Curven sein, was gleich zu Anfang der Versuche durch Einschieben und Herausziehen des Bolzens für Hunde erprobt und festgestellt wurde. Manometrische Differenzen über 20 mm H₂O wurden selbst bei Differenzen von 3 cm in der Stellung des Apparates innerhalb der Brusthöhle, welcher im Allgemeinen 1—1 $\frac{1}{2}$ cm tief stand, nicht beobachtet. Diese Fehlerquelle ist daher bei Hunden zu vernachlässigen. Anders liegen die Verhältnisse bei Kaninchen, und es darf nicht verschwiegen werden, dass kleinere als die verwendeten Thoraxdruckmesser, bezw. eine geringere Entfernung des Bolzenendes von der festen Stand gewährenden Kapsel zweckmässiger gewesen wäre. Leider ergab sich diese Thatsache erst aus den letzten der angestellten Versuche. Besonders bei Bewegungen des Apparates nach vorn oder hinten wurden Differenzen bis 50 mm H₂O registrirt. Nur eine Tafel dürfte den Anforderungen einer exacten Bestimmung der normalen Druckschwankungen beim Kaninchen genügen. Bei diesem Versuche (18. Juni) war das Instrument im 2ten J. C. R. eingestochen worden und war, ohne die Lungenspitze zu verletzen, in den Mittelfellraum eingedrungen, dessen Gefässe etc. gleichfalls vor Läsion bewahrt blieben. In den übrigen Fällen waren die Lungen meist 2 cm zurückgedrängt worden, was bei dem engen Brustraum des Kaninchens in Betracht zu ziehen ist. Oft stand auch die Spitze des Apparates in der durch 2 Lungenlappen gebildeten Tasche, einmal war sie sogar zwischen unterer Lungenfläche und Zwerchfell eingedrungen. Das Kaninchen ist aber auch insofern kein geeignetes Untersuchungsobject, als es eine sehr leicht zu verletzende Lunge besitzt, wie sich aus der Zerreisbarkeit bei einer nur geringen Saugwirkung ergibt. Ferner ist der Brustkorb sehr nachgiebig, und die Zwischenrippenräume, welche der Bolzen zu durchdringen hat, sind sehr eng. Die beim Einstossen erforderliche Kraft ist daher gross, und ihr Ausschlag liegt selbst bei

grosser Vorsicht und erlangter Fertigkeit des Operirenden nicht hinreichend in seinem Willen. In Rücksicht darauf ist eine Reihe der vom Kaninchen gewonnenen Curven nicht verwertbar. —

Wird im Folgenden von einem Hunde oder Kaninchen ohne weiteren Zusatz gesprochen, so ist immer ein Thier mit unverletzten Lungen gemeint. Die mitgetheilten Durchschnittswerthe sind stets aus einer grösseren Anzahl von Druckwerthen genommen. Erheblichere Divergenzen von der Durchschnittszahl werden allemal mitgetheilt. Nach diesen Vorbemerkungen komme ich zur Besprechung der

Curven bei ruhiger Athmung.

Von Normalcurven kann nicht gesprochen werden, da die Athmung des Thieres durch die Nothwendigkeit der Narkose beeinflusst ist. Indes kommen sie der Norm jedenfalls näher als Versuche an wachen, sich sträubenden Thieren, deren ganze sensible Sphäre durch den schmerzhaften Eingriff sich in Aufruhr befindet. Um die Druckschwankungen bei ruhiger Athmung zu veranschaulichen, sind die Curvenbilder (Fig. 2) von einem Hunde und (Fig. 3) von einem Kaninchen beigelegt. Bei der Inspiration senkt sich die Curve, erreicht

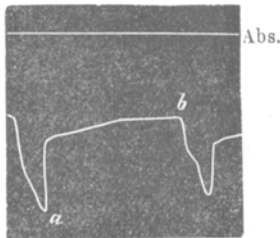


Fig. 2.

Normale Curve bei ruhiger Athmung des Hundes. *a* Inspirations-, *b* Expirationsgipfel. *)

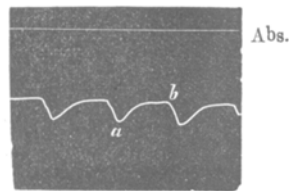


Fig. 3.

Normalcurve vom Kaninchen.

auf der Höhe der Einathmung ihren Fusspunkt und steigt mit beginnender Expiration zuerst rasch, zuletzt in beträchtlich verlangsamtem Tempo wieder an, oder aber — in den selteneren Fällen — bricht der expiratorische Curvenschenkel nach steilem Anstieg plötzlich ab, und es schliesst sich in fast rechtwinkliger Anlehnung die Athempause an, welche durch eine parallel zur Abscisse verlaufende Linie angedeutet ist (Plateauform der Curve). Dies von der Form der Curven bei ruhiger Athmung. Bei der Betrachtung der Athmcurven sind besonders 2 Punkte innerhalb einer Druckschwankung in's Auge zu

*) Bemerkung: Abs. = Abscisse, S. = Secundenzeiger.

fassen, nämlich der der Abscisse nächste Punkt, welcher den tiefsten Expirationsstand, und der von der Abscisse entfernteste Punkt, welcher den höchsten Inspirationsstand anzeigt. Besonders der erstgenannte ist wichtig. Denn da bei gewöhnlicher Expiration keine vollständige Entspannung des Lungengewebes eintreten kann, so zeigt er zugleich die Inanspruchnahme der Lungenelastizität bei Expirationsstand des Thorax an. Der Abstand zwischen ihm und der Abscisse in mm H₂O angegeben, ist also der Ausdruck für einen durch die Athmung nur wenig veränderlichen Spannungszustand des elastischen Lungengewebes. Die Ausmessung der Curven, welche von 4 Hunden an 5 Versuchstagen erhalten wurden, lieferte folgende Tabellen.

Tabelle I.

Datum des Versuches	Thier	Reihe der Curven	Operirte Seite	Mittlere Werthe bei		Differenz zwischen I. u. E.	Mittel-druck
				Exspir.	Inspir.		
17. Juni	Hund, Rattenfänger	I.	rechts	— 55	— 160	105	— 107,5
"	"	II.	"	— 48	— 170	122	— 109,0
"	"	III.	"	— 48	— 150	102	— 99,0
"	"	IV.	"	— 46	— 148	102	— 97,0
Durchschnittswerthe sämmtlicher Curvenreihen				— 49	— 157	108	— 103

Tabelle II.

Datum des Versuches	Thier	Reihe der Curven	Operirte Seite	Mittlere Werthe bei		Differenz zwischen I. u. E.	Mittel-druck
				Exspir.	Inspir.		
22. Juni	Derselbe Hund	I.	links	— 44	— 115	71	— 79,5
"	"	II.	"	— 43	— 113	70	— 78
"	"	III.	"	— 48	— 110	62	— 79
"	"	IV.	"	— 53	— 95	42	— 74
Durchschnittswerthe sämmtlicher Curvenreihen				— 47	— 108	61	— 78

Tabelle III.

Datum des Versuches	Thier	Reihe der Curven	Operirte Seite	Mittlere Werthe bei		Differenz zwischen I. u. E.	Mittel-druck
				Exspir.	Inspir.		
31. Juli	Dachshund	I.	rechts	— 76	— 102	32	— 86
"	"	II.	"	— 75	— 102	27	— 88,5
"	"	III.	"	— 63	— 100	37	— 81,5
"	"	IV.	"	— 60	— 105	45	— 82,5
"	"	V.	"	— 60	— 99	39	— 79,5
"	"	VI.	"	— 60	— 98	38	— 79
Durchschnittswerthe sämmtlicher Curvenreihen				— 65	— 101	36	— 83

Tabelle IV.

Datum des Versuches	Thier	Operirte Seite	Druck bei Exspirat.	Druck bei Inspirat.	Differenz zwischen In- und Exspirat.	Mitteldruck
18. Juli	Hund,	rechts	— 60	— 85	25	— 72,5
"	Spitz	"	— 60	— 78	18	— 69
"	"	"	— 55	— 80	25	— 67,5
"	"	"	— 55	— 80	25	— 67,5
"	"	"	— 55	— 80	25	— 67,5
Durchschnittswerthe v. 5 Druckschwankungen			— 57	— 81	24	— 69

Tabelle V.

Datum des Versuches	Thier	Operirte Seite	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspirat.	Mitteldruck	Operirte Seite	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspirat.	Mitteldruck	Zahl d. Athem- beweg. in 3 Min.
3. Aug.	Hund,	links	— 50	— 122	72	— 86	rechts	— 70	— 160	90	— 115	11
"	Ratten- fänger	"	— 50	— 124	74	— 87	"	— 75	— 183	108	— 129	
"	"	"	— 50	— 123	73	— 86,5	"	— 70	— 190	120	— 130	
"	"	"	— 50	— 120	70	— 85	"	— 70	— 160	90	— 115	
"	"	"	— 48	— 123	73	— 85,5	"	— 70	— 170	100	— 120	
"	"	"	— 53	— 125	72	— 89	"	— 70	— 185	115	— 127,5	
"	"	"	— 55	— 130	75	— 92,5	"	— 70	— 175	105	— 122,5	
"	"	"	— 50	— 140	90	— 95	"	— 70	— 200	130	— 135	
"	"	"	— 50	— 130	80	— 90	"	— 75	— 190	115	— 132,5	
"	"	"	— 50	— 120	70	— 85	"	— 70	— 140	130	— 105	
"	"	"	— 48	— 135	87	— 91,5	"	— 75	— 175	100	— 125	
"	"	"	— 50	— 120	70	— 85	"	— 70	— 185	115	— 127,5	
"	"	"	— 55	— 135	80	— 90	"	— 80	— 200	120	— 140	
"	"	"	— 55	— 145	90	— 100	"	— 75	— 180	105	— 127,5	
Durchschnittswerthe von 14 Druckschwankungen			— 51	— 128	77	— 89	"	— 72	— 178	106	— 125	

Tabelle VI.

Zusammenfassung der Durchschnittswerthe der 4 vorausgegangenen Tabellen.

Datum	Thier	Operirte Seite	Durchschnittswerthe bei		Differenz	Mitteldruck
			Expiration	Inspirat.		
17. u. 22. Juni	Hund, Ratten- fänger I.	rechts und links	— 48	— 133	85	— 90
31. Juli	Daachshund	rechts	— 65	— 101	36	— 83
18. Juli	Spitz	rechts	— 57	— 81	24	— 69
3. August	Ratten- fänger II.	links	— 51	— 128	77	— 89
		rechts	— 72	— 178	106	— 125

Tabelle VII nach Heynsius.

Die folgenden von Heynsius auf indirectem Wege erhaltenen Resultate zum Vergleiche herangezogen.

Thier	Umfang der beobachteten Druckschwankungen bei Expiration	Umfang der beobachteten Druckschwankungen bei Inspiration		Beobachtete Differenzen zwischen In- und Expiration	Mittel-druck
		A. Quantum der aufzunehmenden Luft berechnet	B. Quantum der aufzunehmenden Luft spirometrisch bestimmt		
Hund	— 52 bis — 66	— 85 bis — 118	— 114 bis — 174	A 34 bis 55 B 67 bis 108	A — 80 B — 101

Jede der fünf ersten Tabellen, welche aus der Ausmessung von mehr als 100 Druckschwankungen hervorgegangen ist, zeigt eine augenfällige Constanz in den expiratorischen Werthen, während die Druckunterschiede bei der Einathmung zum Theil recht bedeutende sind. Das gleichzeitige Registriren des Druckes beider Seiten (Tabelle V) ergab constante Unterschiede (durchschnittlich 21 mm H₂O) bei der Expiration zwischen rechts und links und sehr wechselnde Differenzen bei der Inspiration, welche im Wesentlichen durch die sonderbaren Druckänderungen bei der inspiratorischen Thätigkeit der rechten Seite bedingt sind. Es lässt sich die Vermuthung nicht zurückdrängen, dass hier ein Fehler in der Graduirung, bezw. Herstellung des betreffenden Maassstabes erfolgt ist. Jedenfalls erscheint es geboten, bevor naheliegende Folgerungen gezogen werden, diesen Versuch zu wiederholen, zumal auch Perls¹⁾ für pathologische Verhältnisse beträchtliche Verschiedenheiten zwischen rechts und links constatiren konnte. Der Vergleich mit den von Heynsius auf indirectem Wege ermittelten Werthe brachte sehr annehmbare Resultate. Der expiratorische Athemdruck meiner Versuchshunde schwankt zwischen — 48 und — 72 im Durchschnitt, derjenige der Versuchshunde von Heynsius zwischen — 52 und — 66; die inspiratorische Athemgrösse meiner Thiere beträgt zwischen — 81 und — 178. Heynsius erhielt, je nachdem das Quantum der durch künstliche Athmung aufgenommenen Luft zuvor berechnet oder bestimmt worden war (s. Seite 3), 85—118 oder 114—174 mm H₂O.

Anmerkung: Aus den Tabellen VI und VII erhellt eine fast vollständige Uebereinstimmung der nach Heynsius und nach meiner

1) Ueber die Druckverhältnisse im Thorax bei verschiedenen Krankheiten. Deutsches Archiv für klinische Medicin. Bd. VI. 1869.

Methode gewonnenen expiratorischen Werthe. Der Umfang der inspiratorischen Druckwerthe hingegen erscheint nach Heynsius, wenn jede seiner 2 Bestimmungsarten für sich betrachtet wird, kleiner. Die von mir erhaltene grössere Differenz zwischen niedrigsten und höchsten inspiratorischen Druckwerthen erklärt sich dadurch, dass ich an lebenden Thieren mit innerhalb eines jeden Versuches wechselnden Athmungsgrössen experimentirte, während Heynsius Messungen an Kadavern nach Einsaugung constanter Luftmengen ausführte. Jedenfalls gewährt diese Zusammenstellung ein beruhigendes Gefühl gegenüber der Frage nach der Zuverlässigkeit meiner Bestimmungsmethode, ebenso wie sie dem indirecten Verfahren von Heynsius ein unzweifelhaftes Berechtigungszeugniss ausstellt. Weil's directe Druckmessungen bei normalen Brustorganen sind in so geringer Anzahl ausgeführt worden, dass sie einer vergleichenden kritischen Betrachtung nichts Erspriessliches leisten können. Von theoretischem Standpunkte sind sie sicherlich nur mit grosser Vorsicht zu verwerthen.

Die Druckbestimmung am Kaninchen

mit unverletzter Lunge lieferte nur eine Tabelle, welche aus den entsprechenden, ruhige Athmung registrirenden Curven gewonnen ist, und eine weitere, deren zugehörige Curven eine lebhaftere Athmung als gewöhnlich darstellen. Sie folgen:

Tabelle VIII.

Datum	Thier	Operirte Seite	Reihe der Curven	Mittlerer Druck bei Expiration	Mittlerer Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Expiration	Mitteldruck
18. Juni	Kaninchen	rechts	I.	— 37	— 40	3	— 38,5
"	"	"	II.	— 45	— 60	15	— 52,5
"	"	"	III.	— 37	— 61	24	— 49
"	"	"	IV.	— 28	— 55	27	— 41,5
"	"	"	V.	— 30	— 40	10	— 35
"	"	"	VI.	— 27	— 55	28	— 41
Durchschnittswerthe der 6 Reihen . . .				— 34	— 52	18	— 43

Bemerkung: Spitze des Thoraxdruckmessers über die rechte Lungenspitze in das Mediastinum ohne Verletzung der Gefässe etc. eingedrungen. Einstichstelle: 2. Intercostalraum 2 Finger breit vom Brustbein.

Tabelle IX.

Datum	Thier	Operirte Seite	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspirat.	Mitteldruck	Operirte Seite	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspirat.	Mitteldruck
14. Juli Abends	Kaninchen	rechts	— 20	— 150	130	— 85	links	— 40	— 140	100	— 90
"	"	"	— 25	— 140	115	— 82,5	"	— 40	— 140	100	— 90
"	"	"	— 30	— 140	110	— 85	"	— 40	— 140	100	— 90
"	"	"	— 30	— 140	110	— 85	"	— 30	— 135	105	— 82,5
"	"	"	— 30	— 140	110	— 85	"	— 40	— 130	90	— 85
"	"	"	— 20	— 140	120	— 80	"	— 30	— 140	110	— 85
"	"	"	— 20	— 140	120	— 80	"	— 30	— 140	110	— 85
"	"	"	— 20	— 140	120	— 80	"	— 40	— 130	90	— 85
"	"	"	— 25	— 140	115	— 82,5	"	— 35	— 125	90	— 80
"	"	"	— 15	— 130	115	— 72,5	"	— 30	— 140	110	— 85
"	"	"	— 30	— 140	110	— 85	"	— 40	— 135	95	— 87,5
"	"	"	— 25	— 140	115	— 82,5	"	— 35	— 135	100	— 85
"	"	"	— 25	— 150	122	— 89	"	— 40	— 120	80	— 80
"	"	"	— 25	— 130	105	— 77,5	"	— 30	— 130	100	— 80
"	"	"	— 30	— 135	105	— 82,5	"	— 40	— 130	90	— 85
Durchschnittswerthe von je 15 Druckschwankungen			— 25	— 140	115	— 82		— 36	— 134	98	— 85

Die expiratorischen Werthe in den mitgetheilten Tabellen (VIII und IX) schwanken zwischen 25 und 36, nach Heynsius zwischen 31 und 36, die inspiratorischen zwischen 52 und 140, nach Heynsius zwischen 60 und 111 mm H₂O.

Aus bereits erwähnten Gründen stehe ich nicht an, die von Heynsius ausgeführten Druckbestimmungen am Kaninchen für die zuverlässigeren zu erklären. Immerhin sind die Differenzen nicht bedeutend, so dass bei aller Skepsis gegenüber den absoluten Werthen das Curvenbild selbst, namentlich der Abstand zwischen expiratorischen Gipfeln und Abscisse, Berücksichtigung verdient, vorausgesetzt dass derselbe nicht allzuklein ist.

Ueber die Entstehung des positiven Thoraxdruckes bei normalen Brustorganen.

Bei den ersten Versuchen konnte niemals ein positiver Druck constatirt werden. Erst als ein schlecht narkotisirtes Thier operirt und dessen Athmungsdruck aufgeschrieben wurde, wurden besonders beim Stöhnen des Hundes — es handelte sich um denselben Rattenfänger, von dem die Tabelle I stammt — bedeutende positive Ausschläge erhalten, deren Ausmessung sich nicht verlohnt, da der Schreibhebel gerade bei diesem Versuche schleuderte. Ich legte mir nun die Frage vor, auf welche Weise bei einem schwach narkoti-

sirten Thiere ohne Verschluss von Maul und Nase positiver Thoraxdruck hervorgerufen, und wodurch er andererseits unmöglich gemacht werden könnte. Die experimentelle Erzeugung desselben musste an die Setzung eines starken Reizes anknüpfen, da ja bei dem eben genannten Versuche aller Wahrscheinlichkeit nach der Schmerz die mitgetheilten Curven ausgelöst hatte. Es wurden daher wenige Tropfen einer verdünnten Essigsäurelösung mit der Pravaz'schen Spritze in die Trachea nach deren Freilegung injicirt. Sofort setzte, wie zu erwarten, ein Glottiskrampf ein und producirte bedeutende positive Erhebungen der Curven bis $+ 80$ mm, welche nach Ausführung der Tracheotomie verschwanden und auf keine Weise wieder hervorge-

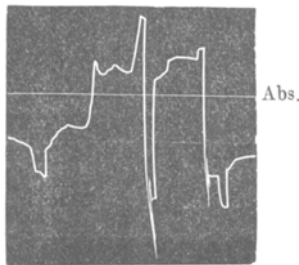


Fig. 4.

Wirkung eingespritzter Essigsäure vor der Tracheotomie.

(Die Curve überschreitet die Abscisse: positive expiratorische Werthe.)

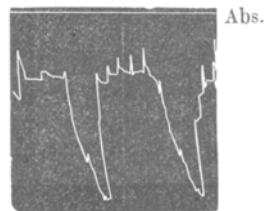


Fig. 5.

Wirkung eingespritzter Essigsäure nach der Tracheotomie.

(Die Curve bleibt unter der Abscisse. Tiefe Inspirationen.)

rufen werden konnten. Durch Injection von Essigsäure in die eröffnete Trachea werden von nun an tiefe Inspirationen ausgelöst. (Siehe Curven Fig. 4 und 5).

Danach darf also gesagt werden: Der positive Thoraxdruck kann unter sonst normalen Verhältnissen nur durch Verschluss oder Verengerung innerhalb der oberen Luftwege zu Stande kommen, und die Annahme ist berechtigt, dass schon bei starker Annäherung der Curven an die Abscisse an eine active Mitwirkung des oberen Respirationstractus gedacht werden muss, vorausgesetzt dass keine Luft in die Pleurahöhle eingedrungen ist. Diese Thatsache ist mit unseren allgemeinen Vorstellungen von dem Mechanismus der Athmung im Einklange. Denn ihnen zu Folge wird der thoracale Druckwerth selbst bei schnellen und kräftigen Athmungsbewegungen sich nur wenig von demjenigen entfernen, welchen wir erhalten, wenn wir den dem jeweiligen Dehnungszustand der Lunge entsprechenden Spannungswerth von dem auf der Innenfläche der Lunge lastenden Drucke (dem Alveolardruck) subtrahiren. Positive Werthe

des thoracalen Druckes sind also nur möglich, wenn der Alveolardruck den atmosphärischen erheblich übersteigt, und dies kann nur der Fall sein, wenn dem Ausströmen der Luft bedeutende Hindernisse entgegengestellt werden.

Nach Constatirung des positive Druckschwankungen beseitigenden Einflusses der Tracheotomie erschien es angezeigt, ihre Wirkung auf die Athmung überhaupt zu studiren. Davon handelt das nächste Capitel.

Einfluss der Tracheotomie auf die Athmung. Wechselndes Schliessen und Oeffnen der Trachealcantüle.

Durchgängig wurde die Tracheotomia inferior gemacht. Die eröffnete Trachea wurde, sofern dies nothwendig war, von Blut gesäubert und entweder durch Haken offen gehalten, oder es wurden Cantülen eingeführt, um welche das periphere Ende der Lufröhre festgebunden wurde. Der lichte Durchmesser der bei Hunden gebrauchten Cantülen war $5\frac{1}{2}$ — $6\frac{1}{2}$ mm, derjenige der Cantülen für Kaninchen 3—4 mm, darunter eine Trachealcantüle nach Gad, deren Durchmesser $3\frac{1}{2}$ mm betrug. Curven, welche den Einfluss der Tracheotomie auf eine zuvor völlig normale Athmungsthätigkeit demonstrieren, besitze ich nur wenige, umsomehr Curven hingegen, welche die Beeinflussung pneumothoracischer Druckschwankungen durch die Oeffnung der oberen Luftwege zeigen. Denn in der Tracheotomie wurde ein wirksames Mittel auch zur Untersuchung des positiven Druckes bei Pneumothorax erkannt.

Folgende 4 Tabellen, die von normalen oder annähernd normalen Thieren stammen, mögen die Einwirkung der Tracheotomie veranschaulichen.

Tabelle X.

Datum	Thier	Seite	Thoraxdruck vor der Tracheotomie					Thoraxdruck nach der Tracheotomie				
			Mittlerer Druck bei Expiration	Mittlerer Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspir.	Mittlerer Druck	Frequenz der Athmung pro Min.	Mittlerer Druck bei Expiration	Mittlerer Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspir.	Mittlerer Druck	Frequenz der Athmung pro Min.
18. Juli	Hund Spitz II	links	— 57	— 81	24	— 69	15	— 61	— 81	20	— 71	17
3. Aug.	Rattenfgr.	"	— 25	— 210	185	— 117,5	9	— 45	— 105	60	— 75	10
"	"	rechts	— 38	— 245	207	— 141,5	9	— 53	— 110	57	— 81,5	10
16. Juli	Hund Spitz I	links	— 36	— 104	68	— 70	36	— 43	— 70	27	— 56,5	50
21. Juli	Kaninchen	rechts	— 24	— 99	75	— 62	56	— 26	— 54	28	— 40	107

Als Illustration diene Curvenbild Fig. 6 und 7. Die Zahlen der ersten Reihe lieferte ein wie das Ansaugverfahren ergab, völlig unverletzter Hund, der zwei folgenden Reihen ein Rattenfänger, bei dem

vor Aufnahme der entsprechenden Curven ein offener Pneumothorax durch Ansaugung von 495 ccm Luft eingeschränkt worden war, die 4. Colonne stammt von einem Spitz, dessen rechte Lunge (diejenige der nicht schreibenden Seite) bei anderer Gelegenheit verletzt, durch Vernarbung aber laut Sectionsprotokoll wieder geheilt war, die 5. Colonne rührt von einem Kaninchen her, bei welchem sofort die Lunge angestochen, die Stelle der Läsion jedoch durch Blutgerinnsel geschlossen wurde, so dass daraus wie aus der Form der Curven Pneumothorax in Abrede gestellt werden kann. Wie die Tabelle zeigt,

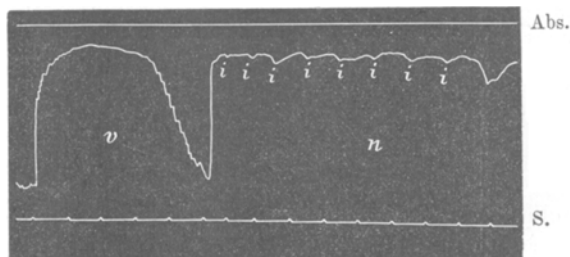


Fig. 6.

Einfluss der Tracheotomie auf eine annähernd normale Curve vom Hunde.
v Curve vor, *n* nach der Tracheotomie.
 (Die letztere ist langgestreckt und durch eine grössere Zahl den Herz-contractionen entsprechender Intermissionen *i* unterbrochen.)

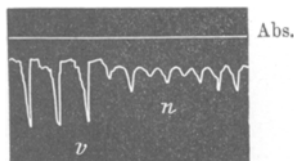


Fig. 7.

Curve vom Hunde. *v* vor, *n* nach der Tracheotomie.

findet nach vollzogener Tracheotomie eine zum Theil beträchtliche Herabsetzung der Differenz zwischen In- und Expirationsdruck, mit Steigerung des Mitteldruckes, mit einer Ausnahme in der ersten Reihe statt. Das Gleiche gilt für die Negativität der inspiratorischen Ausschläge; sie wird in allen Beispielen herabgesetzt, während diejenige der expiratorischen Werthe — Maximum 20 mm H₂O — zunimmt. Dass es sich dabei um keine vorübergehende, sondern um eine regelmässig mit der Oeffnung der Trachea verbundene Erscheinung handelt, ergibt sich aus folgendem Versuche: Bindet man die G a d'sche Trachealcantüle in die Luftröhre ein, und geht man von der Cantülenfrei-luftathmung zur Cantülenkehlkopfathmung über durch Drehung des

Canülenhahnes, so stellt sich die ursprüngliche Athmung sofort wieder her; bei erneutem Wechsel kehrt das Bild der Athmung bei offener Trachea zurück. Als Beispiel dieses Wechsels sei das Curvenbild vom 30. Juli Fig. 8 mitgetheilt, wiewohl die Lunge des Kaninchens,

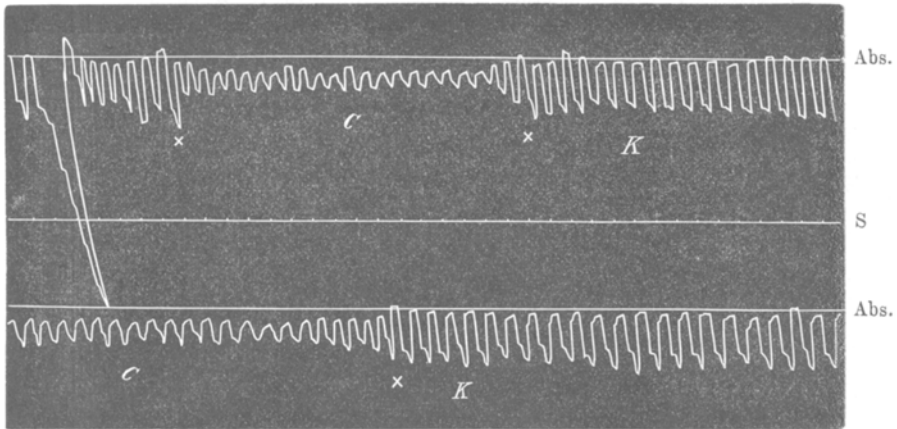


Fig. 8. Wechsel zwischen Canülen-Freiluft- und Canülen-Kehlkopf-Athmung.
x Uebergangsstellen, K Athmung durch den Kehlkopf, C Athmung durch Trachea und Canüle.

von dem es stammt, verletzt war, und nach den Curven ein mässiger Grad von Pneumothorax anzunehmen ist. Die mindestens $\frac{1}{2}$ Stunde fortgesetzten Wiederholungen des Versuches führten immer zu dem gleichen Resultate.

Nach rein mechanischer Betrachtung wird man auch dies Ergebniss verständlich finden, wenn man erwägt, dass nach der Tracheo-

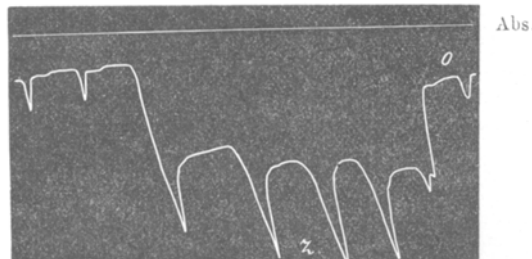


Fig. 9. Abwechselndes Schliessen und Oeffnen der Canüle.
o offen, z zu.

tomie diejenigen Druckentwicklungen, welche zur Ueberwindung des Widerstandes in den Athmungswegen erforderlich sind, grossentheils

in Wegfall kommen, also die Schwankungen des Alveolardruckes sehr

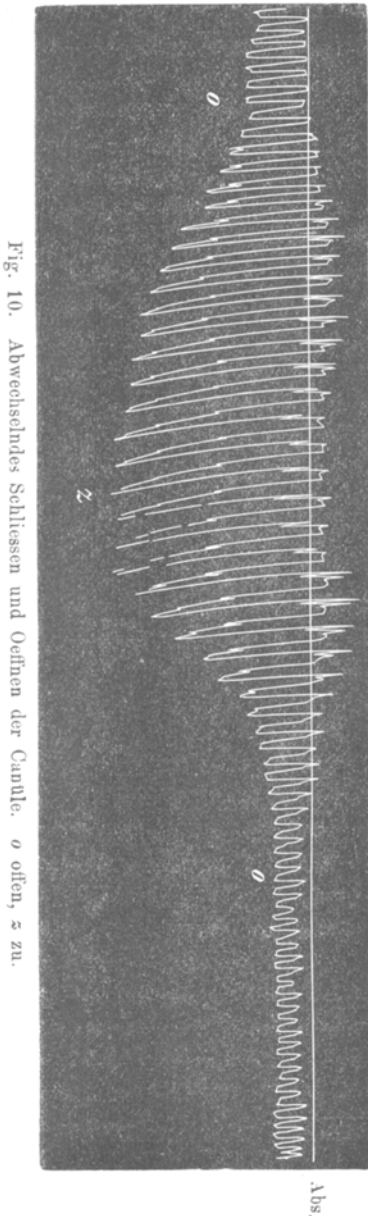


Fig. 10. Abwechselndes Schliessen und Öffnen der Canüle. o offen, z zu.

vermindert sein müssen. Namentlich werden schnelle Inspirationen mit einem geringen negativen Druckwerthe ausgeführt werden können. Indessen ist es fraglich, ob die zum Theil beträchtliche Einschränkung der thoracalen Druckschwankung hierauf allein zurückzuführen ist, oder ob daneben durch eine Modification der Athembewegungen selbst auch der Umfang des Luftwechsels eine Verminderung erfahren hat. Dass an derartige Einflüsse jedenfalls zu denken ist, zeigt die in den beiden letzten Fällen (einmal beim Hund, einmal beim Kaninchen) eingetretene starke Zunahme der Athmungsfrequenz.

Ferner wurden Versuche angestellt, bei welchen das Lumen der Canüle variirt, allmählich geschlossen und wieder geöffnet wurde. Trotz vollkommenen und nahezu 1 Minute dauernden Canülenschlusses geht die Curve (s. Fig. 9) nicht über die Abscisse, wird also nicht positiv. Hingegen nehmen die inspiratorischen Ausschläge successive zu, eine Erscheinung, die ihr klinisches Analogon in der Verlängerung des Inspiriums bei Larynx- und Trachealstenose hat. Andererseits sind auch Curven, so von einem Kaninchen (siehe Fig. 10) vorhanden, welche nach Canülenschluss positiven Druck aufweisen. Allerdings ist derselbe von geringer Höhe und wächst nicht in dem-

selben Maasse, wie die negativen inspiratorischen Werthe, so dass der Mitteldruck negativ bleibt.

Ueber Entstehung, Einfluss und Beeinflussung des Pneumothorax.

Eine Nachprüfung der classischen Arbeit von Weil konnte nicht in meiner Absicht liegen, wohl aber ist eine Ergänzung derselben nach vier Richtungen möglich, und zwar]

1. durch Mittheilung eines beobachteten Falles von langsam entstehendem Pneumothorax,
2. durch eine unten besprochene abweichende Art der Herstellung des Pneumothorax,
3. durch die Anwendung der Tracheotomie,
4. durch die gleichzeitige Bestimmung des Druckes auf der gesunden Seite.

Die Experimente wurden unter Zugrundelegung der von Weil herrührenden Eintheilung des Pneumothorax ausgeführt. Weil unterscheidet bekanntlich einen nach innen oder nach aussen oder doppelt-offenen Pneumothorax, ferner einen geschlossenen und einen Ventilpneumothorax. Der letztere geht entweder in einen mechanisch geschlossenen oder in einen organisch, durch Verklebung und Vernarbung der Rissstelle geschlossenen Pneumothorax über. Ein sehr leicht functionirendes Ventil kann jedoch auch im Verlaufe weniger Minuten den Tod herbeiführen, so dass es nicht mehr zur Ausbildung dieser Unterarten kommen kann. Die Werthe, welche Weil für die verschiedenen Pneumothoraxformen erhielt, stellte er in folgender Tabelle zusammen.

Tabelle XI nach Weil.

		Druck der Luft in mm Wasser			
		bei der Inspirat.	bei der Exspirat.	Mittel- druck	Differenz zwischen In-u. Exsp.
Geschlossen. Pneumothorax {	Kaninchen	— 70	+ 30	— 20	100
	Hund	— 73	+ 5	— 34	78
Offener Pneumothorax . . {	Kaninchen	— 4	+ 4	± 0	8
	Hund	— 5	+ 5	± 0	10
Ventilpneumothorax . . . {	Kaninchen	— 11	+ 50	+ 19	61
	Hund	— 86	+ 156	+ 35	243

Der von mir beobachtete Fall eines nach innen offenen, langsam entstehenden Pneumothorax, dessen zugehörige Curvenbilder zu viel Raum in Anspruch nehmen würden, lieferte folgende in abgekürzter Tabelle zusammengestellte Werthe:

Tabelle XII.

Datum	Thier	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Zunahme der Athemzüge in Proc.	Reihenzahl
18. Juni	Kaninchen	— 10	— 30	—	I
"	"	— 10	— 30	—	—
"	"	— 8	— 32	—	—
"	"	— 5	— 35	—	—
"	"	— 2	— 38	—	—
"	"	— 15	— 30	—	—
"	"	+ 0	— 60	—	—
"	"	— 20	— 60	36	II
"	"	— 20	— 60	—	—
"	"	0	— 60	—	—
"	"	— 15	— 40	—	—
"	"	— 8	— 35	—	—
"	"	0	— 32	—	—
"	"	+ 5	— 40	—	—
"	"	— 20	— 50	36	III
"	"	— 20	— 260	—	—
"	"	0	— 60	—	—
"	"	— 10	— 42	—	—
"	"	+ 5	— 140	—	—
"	"	— 18	— 72	—	—
"	"	0	— 35	—	—
"	"	+ 5	— 30	—	—
"	"	+ 10	— 25	—	—
"	"	+ 15	— 20	—	—
"	"	+ 30	— 2	140	IV
"	"	+ 35	— 5	—	—
"	"	+ 32	— 10	—	—
"	"	+ 38	— 15	—	—
"	"	+ 25	— 15	—	—
"	"	+ 50	— 25	—	—
"	"	+ 30	— 15	—	—
"	"	+ 60	— 30	—	—
"	"	+ 30	— 15	—	—
"	"	+ 40	— 10	180	V
"	"	+ 40	— 15	—	—
"	"	+ 45	— 20	—	—
"	"	+ 35	— 15	—	—
"	"	+ 45	— 10	—	—
"	"	+ 60	— 35	—	—
"	"	+ 30	— 10	—	—
"	"	+ 50	— 10	—	—
"	"	+ 35	— 20	—	—
"	"	+ 40	— 15	—	—

Bemerkung: Rechte Seite schrieb. Stecknadelkopfgrosse Perforation im Mittellappen der rechten Lunge.

Als Resultat ist eine allmähliche Gesamtzunahme des Druckes zu verzeichnen. Die letzten recht erheblichen positiven Werthe gestatten die Annahme, dass es schliesslich zu einem Ventilpneumothorax gekommen ist, welcher seinem Wesen nach noch Luft bei der Inspiration ein-, aber keine mehr bei der Expiration infolge der Kleinheit

der Perforationsöffnung austreten liess. Letztere trägt offenbar auch die Schuld an den zum Theil sehr erheblichen Druckschwankungen, welche den sonst regelmässigen Entwicklungsgang des zunehmenden Pneumothorax hier und da unterbrechen. Bei den anderen Versuchen wurde die Luft durch den Thoraxdruckmesser zugelassen, und zwar entweder momentan durch Oeffnen des Hahnes an dem nicht verbundenen Apparate — nach hergestellter Verbindung blieb das „Abscissenrohr“ (s. Seite 250) offen —, oder man liess sie durch das enge Abscissenrohr gewissermaassen einschleichen. Im ersteren Fall traten momentan positive Werthe auf, im letzteren konnte nur eine sehr langsame Luftfüllung der Pleurahöhle stattfinden und die Curven geben infolge dieses Einschleichverfahrens gleichfalls das anschauliche Bild eines sich nach und nach entwickelnden Pneumothorax. Je nach den individuellen Verhältnissen kommt es dabei zu bemerkenswerthen Ausnahmen von der als Typus nach Weil aufgestellten Tabelle VI. Der positive Druck kann vollständig ausbleiben und erst allem Anscheine nach durch sensible Reizung hervorgerufen werden. So wurden u. A. 9 Curvenreihen eines offenen Pneumothorax an einem Dachshunde am 31. Juli aufgenommen, dessen Lungen, wie die Section ergab, nicht durch die Operation verletzt waren und sich, ohne zu collabiren, aufblasen liessen. Die Druckmarke des vorspringenden Bolzens befand sich beiderseits auf den der Pleura costalis zugekehrten Lungenflächen. Während der Aufnahme der Curven, d. h. 16 Min. lang, stand das Abscissenrohr offen, und die atmosphärische Luft konnte in die Brusthöhle eindringen. Vor Herstellung des Pneumothorax ermitteln wir aus den 6 ersten Reihen einen mittleren Druck von — 65 mm für die Expiration, von — 101 mm Wasser für die Inspiration; nach Oeffnung des Abscissenrohres sinkt der Druck in der ersten Reihe des entstehenden Pneumothorax auf — 30 Exspir., — 60 Inspir.; in der zweiten Reihe — 25 Exspir., — 45 Inspir.; in der dritten Reihe — 18 Exspir., — 42 Inspir.; in der vierten Reihe — 7 Exspir., — 35 Inspir.; in der fünften Reihe — 7 Exspir., — 35 Inspir.; in der sechsten Reihe ± 0 Exspir., — 35 mm H₂O Inspiration. Die folgenden drei Colonnen zeigen keine Fortschritte der Curven gegen die Abscisse. In der siebenten Reihe wird fünfmal vergeblich, und zwar sowohl bei In- wie bei Expiration versucht, durch Schliessen des Abscissenrohres das nach Weil charakteristische Bild des geschlossenen Pneumothorax hervorzurufen. Positive Werthe waren jedoch nicht zu erhalten, wiewohl nach Allem eine hinreichende Füllung der Brusthöhle mit Luft angenommen werden darf. Sei es nun, dass die Narkose nachliess, oder dass das gerade vorgenommene Abnehmen und in Rücksicht auf stärkere Hebelaus-

schläge wieder erfolgte Ansetzen des Verbindungsschlauches zwischen Thoraxdruckmesser und Schreibapparat als Reiz wirkte, mit einem Male stellten sich andauernde positive Werthe bei der Expiration ein. Dieselben können nicht auf das Conto etwa nach eingetretener Luft gesetzt werden, denn, wie gesagt, stand das Abscissenrohr 16 Min. offen. Auch der Moment des Abschlusses kann nicht von Ausschlag gebender Bedeutung gewesen sein. Vielmehr dürfte die mit der geschilderten Manipulation verbundene sensible Reizung eine kräftigere Action der Athemmuskeln und bei der Expiration eine stärkere Compression den in der Pleurahöhle eingeschlossenen Luft mit consecutivem, positivem Druck hervorgerufen haben. Dagegen sehen wir in einem Falle vom 3. Aug. (Rattenfänger; Lungen unverletzt; Druckmarken oberflächlich), wo das gleiche Einschleichverfahren zur Herstellung eines Pneumothorax gewählt wurde, schon nach 1 Min. 40 Sec. positive Druckschwankungen auftreten. Dieses unterschiedliche Verhalten stimmt sehr gut mit ärztlichen Erfahrungen überein. In der Casuistik ist ein Fall verzeichnet, demzufolge ein Mann erst gelegentlich einer Musterung auf einen bestehenden Pneumothorax aufmerksam gemacht wurde. Hier ist die Annahme wohl zutreffend, dass es sich jedenfalls um ein sensibler Reizung wenig zugängliches Individuum handelte, dass die Entstehung des Pneumothorax keine plötzliche, sondern sehr allmähliche war, und dass positive Schwankungen mit der nothwendigen Folge zunehmender Verdrängungserscheinungen entweder ausgeblieben oder nur in geringem Maasse erfolgt sind. Das Gegentheil ist anzunehmen, wenn ein eben noch gesunder Mensch unter Erscheinungen einer plötzlich eintretenden, schweren Dyspnoe zusammenbricht und Pneumothorax constatirt wird. Wir schliessen also, dass je nach dem Maasse sensibler Erregbarkeit, bezw. ihrer Provocation durch grössere oder kleinere Reize die Curvenbilder bei eng — offenem Pneumothorax variiren. — Nach den eigenthümlichen, durch Anwendung der Tracheotomie gemachten Erfahrungen lag es nahe, auch die Pneumothoraxformen, insbesondere diejenigen mit positivem Druck durch das gleiche Mittel beeinflussen zu wollen. Der Erfolg ist aus nachstehender Tabelle XIII zu entnehmen.

Auch hier sehen wir, wie es mechanisch verständlich ist, die Differenz zwischen in- und expiratorischem Druck durch die Tracheotomie vermindert. Auffällig erscheint die im dritten Falle zu bemerkende beträchtliche Senkung des Mitteldruckes und die hiermit wohl in Zusammenhang stehende Thatsache, dass in allen hier mitgetheilten Fällen nach Tracheotomie ein positiver expiratorischer Druck nicht mehr erzielt wurde. Man sollte erwarten, dass bei weit offenem Pneu-

Tabelle XIII.

Datum	Thier	Form des Pneumothorax	Mittlere Werthe vor der Tracheotomie						Mittlere Werthe nach der Tracheotomie					
			Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwisch. In- u. Exspirat.	Mitteldruck	Kleinste Druckschwank. mit positiv. Werthen	Grösste Druckschwank. mit positiv. Werthen	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwisch. In- u. Exspirat.	Mitteldruck	Kleinste Druckschwank. mit negativ. Werthen	Grösste Druckschwank. mit negativ. Werthen
15. Juli Abds.	Kaninchen	innen offener	+15	-100	115	-42,5	100	130	-18	-50	32	-34	20	70
23. Juli	Kaninchen	geschlossener	—	—	—	—	—	—	-5	-20	15	-12,5	—	—
31. Juli	Dachshund	geschlossener	+48	-31	79	+8,5	20	140	-2	-31	29	-16,5	20	120
3. Aug.	Rattenfänger	geschlossener	—	—	—	—	—	—	-3	-52	49	-27,5	10	90

(Siehe die zugehörigen Curven Fig. 11 und 12.)

mothorax eine Schwankung des thoracalen Druckes um den Nullpunkt als Mittelwerth erfolgen, d. h. positive expiratorische Werthe zu Stande kommen würden; und Gleiches sollte auch bei geschlossenem Pneumothorax stattfinden, sobald der Luftgehalt gross genug ist. Indessen hat es nach Tracheotomie selbst bei Abschluss des Abscissenrohres auf der Höhe der Inspiration nicht gelingen wollen, positive

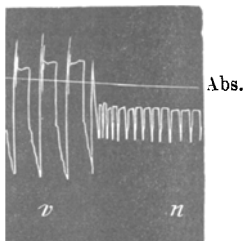


Fig. 10.

Beeinflussung eines geschlossenen Pneumothorax beim Kaninchen durch die Tracheotomie.
v Curve vor, n nach der Tracheotomie.

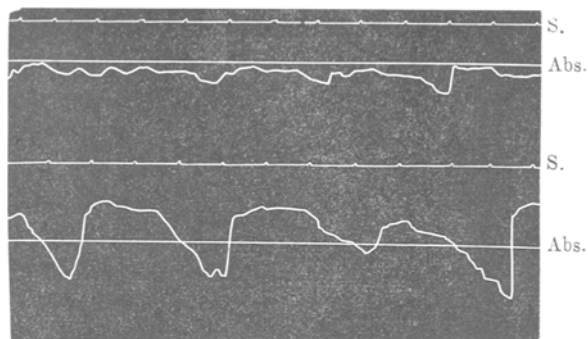


Fig. 12.

Beeinflussung eines geschlossenen Pneumothorax beim Hunde durch die Tracheotomie.
(Untere Reihe vor, obere Reihe nach Tracheotomie.)

Druckwerthe zu erzielen. Man kann daraus wohl schliessen, dass die Strömungshindernisse der Respirationswege fast immer an der Entwicklung positiven Druckes einen grossen Antheil haben. Selbstver-

ständig aber erhält man positive expiratorische Drucke bei den sehr hohen Graden der Luftfüllung, wie sie z. B. im Ventilpneumothorax sich entwickeln.

Der Ventilpneumothorax wurde nach dem Vorschlage von Weil folgendermaassen hergestellt. Das erste Rohr eines T-Stückes wird mit dem Thoraxdruckmesser, das zweite mit dem Schreibapparate, das dritte mit einer inspiratorisch wirkenden Ventilflasche verbunden.

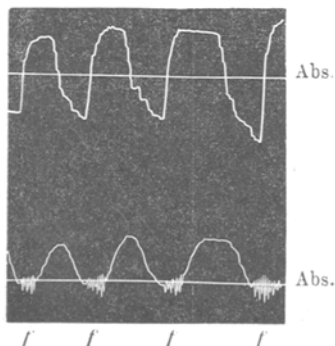


Fig. 13.

Ventilpneumothorax beim Hunde.

(Untere Reihe: Druckschwankungen auf der pneumothoracischen Seite. Die kleinen Striche an den Fusspunkten *f* der Curven geben die Zahl der in der Ventilflasche gesprungenen Luftblasen an. Obere Reihe: Gleichzeitiges Verhalten der Druckschwankungen auf der gesunden Seite.)

Zur letzteren kann eine kleinere Spritzflasche gemacht werden, durch deren Gummistöpsel zwei Röhren gehen. Die eine ist die Steigröhre, sie taucht eben unter den Wasserspiegel der Flasche; die zweite, an das T-Stück angeschlossenen, communicirt mit dem Luftraum der Ventilflasche. Inspirirt das Thier, so saugt es Luft durch die Steigröhre, an, gleichzeitig wird der Vorgang aufgeschrieben. Oft konnte man bei einer Inspiration mehrere Luftblasen springen sehen, die durch ebenso viele Hebungen und Senkungen des Schreibhebels auf die berusste Tafel notirt wurden. Die kleinen Striche befinden sich sämmtlich am Fusspunkt des inspiratorischen Schenkels. Ob derartige Curven schon bekannt sind, weiss ich nicht. Ich theile sie daher mit. (Siehe Curve Fig. 13).

Die Eröffnung der Luftröhre konnte den positiven Druck des Ventilpneumothorax nicht zum Verschwinden bringen. Hier wird der Druck infolge der eingepressten, im Missverhältniss zum vorhandenen Raum stehenden Luftmenge positiv, zu der mit jedem neuen Athemzuge neue Quantitäten Luft treten. Das geschieht so lange, als die Kraft der inspiratorischen Athemmuskeln reicht; je grösser dieselbe ist, um so gefährlicher für das Thier. Der Hund, dessen Pleurahöhle mit einer inspiratorischen Ventilflasche in Verbindung steht, hat, wie auch schon Weil hervorhob, die Fähigkeit, sich auf diese Weise in kurzer Zeit selbst zu tödten. Das Kaninchen beschränkt scheinbar nach kurzer Zeit die Respirationen auf der pneumothoracischen Seite und athmet mit der anderen um so ergebiger. Ob bei solchen Fällen, welche nicht, wie der Hund, Druck-

werthe bis + 300 mm H₂O und darüber erreichen, die Tracheotomie wirkungslos bleibt, ist fraglich.

Die Beeinflussung der gesunden Seite durch Pneumothorax der anderen ist an 6 Tagen zu eruiiren versucht worden.

Das Ergebniss beim Kaninchen stellt die nachfolgende Tabelle zusammen.

Tabelle XIV.

Datum	Thier	Form des Pneumothorax	Seite des Pneumothorax	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz	Mitteldruck	Gesunde Seite	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen Inspirat. u. Exspirat.	Mitteldruck
13. Juli	Kaninchen	offener	links	+ 36	— 36	72	± 0	rechts	— 50	— 106	56	— 78
14. Juli Morgens	"	offener	rechts	+ 22	— 21	43	± 0,5	links	— 9	— 55	46	— 32
14. Juli Abends	"	geschlossener Ventilpneumothorax	rechts	+ 27	— 7	34	+ 10	links	— 51	— 215	164	— 133

(Siehe das zugehörige Curvenbild Fig. 14.)

Wiewohl wir in Analogie der Pneumothoraxfälle beim Menschen Verdrängungen des Mediastinums und des Herzens nach der gesunden Seite auch beim offenen Pneumothorax des Thieres annehmen müssen, wiewohl der Brustraum der letzteren beträchtlich eingeengt sein dürfte, sehen wir dennoch negative Werthe bei der Expiration auftreten, welche in dem Falle vom 14. Juli Abends die Höhe von 51 mm H₂O erreichen. Gewiss ist bei der Beurtheilung aller am Kaninchen gewonnenen Curven Vorsicht anzurathen; allein ihre grosse Uebereinstimmung unter gleichen Versuchsbedingungen, welche wir nicht nur in dieser Tabelle constatiren konnten, darf den Anspruch auf Berücksichtigung erheben. In den Curven vom 13. Juli und 14. Juli Morgens bedingt allem Anscheine nach die Grösse der respiratorischen Schwankung der kranken Seite diejenige der gesunden. — Noch überraschender ist der in seinen Werthen mitgetheilte Fall von Ventilpneumothorax (14. Juli Abends), bei welchem der

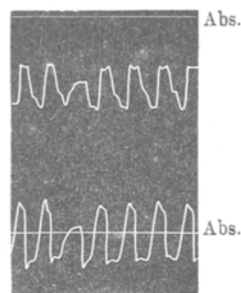


Fig. 14.

Einfluss des eng-offenen Pneumothorax auf die gesunde Seite beim Kaninchen. (Untere Reihe: pneumothoracische Seite; obere Reihe: gesunde Seite.)

Mitteldruck auf der pneumothoracischen Seite + 10 ist, während die negativen expiratorischen und inspiratorischen Druckschwankungen auf der gesunden Seite im Vergleiche zu den Anfangswerthen (— 36 mm für Espir., — 134 mm für Inspir., s. Tabelle VIII) bedeutend zugenommen haben. Das Thier saugte nach der Verbindung seiner Pleurahöhle mit der Ventilflasche keine Luft aus dieser mehr an, so dass ein geschlossener Pneumothorax entstand. Leider lassen sich für die Fälle vom 13. Juli und 14. Juli Morgens nicht die anfänglichen Werthe vor Entstehung des Pneumothorax zum Vergleiche heranziehen, weil Luft infolge von Lungenverletzung zu rasch in die Brusthöhle eingedrungen ist. Die Versuchshunde lieferten keine so vollständig übereinstimmenden Resultate, wie aus folgender Tabelle zu ersehen. Sie enthält die mittleren Werthe.

Tabelle XV.

Datum	Thier	Form des Pneumothorax	Seite des Pneumothorax	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspirat.	Mitteldruck	Gesunde Seite	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- u. Exspirat.	Mitteldruck
11. Juli	Jagdhund	offener	rechts	+ 25	— 61	86	— 18	links	— 71	— 125	54	— 98
23. Juli	Spitzhund II	offener	rechts	—	—	—	—	links	+ 10	— 35	45	— 12,
"	"	geschlossener	rechts	—	—	—	—	links	+ 10	— 40	50	— 15
3. Aug.	Rattenfänger	offener	rechts	+ 3	— 59	62	— 28	links	— 23	— 117	94	— 70
"	"	Ventilpneumothorax	rechts	+ 65	— 7	72	+ 29	links	+ 57	— 57	114	+ 0

In folgender Tabelle XVI sind die Werthe vor Herstellung des Pneumothorax mitgetheilt.

Tabelle XVI.

Datum	Thier	Seite	Druck bei Expiration	Druck bei Inspiration	Differenz zwischen In- und Expiration	Mitteldruck
11. Juli	Jagdhund	links	—	—	—	—
23. Juli	Spitzhund II	links	— 28	— 60	32	— 44
3. Aug.	Rattenfänger	links	— 51	— 128	77	— 89

(Siehe das zu Tabelle XV gehörige Curvenbild Fig. 15.)

Wir sehen hier in einigen Fällen ähnlich wie beim Kaninchen auf der unverletzten Seite Werthe, die sich an der Grenze des Normalen

bewegen, in einigen aber auch zweifellos erhöhte. Die unverletzte Seite wird also durch den anderseitigen Pneumothorax in wenigen Fällen nicht, in anderen dagegen sehr merklich beeinflusst. Man wird sich als den Grund dieses Unterschiedes wohl eine beträchtliche individuelle Differenz bez. der Beweglichkeit der die beiden Hälften gegen einander abgrenzenden Theile denken dürfen. Daneben aber bleibt zu berücksichtigen, dass mannigfache Verhältnisse eine gewisse Compensation entwickeln können. Bleibt z. B. trotz Verdrängung von Herz und Mediastinum nach der gesunden Seite trotz dieser Wirkung eines jeden Pneumothorax die Negativität der intacten Seite behauptet oder gar vergrößert, so muss eine Compensation dieses Einflusses stattgefunden haben, welche in einer Veränderung der Gleichgewichtsstellung der betreffenden Thoraxhälfte erkannt werden muss.

Der Ventilpneumothorax mit seiner sehr starken Luftfüllung scheint beim Hunde positive Druckschwankungen auch auf der gesunden Seite zu bedingen. Einmal wurden sogar $+ 300$ mm H₂O für die Expiration notirt.

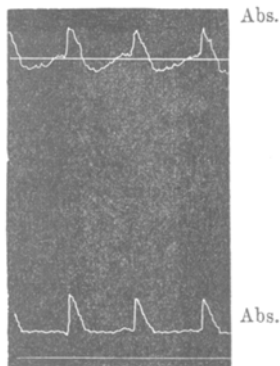


Fig. 15.

Einfluss des eng-offenen Pneumothorax auf die gesunde Seite beim Hunde.
(Untere Reihe: pneumothoracische Seite; obere Reihe: gesunde Seite.)

Varietäten der Athmung bei normalen Brustorganen.

Schliesslich mögen 2 Abarten der normalen Athmung folgen. Bei der einen handelt es sich um eine stürmische, mit Stöhnen verbundene Athmung, welche hohe positive Werthe producirt, aber endlich wieder zur Norm zurückkehrte. Wegen Schlenderung des Schreibhebels ist die Curve nicht zur Reproduction geeignet. Dagegen verdienen zwei Curven wiedergegeben zu werden, von denen die eine wohl jeder Kenner für die Curve eines entstehenden (siehe Fig. 16), die andere für die eines vollkommenen Pneumothorax halten würde (siehe Fig. 17).

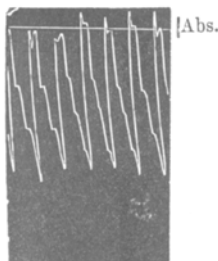


Fig. 16.

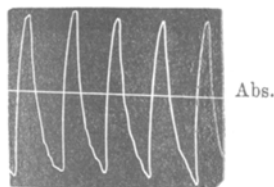


Fig. 17.

Curven bei schnarchender Athmung des Kaninchens.
(Speichelfluss durch Aethernarkose.)

Indess stellen sie nur die Druckschwankungen im Thorax bei einer an Schnarchen erinnernden Athmung dar. Die Durchschnittswerthe für die letzte Curve sind $+ 60$ mm H₂O für Expiration und $- 60$ mm H₂O für die Inspiration. 68 Athemzüge in der Minute wurden gezählt. Die Curven stammen von einem grossen, sehr fetten Kaninchen, das vor und während des Aufschreibens infolge der angewendeten Aethernarkose stark speichelte. Auf $\frac{1}{2}$ Spritze Chloral änderte sich die Athmung. Die Curvenausmessung ergibt für Expiration $- 15$ bis $- 18$ mm H₂O, für Inspiration $- 50$ bis $- 55$ mm H₂O. Bei der Section fand sich keine Lungenverletzung. Die Lungen liessen sich aufblasen. Das Mediastinum war mit grossen Massen von Fett ausgepolstert, so dass die Pleurahöhle sehr eng war, woraus sich die niedrigen Druckwerthe erklären lassen (Versuch vom 29. Juli).

Von den mitgetheilten Resultaten meiner Untersuchungen dürfte die durch den Thoraxdruckmesser ermöglichte, genauer präcisirte Erkenntnis des grossen Einflusses, welchen die oberen Luftwege für den Athemmechanismus haben, von praktischem Interesse sein. Es sei daher der klinischen Erwägung die Entscheidung anheimgestellt, ob aus den constatirten Veränderungen nach Eröffnung der Luftröhre eine Indication für die Ausdehnung der Tracheotomie auf geeignete Fälle der durch erschwerte Expiration charakterisirten Krankheiten abgeleitet werden kann; desgleichen, ob die Anwendung der Tracheotomie bei gewissen Formen des Pneumothorax rathsam erscheint. Sollte, wie es den Anschein hat, durch sie der Umfang des Luftwechsels herabgesetzt werden, so würden die Heilungschancen für die Rissstelle im Lungengewebe bei nach innen offenem Pneumothorax sich verbessern, da die Entwicklung eines organischen Verschlusses durch Narbenbildung weniger den Zerrungen, wie sie im Gefolge umfangreicherer Respirationen auftreten, ausgesetzt wäre.

Zum Schlusse erfülle ich die angenehme Pflicht, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Geh. Hofrat Professor von Kries, für die Bereitwilligkeit, mit der mir die Hilfskräfte und Mittel des physiologischen Institutes zur Verfügung gestellt wurden, meinen tiefgefühltesten Dank zu sagen. Ebenso bin ich zu grossem und herzlichem Dank Herrn Privatdocent Dr. Nagel verpflichtet für die Liebenswürdigkeit, mit der er auf meine Intentionen einging und mich bei einem grossen Theile der Versuche in wirksamster Weise unterstützte.