Experimentelle Untersuchungen über die Atembewegungen beim offenen Pneumothorax.

Von

Dr. Kokichi Izumiyama.

(泉 山 幸 吉)

(Aus der chirurgischen Universitätsklinik zu Sendai.
Direktor: Prof. Dr. S. Sekiguchi.)

Inhaltverzeichnis.

Kap. I. Einleitung.

1. Ist das Druckdifferenzverfahren bei der intrathorakalen Operation gänzlich überflüssig?
2. Pathologie des offenen Pneumothorax und das Ziel meiner Experimente.

Kap. II. Grundsätzliche Faktoren bezüglich der Atembewegungen.

1. Normale Respirationstypen.
2. Struktur und Beschaffenheit des Mediastinalblattes.

Kap. III. Vorbereitung und Versuchsordnungen.

1. Registrierung der Atmungskurve.
2. Röntgenuntersuchung beim offenen Pneumothorax.

Kap. IV. Erklärung der Resultate der Experimente.

1. Einfluss des offenen Pneumothorax auf die Atmungskurve bei Hunden.
2. Einfluss des offenen Pneumothorax auf die Atmungskurve bei Kaninchen.
3. Das Röntgenbild des offenen Pneumothorax der Hunde.
4. Das Röntgenbild des offenen Pneumothorax der Kaninchen.

Kap. V. Einseitige Lungenresektion ohne Druckdifferenzverfahren bei Hunden.

Kap. VI. Schluss.

Protokolle.

Literaturverzeichnis.

Kap. I. Einleitung.

1. Ist das Druckdifferenzverfahren bei der intrathorakalen Operation gänzlich überflüssig?

Wie allgemein bekannt, hat die Lungen- und Thoraxchirurgie durch Anwenden des Druckdifferenzverfahrens einen bahnbrechenden Fortschritt

gemacht, weil verschiedene drohende Begleitsymptome, die die Folge des offenen Pneumothorax sind, durch die Anwendung jenes Verfahrens ganz und gar beseitigt worden sind.

Nun überraschte uns im Jahre 1913 Du val mit dem Bericht, dass er mit der ausgedehnten Thoraxsektion bei dem rezidierten Brustdrüsenkrebs Erfolg gehabt hätte, ohne Anwendung des Druckdifferenzverfahrens. Er liess dann weiter noch einige Berichte veröffentlichen, die auf das gleiche Ergebnis hinwiesen. Auf Grund seiner Versuche nahm er an, dass bei der intrathorakalen Operation das Druckdifferenzverfahren nicht unbedingt nötig sei, d. h. bisher die Gefahr des einseitigen, offenen Pneumothorax etwas überschätzt worden sei.

Wenn seine Annahme wohl begründet wäre, dann müsste es eine Tatsache von ausserordentlicher Wichtigkeit sowohl für die Pathologie des Pneumothoraxes als auch für die Thoraxchirurgie sein. Aber sie hat bis heute weder die Aufmerksamkeit der Chirurgen noch anderer medizinischer Forscher auf sich gezogen.

Da brach der Krieg aus, der den Chirurgen Anlass gab, eine grosse Anzahl von Fällen des durch Verletzungen an der Brust verursachten offenen Pneumothorax beobachten zu können. Die Berichte stimmten darin überein, dass sie die Seltenheit der todesgefährlichen Symptome hervorhoben und die Fälle mit guter Prognose etwas übertrieben aufzählten. Dies erweckte vor allem das Interesse der französischen Chirurgen; im Jahre 1922 veröffentlichte Du val ganz ähnliche Berichte und ausserdem noch die Ergebnisse einiger Tierexperimente, dann, im Jahre 1923, berichtete Jaquet über 9 von ihm gemachten chirurgischen Fällen von Lungenverletzungen aus dem Feld. Bei 8 Fällen davon trat beinahe keine Dyspnoe ein und ihr allgemeiner Zustand war auch gut, während der eine Fall die Resektion des Oberlappens der Lunge nötig machte, gleich aber ein Lungenkollaps eintrat. Jaquet fügte noch das Resultat seiner Experimente an Hunden hinzu, das uns aber nichts Besonderes brachte.

Jedenfalls hat seine Veröffentlichung das lebhafte Interesse für das Gebiet unter den deutschen Forschern hervorgerufen. Z. B. vermittelte sie Konjetzung der deutschen Gelehrtenwelt und fügte seine verneinende Behauptung hinzu. Er sagte vor allem, dass unter allgemeinen Umständen Pneumothoraxbildung bei der einseitigen Thoraxotomie den Tod herbeiführe, im Gegenteil zum Resultat des französischen Forschers, und dass dieser den Fall ganz ignoriert habe, wo Hunde beim Eröffnen der Thoraxhöhle am Lungenkollaps sterben.

In Japan wurde dieses Thema zweimal im chirurgischen Kongress

von Japan behandelt, einmal im Jahre 1925, und einmal in diesem Jahr (1926), wo es eine starke Debatte hervorrief.

Die gleich im Anfang von mir gestellte Frage, ob das Druckdifferenzverfahren überflüssig sei, d. h. ob die bisherigen experimentellen sowie klinischen Untersuchungen in Bezug auf Pneumothorax ganz wertlos seien; das ist das Hauptziel meiner Versuche.

Wenn man die Geschichte in Betracht zieht, so sieht man, dass das Druckdifferenzverfahren eine Erfindung darstellt, die nicht nur auf Tierexperimenten, sondern auch auf den mit mühsamen Arbeiten verbundenen Operationsfällen begründet ist. Um ein etwas altes Beispiel zu nehmen, aus der Zeit, wo man noch kein Druckdifferenzverfahren kannte, hatte N. Amburger die bis zum Jahre 1901 gemachten 56 Operationsfälle der Geschwülste der Brustwand und des Mediastinums gesammelt und sie zusammen mit 5 Fällen seiner eignen Experimente veröffentlicht, wonach von jenen 56 Fällen 17 den gleichen Tod direkt nach der Operation fanden, 20 Rezidiv waren und 19 gänzlich geheilt wurden, während bei seinen eignen Fällen 2 starben, 3 Rezidiv waren und 1 geheilt wurde.

Dann versuchte Trezbicky im Jahre 1902 beim Tumor partielle Resektion der Thoraxwand; bei 5 Fällen starben 2.

Jurgeljunas exstirpierte den 2 mal rezidierten Myxosarcom an der Brustwand, der Patient starb nach 8 Stunden am Kollaps.

Jorek operierte einen Fall von Brustwandsarkom, er wandte dabei der Brustwunderöffnung Tamponade der Wunde an. Der Patient starb nach 28 Stunden am Shock.

Am interessantesten bei den eben erwähnten Fällen von Geschwülsten ist die Tatsache, dass die Eröffnung einseitiger Brusthöhle selten von der bedeutungsvollen Dyspnoe begleitet wird, vielmehr allem Anschein nach der Patient ruhige Atemzüge ausführen kann.

Dagegen im Fall von Verletzungen, die den offenen Pneumothorax verursachten, waren die Atemzüge des Patienten durchaus nicht so ruhig, wie im Fall von Geschwülsten.

2 Fälle, die Sauerbruch erlebte, sind typischer Art, darum möchte ich sie hier als Beispiel anführen:

Ein Student, der beim Duell eine Stichwunde auf der seitlichen Brustwand bekommen hatte, wurde gleich von Dypnoe, Zyanose und Herzschwäche befallen. Zufälligerweise bekam er zugleich einen heftigen Hustenanfall, der zur Folge hatte, dass die kollabierte Lunge in die Interkatalwunde gepresst und in die gegeneinander parallel laufenden Rippen hineingekeilt und fixiert wurde. Alle ungünstigen Symptome verschwanden.

den dadurch und der Patient erstarkte so weit, dass er sogar zu Fuss in die Klinik gehen konnte. Jedoch als dort dem Patienten die eingekeilten Lungenlappen, zum Zweck der Wundbehandlung, wieder in die Brusthöhle hineingesteckt wurden, traten wieder die früheren, gefährlichen Symptome auf.

Ausserdem konnte Sauerbruch einen Fall feststellen, wo mit der Bildung des einseitigen Pneumothorax die Mediastinalblätter übermässig ausgedehnt und zerstört wurden. Man sagt, dass solche Krankheitsfälle in der Kriegszeit bei den Verletzungen immer wieder vorkamen.

Wie die kleine Anzahl der obigen Experimente schon deutlich zeigt, können Menschen zuweilen den einseitigen offenen Pneumothorax gut ertragen, aber es ist gar nicht ausgeschlossen, dass sie auch dem Kollaps einfach erliegen und sterben.

2. Pathologie des offenen Pneumothorax und das Ziel meiner Experimente.

Es gibt eine grosse Anzahl Theorien oder Hypothesen der verschiedenen Forscher über die Ursachen der drohenden Folgezustände bei der Pneumothoraxbildung. Die wichtigsten darunter sind :

A. Theorie des Hin- und Herflatterns des Mediastinums.

Wegen der Weichheit und Dehnbarkeit der Mediastinalblätter wird beim Tier mit dem Atemzügen intrathorakale Druckveränderung der beiderseitigen Brusthöhle hervorgerufen, und im Zusammenhang damit fängt das Mediastinum an, beim Inspirium auf Seiten der gesunden Brust, beim Expirium dagegen auf Seiten des Pneumothorax hin und her zu flattern, was beim betreffenden Tier den Gaswechsel bedeutend stört und infolgedessen Dyspnoe hervorruft. Besonders stark drückt das Herz die gesunde Lunge gegen die Brustwand hin ; die Folge davon ist die sogen. Pressatmung.

Dabei ist zu bemerken, dass beim Inspirium das Mediastinalblatt der kollabierten Lunge oder auch oft das Herz aus der Öffnung herniaartig vorspringt; wenn es so gelassen wird, unterliegt das Tier dem Erstickungstode.

Sauerbruch hat schon erkannt, dass solche Erscheinung mehr beim Tier, besonders bei Hunden zu beobachten ist, als bei Menschen. Die wirkliche Ursache derselben scheint in der niedrigen Resistenz oder Nachgibigkeit des Mediastinums zu liegen. Es kommt deshalb sehr oft vor, dass bei Menschen wegen der pathologischen Verdickung, Verwachsung

oder Infiltration des Mediastinalblattes keine gefährlichen Symptome eintreten. Es gibt auch Fälle, wo ein Patient dank der angeborenen Stärke des Mediastinalblattes sehr gut den einseitigen Pneumothorax überwindet. Die Stärke desselben ist je nach der Gattung der Tiere und auch individuell ganz verschieden, so dass die Überwindung des Pneumothorax nicht immer zu erhoffen ist. Das Schlimme dabei ist, dass man bei Menschen vor der Operation dafür keinen Anhaltspunkt finden kann.

B. Pendellufttheorie von Brauer.

Selbst im Fall, wo das Mediastinalblatt ziemlich starke Resistenz hat und infolgedessen kein Mediastinalflattern eintritt, ist der offene Pneumothorax immerhin mit gefährlichen Symptomen verbunden. Um solchen Fall zu erkennen, ist die Pendellufttheorie da.

Wie die inspiratorische Saugkraft einerseits durch Trachea auf die Aussenluft wirkt, so erreicht sie anderseits auch die retrahierte Lunge. Auf gleiche Weise wirkt die expiratorische Luftaustreibung gleichfalls durch Trachea und Bronchien der Pneumothoraxlunge auf die Aussenluft sowie die retrahierte Lunge. Die Folge ist, dass zwischen der gesunden und Pneumothoraxlunge beständig hin und her verkehrende kohlenensäurereiche Luft sich lagert, was den Gasaustausch auf enorme Weise stört. Es hat wiederum zur Folge, dass die retrahierte Lunge sich bei der Expirationsphase erweitert und bei der Inspirationsphase schrumpft. Das nennt man paradoxe Atmung.

Weitere Erscheinungen, deren Mitwirkung noch bestritten werden: Paradoxe Zwerchfellbewegung (s. Bittorfs Phänomen), Zirkulationsstörung (besonders deren Wirkung aufs Herz) oder Pleuralreflex etc. müssen auch als ursächliche Momente der stürmischen Erscheinungen betrachtet werden. Man darf ruhig die gefährlichen Symptome des Pneumothorax allen solchen Ursachen oder dem Zusammenwirken solcher Erscheinungen zuschreiben.

Man möchte sagen, dass die Behauptung, die das Druckdifferenzverfahren für zwecklos hält, wie von Duval, nur für verhältnismässig leichte Fälle gelten kann, und es ist wohl anzunehmen, dass ein Mann, wie Sauerbuch, der die drohenden Zustände der schweren Fälle selbst beobachtet hat, stark dagegen sein würde.

Ich glaube, dass bei Menschen die Erscheinung bald derjenigen der Kaninchen, bald derjenigen der Hunde ähnlich ist, d. h. es gibt ganz verschieden geartete Fälle. Um den menschlichen Pneumothorax genau studieren zu können, muss man die eingehende vergleichende Forschung der Folgezustände beider Tiere als unbedingt nötige Vorarbeiten hinstellen.

Wegen des Grundes, auf den ich später noch einmal zurückkommen werde, will ich zuerst zu beobachten versuchen, in welchem Verhältnis die obengenannten gefährlichen Symptome zu dem Mechanismus der Atembewegungen stehen. Es ist eine allgemein bekannte Tatsache, dass normale Menschen aus verschiedenen Umständen bald vornehmlich auf Kostalatemung, bald nur auf Abdominalatemung angewiesen sind, oder dass derselbe Mensch beide zugleich ausführt. Trotzdem die wichtigen Zusammenhänge, die direkten und indirekten, zwischen diesen Typen der Atembewegungen und Pneumothoraxbildung gar nicht zu verleugnen sind, haben die bisherigen Forscher nichts unternommen, diese Frage eingehend zu studieren, mit Ausnahme von Sehrwald. Dieser beobachtete die Atembewegung beim Pneumothorax und kam zum Resultat, dass sie im Vergleich zum normalen Zustand 4 bis 5 mal verstärkt sei. Dabei ist sein Bericht über die gegenseitigen Zusammenhänge zwischen dem Kostal- und Abdominaltypus ganz ungenügend.

Ferner ist es klinisch selbstverständlich nicht zu leugnen, dass die Typen der Atembewegungen während der Operation sowie der postoperativen Behandlung innige Zusammenhänge mit der Körperlage und dem allgemeinen Zustande des Patienten haben; aber ausserdem ist auch ihr Zusammenhang mit obengenannten Lungenkollaps, Mediastinalflattern, Pendelluft, paradoxen Atmungen und andern pathologischen Erscheinungen des Pneumothorax kaum zu bezweifeln. Ich habe es mir deshalb zum Hauptziel meiner Studien gemacht, die Atembewegungen bei der Pneumothoraxbildung eingehend zu beobachten, und will nebenbei das Resultat meiner Forschungen mit denen der andern genau vergleichen. Ferner habe ich nicht versäumt, die folgenden aktuellen Fragen zu berühren:

1. Das Verhältnis der Grösse der Öffnung zur Gefährlichkeit des Pneumothorax,
2. Die Differenz zwischen primärer und sekundärer Öffnung,
3. Den Grund der Verschiedenheit der Gefährlichkeit, je nach der Seite der pneumothoraxbildenden Brust, und
4. Die Differenz der Gefährlichkeit des Pneumothorax, je nach der Art der Tiere. (Hunde od. Kaninchen).

Kap. II. Grundsätzliche Faktoren bezüglich der Atembewegungen.

Ehe ich die Resultate meiner Forschungen erwähne, will ich einige dazugehörige wichtige, grundsätzliche Faktoren hervorheben.

Bisher wurde als grundsätzlicher Faktor die anatomische Verschieden-

heit zwischen dem Brustkorb und dem Mediastinum in Betracht gezogen, um die Verschiedenheit der Pathologie des Pneumothorax bei Kaninchen und Hunden zu erklären. Betonen möchte ich nun aber, dass dabei noch die physikalischen d. h. funktionellen Unterschiede eine sehr wichtige Rolle spielen. Als Begründung dafür muss darauf hingewiesen werden, dass der Gefährzustand bei dem Pneumothorax ausschliesslich davon abhängt, ob die Zunahme der kompensatorische Atembewegungen auf die Aufnahmefähigkeit des Sauerstoffes der Lungen erfolgreich wirkt oder nicht. Daraus kann man mit Sicherheit annehmen, dass die Änderungen im Typus der Atembewegungen dabei sehr wichtig sind.

Von diesem Standpunkt aus will ich die darauf bezüglichen grundsätzlichen Faktoren folgendermassen formulieren :

1. Normalen Respirationstypen.

Wie schon Hultkranz und Plesich etc. behauptet haben, werden bei ruhiger Atmung ca. $\frac{2}{3}$ des gesamten Atemvolums mittelst der Rippenhebung und ca. $\frac{1}{3}$ mittelst der Zwerchfellbewegung aufgenommen, was jetzt in der Physiologie der Atembewegung als Grundsatz angeführt wird. Ist es doch auch eine allgemein bekannte Tatsache, dass bei Menschen unter Umständen hauptsächlich Kostalatmung oder umgekehrt vornehmlich Abdominalatmung ausgeführt wird. Es gibt auch Fälle, wo zu ihrer vollen Funktion beiderlei Atmungsarten sich gut vertragen und sich ergänzen.

Bei Kaninchen sind Abdominalatmungen schon Lebensgewohnheit geworden. Weil diese Eigenart der Kaninchen bei der Bildung des Pneumothorax eine wichtige Rolle spielt, will ich mich etwas eingehender darüber aussprechen und vor allem ihrer Ursache nachgehen.

A. Entwicklungsverhältnisse des Brustkorbes.

Wie in der Anatomie erklärt wird, ist bei Kaninchen die Entwicklung der Brust oberhalb der 7. Rippe sehr mässig und als Folge davon die obere Hälfte des Brustkorbes ungemein klein ; die wichtigen Atemmuskeln, die direkt mit der Rippenhebung zu tun haben, haben alle ihre Ansatzstelle oberhalb der 7. Rippe. Kürzlich stellte Wennekebach Untersuchungen über den Unterschied der Respirationstypen an und fand auf Grund der funktionellen Zusammenhänge der Atem- und Interkostalmuskulatur, dass nur die Rippen oberhalb der 7. sich an den Kostalatemungen beteiligen, während diejenigen unter der 7. weiter nichts als passive Bewegungen

machen, die man also mit Recht als Hilfsapparat der Zwerchfellbewegung betrachten dürfe. Danach hat er die bisherigen Bezeichnungen: Kostal- und Abdominalbewegungen aufgegeben und sie durch obere Atmung für die vermittelt der Hebung der oberen Rippen, d. h. der Rippen oberhalb der 7. gemachte Atmung und die untere Atmung für die Bewegung der Hebung der unteren Rippen und des Zwerchfells ersetzt. Dieser von ihm gemachte Unterschied ist klinisch sehr bedeutungsvoll. Wenn man nun dies auf normale Kaninchen anwendet, kann man sagen, dass Kostalatmung an sich für Kaninchen ganz unbedeutend ist, weil die Entwicklung ihres Brustkorbes so primitiv ist.

Das Gegenteil ist bei Hunden der Fall; an gleichmässig guter Entwicklung des Brustkorbes übertreffen sie gewissermassen den Menschen. Nach der Anatomie von Ellenberger und Baum hat die 7. Rippe sowohl rechts als links ihre Lage $\frac{1}{3}$ höher als die Unterlappen der Lunge.

B. Entwicklungsverhältnisse der einzelnen Lungenlappen.

Bei Kaninchen ist die Entwicklung der Oberlappen sehr mässig, selbst die Mittellappen entwickeln sich im Vergleich zu denjenigen der Hunde oder Menschen weniger. Es ist nicht übertrieben, zu sagen, dass der grösste Teil der Lungenhöhle ausschliesslich von den Unterlappen eingenommen wird. Das steht natürlich eng mit dem geringen Entwicklungsgrad des Brustkorbes im Zusammenhang und darin ist der Grund der unbedeutenden Kostalatmung zu sehen. Es erübrigt sich zu bemerken, dass Unterlappen der Lungen durch Zwerchfellbewegungen erweitert werden.

C. Brustkorb in sitzender Lage.

Für gewöhnlich haben Kaninchen eine sitzende Haltung, wobei sie die Vorderbrust auf die Erde drücken. Diese Lage erzwingt bei ihnen nicht Kostal-, sondern Abdominalatmung, die ihnen dadurch zur Gewohnheit wurde. In der Tat kann man bei Seitenansicht der Kaninchen sehr gut beobachten, wie lebhaft die Bauchbewegungen bei ihnen sind.

D. Form der Wirbelsäule.

Der Brustwirbel der Kaninchen beugt sich bogenförmig stark nach hinten und geht in den Lendenwirbel über. Bei solchem Zustand ist man einfach zu forcierten Atmungen gezwungen, wie die Pathologie der Atmung lehrt, wenn man überhaupt Brustatmung machen will.

E. Atemzüge bei fixierter Lage.

Bei der Rückenlage, was bei Versuchen immer der Fall ist, beschränken sich Kaninchen beinahe ausschliesslich auf Abdominalatmungen, während von Hunden in Rücken- und Bauchlage beide Atmungsarten parallel gemacht werden.

F. Grösse des Zwerchfells und seines Bewegungsgrades.

Beides ist durch Röntgenbefund sehr klar erkannt (Vergleich Kap. III). Bei normalen Atmungen der Kaninchen hat die Bewegung der Zwerchfellkuppe in den meisten Fällen die Amplitude der Breite von 2 Interkostalräumen; bei Hunden die Amplitude eines Interkostalraumes, selten die von anderthalb.

Grösse und Ausbreitung des Zwerchfells selbst ist bei Kaninchen im Vergleich zur Grösse der Thoraxhöhle sehr gross.

2. Struktur und Beschaffenheit des Mediastinums.

Was in der Pathologie des offenen Pneumothorax das Hauptinteresse bildet, ist die Struktur des Mediastinums. Seit der Theorie des Mediastinalflatterns von Garré gab es fast keinen, der diese Frage nicht berührte. Aber sie gaben alle nur einfache Beschreibung oder Hypothese, so dass wir bis heute noch nicht zur Lösung dieser Frage gelangten.

A. Widerstandsfähigkeit der Dicke des Mediastinalblattes.

Allgemein bekannte Tatsache ist, dass bei Kaninchen das Mediastinalblatt eine verhältnismässig dicke und gespannte Membran bildet, während es bei Hunden sehr dünn und faltenreich ist, so dass es den Eindruck eines suspendierten durchsichtigen Vorhanges macht.

Aber diese Tatsache kann nur im grossen und ganzen erkennen, während im einzelnen stimmen die Resultate nicht immer überein. Ich hatte einen Fall, wo ein Hund ohne irgendwie an entzündlicher Verdickung zu leiden, ein angeboren dickes Mediastinalblatt hatte, das die Dicke eines Kaninchens übertraf; es entsprach nämlich der Dicke des Centrum tendineum des Zwerchfells. Gleichfalls beobachtete ich bei 2 Kaninchen ein dünnes, faltenreiches und dehnbare Mediastinalblatt, so dass es, genau wie das des Hundes, bloss durch Fingerdruck zerstört werden konnte. Es ist also nicht wenig bemerkenswert, dass die Dicke des Mediastinalblattes nicht immer

von der Verschiedenheit der Gattung der Tiere abhängig ist, sondern auch bei gleicher Gattung sehr verschieden sein kann.

B. Widerstandsfähigkeit der Dichtigkeit des Mediastinalblattes.

Nach der Beschreibung von O. Bruns heisst es, dass Mediastinum ein ganz unregelmässig angeordnetes Netz bildet, das eine Unzahl elastischer Fasern enthält, worin sich Lymphgefässe und spärliche Blutgefässe verzweigen, und über dessen Oberschicht sich platte Epithelzellen ausbreiten; in der Umgebung der Gefässe lagern sich häufig Fettzellengewebe ab. Innerhalb der Epithelzellen ist meist eine verschieden grosse Zahl der sogen. Davidoff'schen Stomata, die zum Teil von Leukozyten verschlossen sein sollen. Es ist ganz natürlich, anzunehmen, dass das Mediastinum, wenn das Tier fettreich ist, reichliche Fettablagerung bekommt, und es infolgedessen an Dicke und Schwere erheblich zunimmt.

Über das Vorhandensein der Davidoff'schen Stomata sind die Meinungen sehr verschieden. Wenn es Tatsache ist, dass die Luft durch diese Stomata in die Pleurahöhle der beiden Seiten ungehindert hin und her strömen kann, so muss es eine ganz natürliche Folge sein, dass der einseitige Pneumothorax zugleich beiderseitigen Pneumothorax hervorruft. Diese Frage bildet gegenwärtig den Mittelpunkt der starken Debatte innerhalb der pathologischen Physiologie des Pneumothoraxes. Graham und Bell bewiesen schon an der Leiche der Hunde, und zwar auf Grund der Druckverhältnisse des Pneumothoraxes, dass bei diesem beide Seiten im Zusammenhang stehen. Dann war es Duval, der bei Hunden mit roten Blutkörperchen aufgeschwemmte Kochsalzlösung in eine Pleurahöhle einspritzte und auf diese Weise die Verbindung beider Brusthöhlen feststellen konnte.

Was aber hier nicht zu übersehen ist, ist die Möglichkeit, dass die in eine Pleurahöhle gedrungene Luft ganz widerstandslos in die gesunde Pleurahöhle hineindrückt, als wäre da gar kein Mediastinalblatt vorhanden.

Ein dritter Fall ist auch sehr wohl möglich, dass das zarte dünne Mediastinalblatt durch hineingedrungene Luft einfach zerbrochen wird. Da muss der Schaden einer Höhle gleich die andere beeinflussen. Dieser Zerstörungsakt wird nur verstärkt, wenn mit dem Erscheinen der Dyspnoe die Atembewegung vielfach heftiger wird als im normalen Zustand.

C. Von der besonders schwachen Stelle des Mediastinalblattes.

Selbst wenn das Mediastinalblatt einen gewissen Grad der Dicke und Dichtigkeit zu haben scheint, so ist es doch, wenn man es genau ansieht, in

seinem ganzen Teil von vorn herein nicht gleichmässig dick.

Brauer, Bruns etc. demonstrierten uns an Leiche und Röntgenbild, dass bei Menschen das Mediastinum anticum (d. h. die Zwischenstelle der Hinterfläche im Sternum und des Herzbeutels) ausserordentlich zart, weich und dehnbar sei. Kürzlich zeigte uns Nitsch in stereoskopischen Bildern die zweite schwache Stelle. Um es genauer zu beschreiben: Sie befindet sich hinten unten im Mediastinum, wo sie hinten durch Wirbelsäule und Aorta, vorn durch Ösophagus und Herz abgegrenzt wird. Das ist die Stelle, wo beide Pleurae mediastinales sich bedeutend nähern und zusammen mit Aorta, Ösophagus und anderen kleinen Gebilden die Thoraxhöhle mitten durchschneiden, wobei Aorta ein wenig links an der Wirbelsäule läuft und vorn Ösophagus hat. Während dieser bloss durch lockeres Bindegewebe daran hängen bleibt, wird jene vermittelt ihrer Äste, Interkostalarterien daran fixiert. Da sieht man, wie leicht Pleura mediastinalis durch das Aufsteigen des einseitigen intrathorakalen Druckes in solche Zwischenräume der Organe sackartig ausbuchten kann. Dies ist die Stelle der sogen. Recessus pleurae, bei der die eine Pleura ohne irgend eine pathologische Veränderung in die andere Pleurahöhle tief eindringen kann.

Die Berichte von Nitsch beschreiben die Stelle mit bisher beispielloser Ausführlichkeit, aber leider fehlt es bei ihnen an der Beschreibung der Vena cava inf., die mit der Art und Weise des Hineingeratens der Unterlappen im innigen Zusammenhang steht.

Weil ich bei Kaninchen und Hunden über die topographisch-anatomischen Unterschiede der Vena cava inf. einige Untersuchungen anstellte und weil diese Kenntnis für das Studium im Röntgenbild des Pneumothoraxes sehr wichtig ist, will ich das Ergebnis meiner Untersuchung etwas eingehender berichten.

Fig. 1 zeigt, wie bei Kaninchen ein Teil der Unterlappen der rechten Lunge, d. h. ein Hauptteil des sogen. Lobus inferior medialis zwischen Ösophagus und Vena cava hindurch in die linke Pleurahöhle hineingerät; es geht manchmal so weit, dass infolge dessen ihre Spitzen bis an, bzw. die Hinterfläche des Sternums gelangen.

Wie ich später im Abschnitt über das Röntgenbild noch eingehender berichten werde, sieht man beim einseitigen Pneumothorax des Kaninchens nicht nur das Herz selbst eine seitliche Verschiebung machen, sondern es sich hochgradig nach Apertura thoraci hin erheben. Dabei sind die topographisch-anatomischen Verhältnisse besonders klar zu erkennen.

Bei der Mediastinalscheidewand besteht an der Stelle, wo sich die rechten Unterlappen in der linken Thoraxhöhle, nur Pleura mediastinalis

Fig. 1. Unteres Mediastinalblatt (Ansicht der linken Pleurahöhle).

H: Herz. Z: linkes Zwerchfell. V: V. cava inf.

N: N. phrenicus. M: Schwaches Mediastinalblatt.

S: Sonde, von der rechten Pleurahöhle geführt.

St: Sternum. L: linker unter Lungenlappen.

in der Mitte, der linken Lunge dicht nähern, weiter nichts als die eng zusammenliegende Pleura mediastinalis, ohne irgend ein lockeres Bindgewebe dazwischen. Selbst wenn das Mediastinum reiche Fettlagerung hat, ist diese Stelle immer fettfrei, dünn und zart, so dass es nur einem zarten Membranblatt ähnlich ist.

Als Brauer, Bruns und noch andere Forscher die ziemliche Dicke des Mediastinum post. annahmen, so meinten sie darunter nur die Stelle am hinteren Teil des Ösophagus, nicht diejenige, wovon jetzt die Rede ist. Nitsch selbst liess diesen Punkt ganz unklar, sogar das Bild der hier sehr wichtigen Vena cava kam in seinem Schema überhaupt nicht vor.

Ellenberger und Baum meinten, dass die mediastinalen Lappen des Hundes, ein Teil der rechten Lunge (entsprechend dem Lobus inferior medialis der Kaninchen), sich in einer besondern Tiefe des Mediastinum (um ihren Ausdruck zu gebrauchen: der Nische) zwischen der rechten und linken Lunge befinden, dass sie oben sich der unteren Fläche des Herzbeutels, unten dem Zwerchfell anschliessen, während Vena cava an ihrer rechten Seite hin verläuft (Fig. 2). Aber weil sie eben keine Chirurgen gewesen, gaben sie auf die Dicke und Dichtigkeit des Mediastinalblattes wenig acht und ahnten gar nicht, wie bedeutungsvoll diese für den Pneumothorax sind.

Fig. 2. Schema der Mediastinalscheidewand beim Kaninchen.

So enthält die topographische Anatomie viele wichtige grundsätzliche Faktoren, die für die Theorie in Bezug auf die Gefahr des einseitigen Pneumothorax, besonders für den Unterschied in der Gefahr des rechten und linken Pneumothorax eine entscheidende Rolle spielen, so dass kein Forscher auf diesem Gebiete daran vorübergehen darf.

Kap. III. Vorbereitung und Versuchsordnungen.

Bei Hunden werden die Experimente unter Morphin-Injektion oder ohne Narkose unternommen.

Um die Hunde allmählich an die Umgebung und Prozedur zu gewöhnen, lässt man sie unangekettet im Laboratorium, wo sie zirka eine Woche lang täglich fast eine Stunde in Rückenlage auf den Operationstisch geschnallt werden. Dabei wird dafür gesorgt, dass es im Laboratorium möglichst ruhig wird.

Bei Kaninchen werden die Experimente in der Regel ohne Narkose unternommen: Es wird zuerst eine Hautdesinfektion mit Jodtinktur und Vucinalkohol gemacht, dann werden unter Lokalanästhesie mit Tutokain Haut und Interkostalmuskel möglichst weit und breit gespalten, damit die Pleura costalis entblösst wird, wobei die subpleurale Lunge und die Pleura pulmonalis klar durchzusehen sind.

Nach 5 Minuten Pause lässt man das Tier normale Atmungskurven ausführen, und dann macht man Öffnungen verschiedener Grösse an der Brustwand, indem man in die entblösste Pleura sticht bzw. dieselbe spaltet.

1. Registrierung der Atmungskurve.

Unter Atmungskurve verstehe ich hier für die Experimente zwei Arten Kurven:

A. Atmungsdruckkurve oder Kurve der Trachealatmung.

Das sind die Kurven, die mittelst des Quecksilbermanometers (bei Hunden) oder der Mareyschen Kapsel (bei Kaninchen), verbunden mit der Trachealkanüle, geschrieben werden.

Es gibt noch andere Methoden, wobei man keine Trachealkanüle, sondern einen Maskenapparat anwendet, der in seinem Inneren die Atmungskurve anreizt. (Die Messungsmethode, die von Valentin und Hutchinson geschrieben wurde, habe ich dabei teilweise aufgenommen).

Diese Maskenmethode hat den Nachteil, dass sie keinen absoluten, sondern nur einen relativen Druckwert zeigt, aber sie hat wieder den Vorteil, dass man bei dieser Methode dem Tier den unnützen Wundreiz ersparen kann. Auch muss sehr darauf geachtet werden, dass innerhalb der Maske keine Kohlensäurestauung stattfindet.

B. Atembewegungskurve oder Pneumatogramm.

Bei der Brustatmung der Tiere wird zum Ansatz des Fühlhebels auf der Medianlinie des Sternums die Höhe der Knochenknorpelgrenze der 6. Rippe gesucht, während er bei der Bauchatmung in die Mitte zwischen den Processus xyploideus und den Nabel gelegt wird. Im letzteren Fall wird keine absolute Grösse der Zwerchfellbewegungen, sondern nur ihr relativer Wert registriert.

Man kann also durch diese Methode auf Grund des Vergleichens der beiderartigen Bewegungen, der Brust- und Bauchatmungen, unmöglich das Veränderungsverhältnis der absoluten Grösse beider kennen. Vergleichen kann man nur bei Pneumothorax, d. h. in seiner Vor- und Nachbildungszeit, die Veränderungen der Amplitude. Trotzdem ist die Methode unentbehrlich, denn erstens ergänzt sie sehr gut, was die optische Kraft nicht leistet, zweitens erzielt sie bei weitem genauere Feststellung des Zeitverhältnisses als bei der optischen Betrachtung.

Der Gebrauch der Manschette, die beide Bewegungen zu gleicher Zeit registrieren kann, wird dadurch erschwert, dass die vordere Fläche der Brust- und Bauchwand zu eng ist und das Operationsfeld in unangenehmer Weise gestört wird. Der Phlenograph von Rosenthal hat auch den

Fehler, dass durch Aufmachen der Brusthöhle der Pneumothorax verschiedenen schlechten Einflüssen ausgesetzt wird.

Die Idee von mir, die im Anfang dieses Abschnittes erwähnten Stellen als Ansätze an der Brust- und Bauchwand auszusuchen, war die, dass ich durch das gleichzeitige Schreiben der beiden Bewegungen mir das Beobachten wesentlich erleichtern wollte.

Man muss Folgendes berücksichtigen: In den physiologischen Atemzügen zeigt sich der Trachealdruck jeder Phase der Atmung entsprechend bald positiv, bald negativ. Wenn aber die beiderseitigen Lungen total kollabiert werden, muss der Trachealdruck schon wegen der vollkommenen Erfolglosigkeit atmosphären Druck zeigen, selbst wenn die kompensatorischen Atembewegungen sehr verstärkt würden. Wie gesagt, die Gefahr des offenen Pneumothoraxes ist in ganz komplizierter Weise mit vielerlei eng verbunden; deshalb fehlte es bisher nicht an Gelehrten, die den Trachealdruck, den intrathorakalen Druck oder die Atembewegungen einzeln beobachteten. Es ist aber keinem einzigen gelungen, zu einem einigermaßen vollkommenen Ergebnis zu gelangen.

Bei meinen Untersuchungen konnte ich auf dem Wege der vergleichenden, parallelen Beschreibung beider Kurven die Änderung der kompensatorischen Atembewegungen und ihr Verhältnis zum Trachealdruck erörtern und auf die Weise den absoluten Wert des respiratorischen Gaswechsels feststellen.

Die Sauerbruch'sche Methode ist auch der meinigen sehr ähnlich, aber die Zahl seiner Experimente ist viel zu gering.

2. Röntgenuntersuchung beim offenen Pneumothorax.

Dieselben Vorbereitungen, wie beim vorigen Fall, werden auch hier getroffen; nämlich wird die Pleura costalis operativ entblösst, dann auf dem Röntgensschirm an der Brust Öffnungen gemacht.

Obwohl es nicht zu bestreiten ist, dass die Röntgenphotographie in Bezug auf die Brusthöhle und Brustwand einen ausserordentlichen Fortschritt gemacht hat, gelingt es noch sehr schwer, die Lage des Mediastinums oder die Grenze des Zwerchfells beim offenen Pneumothorax einzelnen Phasen der Atmung entsprechend gut aufzunehmen.

Obwohl Bittorf und Kienböck die sogen. paradoxen Bewegungen des Zwerchfells beschrieben haben, glückte es ihnen doch nicht, eine photographische Aufnahme zu bekommen. Kürzlich klagten Nitsch und Felix über die Schwierigkeit des Photographierens und sagten, dass man zur

Wiedergabe des Herzschatteus oder des feinen Atemmechanismus des Zwerchfells einfach auf kinematographische Darstellung angewiesen wäre. Die Bilder der Schatten des Pneumothoraxes, die auf den Röntgenschiem geworfen werden, ändern sich von Sekunde zu Sekunde, so dass es dem Beobachter vorkommt, als sässe er im Zug und liesse die Landschaft draussen vor den Augen flüchtig vorüberziehen. Darauf kann man sich wieder besinnen, wenn man es niederschreiben will, aber es ist unmöglich, es photographisch aufzunehmen. Trotz allen Nachdenkens und grosser Mühe, die ich mir gab, konnte ich nur eine kleine Zahl Bilder bekommen, die mir gefallen. Die Ursache der Schwierigkeit liegt darin, dass bei Kaninchen gleich nach der Thorakotomie die Vermehrung der Atemzahl eintritt, d. h. die über 200 bis 250 pro Minute geht, während bei Hunden Erscheinungen des Mediastinalflatterns zeitlich ganz unregelmässig vorkommen, wie man es aus später anzugebenden Atmungskurven sehen kann, so dass eine Gelegenheit zur Aufnahme schwer zu finden ist.

Die Schnelligkeit und komplizierte Beschaffenheit der Veränderung jener Bewegungen sind zu gross, um sie nachträglich aus dem Gedächtnis heraus genau niederzuschreiben. Was verhältnismässig gut zu benutzen ist, ist das das „Orthodiagramm“. Ich erfand eine Methode, die einigermaßen Erfolg hatte: Indem ich die Atemphasen zählte, schrieb ich schnell mit der Feder die Schattengrenze auf dem Röntgenschiem nieder. Nach oftmaligen Übungen stellte ich mit Freude fest, dass der Geschicklichkeit der menschlichen Hand zu trauen ist.

Kap. IV. Erklärung der Resultate der Experimente.

1. Einflüsse des einseitigen offenen Pneumothorax auf die Atmungskurve bei Hunden.

A. Veränderung des Atmungsdruckes.

Wir beobachten zunächst an der Kurve den Verlauf des Atmungsdruckes resp. der Trachealatmung: Wenn man der Brustwand eine kleine Öffnung (Durchmesser von ca. 0,5 cm bis 1 cm) bildet, tritt sogleich eine Verlängerung der Phase oder Vergrösserung der Amplitude ein (Figg. 4, 5 u. 6), mit andern Worten, die Vergrösserung der Tiefe oder der Länge einer Atmung. Die Hunde sind fähig, entweder durch beide oder eine der Atmungsarten den Gasaustausch gut zu regulieren; natürlich ist auch bei ihnen eine ziemlich atypische Form zu beobachten: Beim Hunde Nr. 13 stellen die aufsteigenden Schenkel eine grössere Höhe als die normalen dar,

Fig. 3. Thorakotomie und geschlossener Pneumothorax.

Hund Nr. 4. ♀, 14,45 kg. 22. Juli 1925.

T: Kurve d. Trachealatmung (von rechts nach links zu lesen; aufsteigende Schenkel: Expiration; absteigende Schenkel: Inspiration). Pfeil (4): Thorakotomie bei kleiner Öffnung (ca. 0,5 cm lang). Pfeil (5): Thorax geschlossen. Z: Zeitmark in 6 Sekunden. Sonst siehe Protokoll!

Fig. 4. Zweizeitige Thorakotomie.

Hund Nr. 1. ♀, 10,1 kg. 7. Juni 1925.

K: Kurve der Trachealatmung. Pfeil (2): Thorakotomie bei kleiner Öffnung (ca. 0,3 cm lang). Pfeil (3): Thorakotomie bei grosser Öffnung (ca. 4 x 1 cm lang). Pfeil (4): Bei dicht geschlossenem Thorax. Z: Zeitmark in 5 Sekunden.

die von den kleineren aufsteigenden Schenkeln begleitet werden (Figg. 5, A u. B). Da steigen die ersteren gleich ab und gehen in die letzteren aufsteigenden über, die verglichen mit der normalen Höhe nur eine ausserordentlich kleine bekommen. Das erweist, dass der betreffende Hund dabei nur mit Mühe den Gasaustausch macht. In der Tat aber sieht man bei ihm keine hochgradige Dyspnoe, und behalten die absteigenden Schenkel ungefähr die gleiche Höhe wie die normalen bei. Daraus kann man an-

nehmen, dass bei der kleinen Öffnung in der Thoraxhöhle der negative Druck in ungefähr normaler Stärke erfolgt.

Dagegen verschwinden bei der erweiterten Öffnung diese aufsteigenden Schenkel beiläufige und die Kurve nähert sich der Geradenlinie (Figg. 4, 5, 6 u. 7) oder wird ganz unregelmässig (Fig. 3). Dann nach 5, 6 bis 10 Sekunden befällt das Tier hochgradige Dyspnoe. Obwohl die auf- und absteigenden Schenkel dabei ab und zu eine übernormale Höhe zeigen,

Fig. 5 A.

Fig. 5 B.

Fig. 5 A und B. Dreizeitige rechtseitige Thorakotomie. Hund Nr. 13. ♀, 8,05 kg. 15. Februar 1926.

Z: Zeitmark in 5 Sekunden. T: Kurve d. Trachealatmung. K: Kurve der Kostalatmung

Pfeil I: Thorakotomie bei d. Öffnung (0,5 cm lang). Pfeil II: Thorakotomie bei d. Öffnung

(0,8 cm lang). Pfeil III: Thorakotomie bei d. Öffnung (2,5 cm lang). Pfeil IV: Schliessung

d. Öffnung.

Fig. 6. Einzeitige linksseitige Thorakotomie. Hund Nr. 5. ♀, 7,7 kg. 18. Juli 1925.

T: Kurve d. Trachealatmung. (1): Normale Atmungskurve. (2): Reiz d. operativen Manipulation? Pfeil (3): Thorakotomie bei grosser Öffnung. Pfeil (4): Beim geschlossenen Pneumothorax. Z: Zeitmark in 5 Sekunden.

können sie diese kaum sekundenlang beibehalten und werden gleich zur Geradlinie (atmosphärischer Druck). Die Kurve wird nämlich die senkrechte Linie gegen eine horizontale Linie entweder nach oben oder nach unten hin (Figg. 5 u. 7) bilden.

Diese Tatsache zeigt nämlich, dass bei der bedeutenden Vergrößerung der Amplitude die Phasen bis zum Maximum vermindern, d. h. Null geworden sind. Das bedeutet weiter, dass trotz der Bildungsfähigkeit des negativen und positiven Druckes der Gasaustausch vollständig versagt hat. Dies ist die typische Kurve, die man bei der Agonie der Tiere häufig sieht, einer der gefährlichsten Zustände. Diese Tatsache entspricht genau der Behauptung der bisherigen Forscher, die auf dem Befunde der Kurve des intrathorakalen Druckes beruht, ist also durchaus nicht meine Entdeckung. Der Unterschied ist, dass die von mir ausgeführte Kurve die direkte Wirkung von Ventilation zeigt, während die der andern die Darstellung der indirekten ist.

B. Verhältnisse zwischen Atemdruckveränderung und Atembewegungen.

Der Mechanismus von Ventilation wird bei weitem klarer, wenn man der Druckkurve die Kurve der Atembewegungen parallel stellt. Die Tatsache, dass bei der kleinern Öffnung der Hund nicht von hochgradiger Dyspnoe belästigt wird, sondern vielmehr den Gasaustausch, obwohl in unvollkommener Weise, doch regulatorisch ausführen kann, muss zugleich der vergrößerten Amplitude der Atembewegungen zugeschrieben werden (Figg. 5 u. 8). Dagegen bei der grössern Öffnung wird die Druckveränderung, d. h. der Gasaustausch gänzlich erfolglos, trotz der, verglichen zur normalen, vielfach verstärkten Atembewegung (Figg. 5 u. 7). Der Hund gerät dadurch in einen gefährlichen Zustand. Und gerade in diesem Augenblick werden die kollabierte Lunge, das Mediastinalblatt derselben Seite

Fig. 7. Einzeitige rechte Thorakotomie. Hund Nr. 12. ♂, 6,9 kg.
9. Januar 1926.

T: Kurve d. Trachealatmung. K: Kurve d. Kostalatmung.
Pfeil: Thorakotomie (grosse Öffnung). Z: Zeitmark in 4 Sekunden.

Fig. 8. Zweizeitige linke Thorakotomie. Hund Nr. 8. ♀, 20,60 kg.
28. Dezember 1925.

T: Kurve d. Trachealatmung. K: Kurve d. Kostalatmung.
Pfeil I: Thorakotomie (Öffnung von $0,5 \times 0,3$ cm).
Pfeil II: Thorakotomie (Öffnung von 4×1 cm).
Z: Zeitmark in 5 Sekunden.

und manchmal auch ein Teil vom Herzen in die Thoraxwunde hineingekeilt oder herniaartig eingeklemmt. Bei allen meinen Experimenten mit Hunden sah ich immer denselben Zustand. Daraufhin muss ich ohne weiteres die Behauptung von Sehrwald, Graham und Bell anerkennen, dass bei Hunden die Grösse der Öffnung mit Gefährlichkeit im Zusammenhang stehen.

Dagegen die Behauptung von Delagénier etc., dass die einzeitige Ausführung von Thoraxeröffnung immer mit Gefahr verbunden sei, wäh-

rend die zweimalige oder mehrmalige ziemlich sicher sei, trifft wenigstens bei Hunden nicht zu. In jedem Fall erfolgt beim offenen Pneumothorax bei Hunden, ganz egal, ob er einseitig oder zweiseitig ist, oder ob das Öffnen einmal oder mehrmals geschieht, gleich hochgradige Dyspnoe und dann Agonalzustand, sobald die Öffnung einen gewissen Grad erreicht. Das muss davon kommen, dass die kompensatorischen Atembewegungen zum Zweck von Ventilation ganz und gar erfolglos bleiben.

C. Gasaustausch beim geschlossenen Pneumothorax.

Vor oben erwähntem, höchst gefährlichen Zustande beim Pneumothorax kann man das Tier dadurch schützen, dass man entweder mit feuchter Gase oder mit der Handfläche die Öffnung (am besten am Ende des Ausatmens) luftdicht bedeckt, um die durch diese ein- und ausgehende Luft auszuschalten. Das Tier wird gleich ruhiger Atmung fähig. Alle bedenklichen Symptome: Zyanose der Mundlippe und Maulspitze, Nasenflügelatmen, frequentes Atmen und alle anderen später im Röntgenbefunde zu erwähnenden Symptome verschwinden sofort und das Tier wird immer lebendiger und munterer. Weiss, Sehwald, Sauerbruch etc. kannten diese Tatsache wohl, aber richtig erwiesen wird erst durch mein vergleichendes Studium der Atmungskurve, wie effektiv die durch das Verschliessen der Öffnung herbeigeführten kompensatorischen Atembewegungen auf die Ventilation wirken (Figg. 4 u. 5). Ferner sah ich, dass der Hund, nachdem die Schnittwunde wieder zugenäht worden war, ganz lebendig hin- und herlief, sobald er vom Operationstisch kam. Dabei waren Atmungen und der allgemeine Zustand vollständig hergestellt. Hunde Nr. 7 und 8 zeigen meine Experimente, die ich mit den Tieren ohne Narkose probiert hatte, nämlich die Ergebnisse der einseitigen Lungenresektion. Genau wie bei den andern Fällen liefen die Hunde gleich nach der Operation stürmisch aus dem Zimmer hinaus. Man sieht daraus, dass der von dem offenen Pneumothorax herbeigeführte Gefahrzustand im Augenblick des Verschliessens der Öffnung d. h. der Herstellung des Gasaustausches wieder beseitigt ist.

D. Die Verhältnisse zwischen Kostal- und Abdominalatmen beim offenen und geschlossenen Pneumothorax.

Bei Hunden sieht man beide Typen der Brust- und Bauchatmungen ganz gleichmässig bis zum letzten Augenblick ausführen, damit sie dem Tode nicht erliegen (Fig. 9). (Vergleich mit den Fällen von Kaninchen).

Fig. 9. Zweizeitige rechte Thorakotomie. Hund Nr. 10. ♀, 8,5 kg.
7. Februar 1926.

K : Kurve d. Kostalatemung. A : Kurve d. Abdominalatemung.
Pfeil I : Thorakotomie (Öffnung von ca. 0,5 cm lang).
Pfeil II : Thorakotomie (Öffnung von ca. 4 cm lang).
Z : Zeitmark in 5 Sekunden.

2. Einflüsse des offenen Pneumothorax auf die Atemkurve bei Kaninchen.

Der Grad der Gefährlichkeit bei Kaninchen ist sehr verschieden von dem bei Hunden. Bei jenen wird die Pneumothoraxbildung gleich von den Symptomen des pleuralen Reflexes oder der leichtgradigen Dyspnoe begleitet, die aber nach einer kurzen Weile wieder verschwinden. Es tritt die Vermehrung der Atemfrequenz ein und das Tier kann auf die Weise sehr gut dem einseitigen Pneumothorax Widerstand leisten. Das ist eine Tatsache, die Brauer, Bittorf, Bruns etc. schon kannten; die Frage ist nur, ob man den Fall von Kaninchen auch auf den Menschen anwenden kann? Am beachtenswertesten dabei ist, dass selbst bei Kaninchen die gefährliche Dyspnoe nicht ausgeschlossen ist, die zwar vom sogen. „Mediastinalflattern nach Murphy“ herrührt. Merkwürdig ist, dass solch schlimme Erscheinung fast immer beim rechtsseitigen Pneumothorax vorkommt, während beim linken solch schwere Symptome ziemlich zu den Seltenheiten gehören.

Von 18 Fällen, die ich mit den Experimenten des Pneumothorax gehabt hatte, gerieten 3 (Gruppe 1) ein paar Minuten nach der Pneumothoraxbildung in den gefährlichen Zustand, wurden 8 (Gruppe 2) zeitweilig von der hochgradigen Dyspnoe befallen, darunter 3 auf der linken,

Fig. 10. Einzeitige rechte Thorakotomie. Kaninchen Nr. 4. ♀, 2460 g. 18. Januar 1926.
T : Kurve d. Trachealatemung. K : Kurve d. Kostalatemung. Von rechts nach links zu lesen.
Pfeil : Thorakotomie. Z : Zeitmark in 5 Sekunden.

5 auf der rechten Seite, während die übrigen 7 auf der linken der 10–50 Minuten lang dauernden Öffnung vollkommen Widerstand leisten konnten (Gruppe 3). Wie verändert sich der Verlauf der Atmungskurve, je nach der Widerstandsfähigkeit der Kaninchen? Der Einfachheit halber will ich an den obigen drei Gruppen den Unterschied der Kurve erläutern:

Gruppe 1. Die Fälle bedeuten- den Mediastinalflatterns.

Die Symptome sind dabei denen der Hunde sehr ähnlich: die Atmungskurve zeigt starke Vergrößerung der Amplitude, dagegen maximale Verkürzung der Phase, was zur Folge hat, dass der Gasaustausch gänzlich aufhört (Fig. 10). Aber

dies drückt sich nicht gleich nach der Öffnung in der Kurve aus, der Agoniezustand tritt auch noch nicht ein. Die Kurve, die die versagten Ventilation bezeichnet, kommt anfallsweise in Pausen von einigen Sekunden bis Minuten nach der Thorakotomie vor. Es sind Anfälle, die 7–8 Sekunden lang dauern. Erst nach der 7 oder 8 maligen Wiederholung derselben tritt die stete Dauer der „Kurve der versagenden Ventilation“ ein, nämlich der agonale Zustand.

Aus dieser Kurve erkennt man klar, mit wie grosser Mühe Atembewegungen während der Anfälle gemacht werden. Dabei springt, genau wie bei Hunden, das Mediastinalblatt derselben Seite oder das Herz selbst, entsprechend den rhythmischen Bewegungen des Ausatmens aus der Wunde heraus. Das ist nicht anderes als das Mediastinalflattern im höchsten Grad. (Bis heute fehlt es noch an Literatur, die das Mediastinalflattern vermittelst der beiden Kurven des Atemdruckes und der Atmungen recht anschaulich erklärt hat).

Obwohl das sogen. Cheyne-Stokes'sche Phänomen in seinem anfallsmässigen Erscheinen mit dem eben genannten von mir in den äusseren Formen einige gemeinsame Züge hat, sind die beiden doch sowohl morphologisch als dem Wesen nach ganz verschieden, denn bei jenem wirken die regulatorischen Atembewegungen mit Effekt auf die Sauerstoffaufnahme, dagegen bei dem meinigen ist und bleibt die Ventilation trotz der enorm starken kompensatorischen Atembewegungen völlig wirkungslos.

Wir betrachten ferner die Kurven in die Zwischenzeit der sich wiederholenden Anfälle: Die Bewegungshöhe des Atemdruckes, d. h. die Amplitude wird mit der Zeit nicht grösser. Das zeigt, dass die Ventilation, trotz der häufig stattfindenden anfallsmässigen Atemregulation, nicht genügend funktioniert. Es ist also selbstverständlich, dass der Agoniezustand sehr bald eintritt. Es ist auch bemerkenswert, dass die Atembewegungskurve (d. h. die Kostalbewegung) ausser der Anfallszeit beinahe die normale Amplitude beibehält. Daraus sieht man, dass die Amplitude der kostalen Atembewegungen beinahe keine regulatorische Vergrösserung zeigt. Dies ist ein wesentlicher Unterschied zwischen Hunden und Kaninchen.

Gruppe 2. Die Fälle der zeitweiligen hochgradigen Dyspnoe.

Die Amplitude der Atemdruckkurve gleich nach der Eröffnung der Thoraxhöhle vermindert sich wesentlich, aber im Lauf der Zeit nimmt sie wieder zu, so dass sie nach Verlauf von einigen Sekunden—bis einigen Minuten vollkommen hergestellt wird. Trotzdem die anfallsweisen Ver-

Fig. 11. Einzeitige linke Thorakotomie. Kaninchen Nr. 3. ♀, 1740 g. 10. Januar 1926.
T: Kurve d. Trachealrespiration. K: Kurve d. Kostalrespiration. Z: Zeitmark in 5 Sekunden.

grösserungen der Atembewegungen (dabei das Mediastinalflattern als Begleiterscheinung) sich ein paar mal zeigen (genau wie bei Gruppe 1), wird der Grad derselben allmählich kleiner, das Intervall wird demgemäss verlängert, bis sie vollkommen verschwinden (Figg. 11 u. 12).

Was ich mit besonderem Nachdruck erwähnen möchte, ist der Typus der Atembewegungen in der Zeit, wo die Amplitude des Atmungsdruckes vollkommen hergestellt wird. In dem Experimente des Registrierens der Kostalatemungen sahen wir, dass die Bewegungskurve, trotz der mit der Zeit zunehmenden Amplitude der Atmungskurve, an Amplitude nicht zunimmt, sondern die vor der Thorakotomie oder direkt nach derselben beibehält (Fig. 11). Die Frage, warum bei Kaninchen, im Gegensatz zu Hunden, bei denen die Amplitudevergrösserung der Atembewegungen gleich mit der Pneumothoraxbildung zunimmt, keine Änderung erfährt, und die Frage, wie man die allmähliche Herstellung des Atmungsdruckes ohne Widerspruch mit jener Tatsache erklären soll, die fesselten mich vor allem. Die Tatsache, dass die Kostalatemung bei Kaninchen unbedeutend ist, und das Atmen hauptsächlich die Abdominalatemung ist, die vermittelt der Zwerchfellbewegung geführt wird,

ist ja schon im vorhergehenden Kapitel erläutert worden.

In der Tat sehen wir klar und deutlich in dem Experimente, was die Abdominalbewegung dabei registriert: Ihre Amplitude wird nämlich gleich mit der Pneumothoraxbildung vielfach grösser als sonst, dann nach Verlauf bestimmter Zeit gewinnt der Atmungsdruck wieder seinem normalen Zustand zurück, das Atmungsbewegen, die Begleiterscheinung des Mediastinalflatterns, verschwindet, als Folge davon stellt die Amplitude der Bauchatmung ihre normale Grösse wieder her (Fig. 12).

Fig. 12. Zweizeitige linke Thorakotomie. Kaninchen Nr. 2. ♂, 2480 g.
27. Dezember 1925.

T: Kurve d. Trachealatmung. A: Kurve d. Abdominalatmung
Pfeil: Thorakotomie (grosse Öffnung). Z: Zeitmark in 5 Sekunden.

Fig. 13. Zweizeitige rechte Thorakotomie. Kaninchen Nr. 5. ♀, 2620 g.
19. Januar 1926.

K: Kurve d. Kostalatmung. A: Kurve d. Abdominalatmung.
Pfeil: Thorakotomie. Z: Zeitmark in 5 Sekunden.

Fig. 14. Einzeitige rechte Thorakotomie. Kaninchen Nr. 7.
♂, 1890 g. 28. Januar 1926.
K : Kurve d. Kostalatmung.
A : Kurve d. Abdominalatmung.
Pfeil: Thorakotomie.
Z: Zeitmark in 5 Sekunden.

Weiter liess ich die beiden Atmungen der Brust und des Bauches parallel einschreiben, da konnte ich feststellen, dass in den meisten Fällen nur die Abdominalatmungen gleich mit der Eröffnung ihre Amplitudevergrößerungen zeigten, während die Kostalatmungen sich fast nicht an der Atemregulation beteiligten (Figg. 13 u. 14).

Ferner bei Kaninchen sieht man, dass mit dem Übergehen des offenen Pneumothorax in den geschlossenen die Atemzahl zunimmt und die Dyspnoe etwas stärker wird. Diese Erscheinung erklärt Seherwald folgendermassen: Der Grund davon liege darin, dass beim geschlossenen Pneumothorax der Kaninchen der beiderseitige intrathorakale Druck ungefähr dem Spannungspneumothorax ähnlich ist. Diesem muss ich

Fig. 15. Offener und geschlossener Pneumothorax. Kaninchen Nr. 17:
♂, 2055 g. 4. März 1926.
T: Kurve d. Trachealatmung. Horizontallinie: Höhe des Atmosphärendruckwertes. Z: Zeitmark in 5 Sekunden. A: Kurve d. Abdominalatmung. Pfeil I: Thorax dicht geschlossen. Pfeil II: Thorax noch einmal eröffnet.

von meinem Standpunkt aus, wobei auf die Abdominalatmung die grösste Wichtigkeit gelegt wird, Recht geben. Als eine weitere Ursache der Dyspnoe beim geschlossenen Pneumothorax der Kaninchen müsste man die Tatsache betrachten, dass man bei diesen schwerlich den rhythmischen Bewegungen des Ausatmens entsprechend die Öffnung schliessen kann, weil ihr Atmen frequenter ist als das der Hunde.

Gruppe 3. Die Fälle des widerstandsfähigen offenen Pneumothorax.

In diesen Fällen ist die Regulation der Abdominalatmung sehr bedeutend und die Herstellung des Atemdruckes demgemäss sehr schnell. Wie bei Gruppe 2 hat das Übergehen des offenen in den geschlossenen Pneumothorax die Vergrösserung der Atemfrequenz zur Folge. Die Ursache dafür muss darin zu suchen sein, dass die Atembewegung durch die Entstehung des positiven Druckes in der Brusthöhle bei der Amplitudenvergrösserung verhindert wird, und man durch Zunahme der Atemzahl die Ventilation gut regulieren kann.

Ich habe nun auseinandergesetzt, wie sich die Atembewegungen und die Ventilation gegeneinander verhalten, je nach der Grösse der Widerstandsfähigkeit des offenen Pneumothorax; ferner habe ich darauf hingewiesen, wie gross der Unterschied der Atemregulation beim offenen Pneumothorax, je nach den Tieren ist. Hierbei möchte ich ausdrücklich betonen, dass die Tatsache, dass die Atemregulation beim geschlossenen Pneumothorax der Hunde sehr gut geht, die Grundlage meiner später zu erwähnendem „Lungenresektion ohne Druckdifferenzverfahren“ ausmacht.

3. Das Röntgenbild des offenen Pneumothorax der Hunde.

Die Technik der Röntgen-Photographie der Gegenwart reicht nicht aus, den Lungenschatten, den man beim geschlossenen Pneumothorax sieht, auch beim geöffneten bildlich festzustellen. Wir müssen also leider gestehen, dass es uns an Mitteln fehlt, die die direkte Untersuchung der Pressatmung ermöglichen.

Ich begnüge mich deshalb vorläufig mit der Untersuchung dieses Gegenstandes, die indirekt vermittelt der Schatten des Herzens, der Gefässe und des Zwerchfells angestellt worden sind, deren Ergebnis hier der Reihe nach angeführt werden:

A. Schwingung des Herzens.

Der typische Schatten des „Mediastinalflatterns“ ist der des Herzens. Weil wir aber ausführliche Berichte auf diesem Gebiet von Murphy und Garrè haben, beschränke ich mich nur auf den Hinweis, dass bei Hunden der Schatten „des Mediastinalflatterns“ bei weitem hochgradiger ist, und füge einige von mir gemachte Neubefunde bei.

Zuerst kommt die Frontansicht des Schattens in Betracht: Das Herz nähert sich am Ende des maximalen Ein- und Ausatmens bedeutend der Brustwand, so dass die Zwischenentfernung der beiden kaum 1 bis 1,5 cm.

Fig. 16. Hund Nr. 11.
Rechtsseitiger Pneumothorax.

— Expirium
- - - - - Inspirium
- · - · - Bei geschlossenem
Pneumothorax

Fig. 17. Hund Nr. 16.
Rechtsseitiger Pneumothorax.

Fig. 18. Hund Nr. 15.
Linksseitiger Pneumothorax.

beträgt; eine Entfernung, die dem Volum der nach der Brustwand hin stark gedrückten Lunge entspricht. Im Moment solch hochgradigen Druckes ragt ein Teil des Brusteingeweides herniaartig in die Öffnung heraus (Figg. 16, 17 u. 18).

Die höchstgradige Herzschwingung hört im Augenblick der Verwandlung des offenen in den geschlossenen Pneumothorax auf und das Herz selbst steht still und legt sich ungefähr in die Mitte der Brusthöhle, d. h. in seine normale Lage. Dieses Stillstehen findet so schnell wie das Handumdrehen statt, sobald jene Veränderung eintritt.

Die Schnelligkeit dieser Aktion entspricht genau derjenigen des Wiederherstellung der Ventilation, die gleichzeitig mit dem Schliessen des Pneumothorax anfängt. Figg. 19, 20 u. 21 zeigen den Zustand des Stillbleibens. Um auf Grund des Herzschatens zu urteilen, muss

die Stärke des Mediastinalflatterns in der rechten Seite genau dieselbe wie in der linken sein.

B. Veränderung der Zwerchfellbewegung.

Das Zwerchfell der Pneumothoraxseite verliert direkt nach der Pneumothoraxbildung seine Konkavität und wird sehr platt, so dass nur die leisen Wellenbewegungen zu sehen sind. Ich konnte keine „paradoxe Bewegung“ finden, die Bittorf beim geschlossenen Pneumothorax der Kaninchen gesehen hatte. Das kommt wahrscheinlich davon, dass die Herzschwingung der Hunde bei weitem grösser ist, als die der Kaninchen, was zur Folge hat, dass das zwischen dem Herzbeutel und Centrum tendineum liegende Zwerchfell davon stärker beeinflusst wird.

Aus demselben Grund muss jene selten zu treffende Erscheinung erklärt werden, dass beim rechten Pneumothorax das Zwerchfell derselben Seite beim Einatmen den Hochstand zeigt. Weil ferner die Herzbasis und das Zwerchfell in ihrem normalen Zustand sich nähern, ist im Röntgenbild demgemäss kein breiter, trennender Raum dazwischen zu erkennen, während es durchaus nicht selten ist, dass beim rechten Pneumothorax ein Sonderraum von grosser Breite da ist, der Herz und Zwerchfell vollständig auseinanderhält (Vergleiche den Fall der Kaninchen!) (Fig. 17).

Zusammenfassend: Die Zwerchfellbewegung in der Pneumothoraxseite ist wegen des Zuges des Thorax und Herzens nur passiv, auch in der gesunden Seite ist die besondere Bewegung der kompensatorischen Bewegung nicht zu beobachten. Dagegen ist die Bewegung im knöchernen Teil der Thoraxwand (Sternum, Rippe und Wirbelsäule), die selbst optisch anzusehen ist, auf dem Röntgensschirm ganz und gar bedeutend. Mit dem geschlossenen Pneumothorax verliert das Zwerchfell in der gesunden sowie in der Pneumothoraxseite ungefähr gleichmässig ihre Kontraktion.

Zuletzt konnte ich im Gefässschatten der Hunde keinen besondern Befund feststellen.

4. Das Röntgenbild des offenen Pneumothorax der Kaninchen.

Im Gegensatz zu der oben erwähnten Tatsache, dass bei Hunden selbst die gesunde Seite der Lunge ihre Funktion verliert, kann man annehmen, dass bei Kaninchen die Ventilation wegen der verhältnismässig geringen Pressatmung durch die gesunde Lunge beinahe vollständig geführt werden kann. Die Befunde, die diese Annahme bestätigen, sind:

A. Lageverschiebung des Herzens.

Bei Kaninchen ist die Herzschwingung nicht so stark wie bei Hunden; was bei ihnen auffallend ist, ist die Lageverschiebung des Herzens: Es verschiebt sich mit der Eröffnung der Thoraxhöhle und nimmt eine besondere Lage ein, die je nach der Seite des Pneumothorax ziemlich merkwürdig, abweichend ist.

1. Beim linken Pneumothorax hebt sich das Herz nach rechts oben hin, bis es in der Nähe von *Apertura thoraci* die Medianlinie erreicht, selten sich noch ein wenig rechts verschiebend, die Medianlinie übertritt und den oberen Teil der rechten Thoraxhöhle erreicht. Auch im letztern Fall berühren sich Herz und rechte Brustwand nicht, so dass dazwischen ein Spaltraum entsteht (Figg. 24 u. 27 u. Figg. 23 u. 28).

Gemeinsam ist allen Fällen die Erscheinung, dass wegen der Herzhebung nach dem oberen Teil der Thoraxhöhle hin ein trennender d. h. durchsichtiger Raum zwischen Herzbasis und Zwerchfell entsteht. Dieser ist breiter als bei Hunden, und entspricht der Breite nach 2 Interkostalräumen. Dies deutet an, dass die Herzbasis da die Höhe vom 4. Interkostalraum oder von der 5. Rippe erreicht.

2. Beim rechten Pneumothorax bewegt sich das Herz nach links oben hin, so dass das ganze Herz die Medianlinie übertritt und vollständig in die linke Thoraxhöhle hineingerät. (Es ist sehr selten, dass das Herz wie beim linken Pneumothorax auf der Medianlinie bleibt) (Figg. 25 u. 26).

Diese Tatsache deutet klar an, dass beim rechten Pneumothorax das Herz den linken, d. h. gesunden Oberlappen nach der Brustwand hin stark drückt. Das beweist wieder, wie gefährlich der rechte Pneumothorax bei Kaninchen werden kann. Und weil bei Kaninchen das Herz selbst in dem rechten sowie in dem linken Pneumothorax auf bedeutender Weise sich nach oben hin hebt, so übt das Herz den Druck nur auf den Oberlappen der Lunge aus, während dem Unterlappen ein grosser Raum frei gelassen wird. Das ist der Grund, warum Kaninchen, verglichen mit Hunden, bei weitem mehr dem einseitigen Pneumothorax Widerstand leisten können als letztere.

B. Pendelbewegung des Herzens.

Nebst der Lageverschiebung macht das Herz eine eigentümliche Umdrehung, nämlich die Herzspitze wird nach oben vorn gerichtet, die mit der frequenten Pulsation kombiniert sich umdreht. Felix und Fleischer gaben dieser die Beiwörter „knetend“ oder „wühlend“ und bemerkten, dass sie an dem unteren Randbogen der Pneumothoraxseite auffallend leb-

haft sei. Nitsch behauptete noch, dass das Herz sich in der Längsachse beim linken Seitendruck nach rechts oben, beim rechten nach links hinten dreht.

Die Ursache dieser Umdrehung kann man wohl mit Recht in mehreren Punkten suchen, erstens in einer gewissen Neigung, die die Längsachse des Herzens hat, zweitens in seiner verhältnismässig grossen Verschiebbarkeit. Es muss auch bemerkt werden, dass die Umdrehung auf die Zirkulation des Blutes einen schlechten Einfluss ausübt, dagegen nicht auf die Lungenkompression.

Wegen der ausserordentlich grossen Schnelligkeit der Bewegung kann sie am Röntgensschirm wohl erkannt, aber unmöglich photographiert werden, sie gibt nämlich nur eine ganz unklare Herzgrenze.

C. Schatten der unteren Hohlvene.

(Direkte Bestätigung des Mediastinalflatterns).

Soweit ich weiss, gibt bis heute kein Verfahren, das den Schatten der unteren Hohlvene auf dem Röntgensschirm abspiegelt. Ganz der Zufälligkeit verdanke ich deshalb ein gut gelungenes Bild eines Gegenstandes. Natürlich ist es unmöglich, bei Menschen und Hunden diesen Schatten zu erkennen, dagegen bei Kaninchen braucht man nur ein wenig aufmerksamer zu sein, um ihn zu gewahren. Es stellt sich nämlich als eine die Herzbasis und die Zwerchfellkuppen verbindende schwarze Linie dar, die etwa so gross oder etwas grösser als das Blei eines Bleistiftes ist.

Wie schon erwähnt, direkt hinter der untern Hohlvene ist der sogen. Recessus pleurae, in den hinein sich Lobus inferior medialis erstreckt. Weil das die Luft enthaltende Lungenparenchym oder die dem Pneumothorax selber entstammende Luft im Rücken der Hohlvene sich befindet, gibt die Blutsäule der Hohlvene einen klaren Schatten. Dieser linienartige Schatten hat insofern Bedeutung, als das an der Hohlvene beginnende Mediastinalblatt eine grosse Fläche hat und den Hauptteil des untern Mediastinalflatterns darstellt, und infolgedessen die Bewegung der Hohlvene, keine andere als die des Mediastinalblattes ist. Daher kann sie als direkter Beweis des Mediastinalflatterns benutzt werden.

Man kann in der Tat sehr gut feststellen, wie sich der Schatten der Respirationsphase entsprechend beim Experium nach der gesunden Seite hin, beim Insperium nach der Pneumothoraxseite hin bewegt. Weil bei Kaninchen die Lageverschiebung zu gross und die Schwingung zu gering ist, wie oben erwähnt, so ist es keineswegs angemessen, bei ihnen nur durch

Fig. 19. Hund Nr. 11.
Rechtsseitiger geschlossener
Pneumothorax.

Fig. 20. Hund Nr. 16.
Rechtsseitiger geschlossener
Pneumothorax.

Fig. 21. Hund Nr. 15.
Linksseitiger Pneumothorax (geschlossen).

Fig. 22. Kaninchen Nr. 16.
Linksseitiger Pneumothorax (offenen)
(dorsoventrale Ansicht).

Fig. 23. Kaninchen Nr. 20.
Linksseitiger offener Pneumothorax.

Fig. 24. Kaninchen Nr. 13.
Linksseitiger offener Pneumothorax.

Fig. 25. Kaninchen Nr. 14.
Rechtsseitiger Pneumothorax (offen).

Fig. 26. Kaninchen Nr. 15.
Rechtsseitiger Pneumothorax (offen.)

— Expirium ---- Inspirium

Fig. 27. Kaninchen Nr. 13.
Linksseitiger offener Pneumothorax.

Fig. 28 A. Kaninchen Nr. 20.
Linksseitiger offener Pneumothorax.

Fig. 28 B. Kaninchen Nr. 20.
Linksseitiger geschlossener Pneumothorax.

Fig. 29. Kaninchen Nr. 14.
Rechtsseitiger offener Pneumothorax.

Fig. 30 A. Kaninchen Nr. 15.
Rechtsseitiger offener Pneumothorax.

Fig. 30 B. Kaninchen Nr. 15.
Rechtsseitiger geschlossener Pneumothorax.

den Herzschatten das Vorhandensein des Mediastinalflatterns nachzuweisen. Wenn man behaupten will, dass Kaninchen wegen der Dicke des Mediastinalblattes das Mediastinalflattern fehle, so ist dies ein grosser Irrtum. Vergleicht man die Stärke des Mediastinalflatterns am Schatten der beiden Brusthöhlen, so sieht man, dass dieselbe in der rechten bedeutend grösser als in der linken ist (Siehe Orthodiagramm!). Selbstverständlich kein Vergleich mit dem Hunden, bei denen es wesentlich stärker ist. Daraus kann man schliessen, dass die sogen. Pressatmung bei Kaninchen durch das Herz und Mediastinalblatt selbst geführt wird.

D. Zwerchfellbewegung.

Genau wie bei Hunden kann man unmöglich die paradoxe Bewegung dabei sehen, die beim geschlossenen Pneumothorax vorkommt.

Das Zwerchfell der gesunden Seite macht sehr lebhaft Bewegung und spielt die Hauptrolle bei den kompensatorischen Atembewegungen, die im Vergleich mit der normalen Zeit 2–3 fach stärkere Kontraktion und Erweiterung machen. Diese Tatsache stimmt mit dem Ergebnis der Abdominalatmungskurve überein. Das Zwerchfell der Pneumothoraxseite ist im allgemeinen mehr platt und macht zuweilen leichte Wellenbewegungen. Die Zunahme der regulatorischen Bewegung ist auf der rechten Seite nicht so bedeutend, wie auf der linken, das kommt davon, dass das Zwerchfell der rechten resp. gesunden Seite bis weiter nach der linken hin von der Medianlinie die Schwingung empfängt. (Siehe Orthodiagramm !)

Das oben erwähnte (A–D) gilt nur für die Bewegung direkt nach der Thoraxöffnung. Im Verlauf der Zeit werden die Schwingungen des Herzens sowie der Hohlvene allmählich geringer, bis sie meistens nach 10–12 Minuten vollständig aufhören.

Ausnahme machen die Zwerchfellbewegungen, die immer lebhaft bleiben (Gruppe 2 u. 3). Im Fall, wo die Schwingung nach 10–20 Minuten nicht aufhört, leidet das Tier immer an Dyspnoe, so dass es die höchste Zyanose bekommt und erstickt (Gruppe 1).

E. Das Mediastinalflattern beim geschlossenen Pneumothorax.

Beim offenen Pneumothorax gewinnen die Kaninchen nach gewissem Zeitraum die ruhige Atmung wieder zurück. Wenn aber dabei die Thoraxöffnung geschlossen wird, wird die Dyspnoe immer stärker, darin unterscheiden sich die Kaninchen von den Hunden. Wir sehen genauer im Herzschatten an: Trotz der Schliessung der Öffnung bleibt das Herz in

seiner verschobenen Lage stehen, die Hohlvene fährt, wenn auch in viel kleinerer Masse, immerhin lebhaft und frequent in den Schwingungen fort. Das Zwerchfell der Pneumothoraxseite verharret in seinem unbewegbaren Zustand, als hätte er vollständig seine Spannungskraft verloren (Figg. 29, 30 A. u. B).

Das Gegenteil kann auftreten durch eine künstliche Aussaugung der Luft aus dem geschlossenen Pneumothorax ; nämlich, das Herz hört bald auf, um die oben geschilderten respiratorischen, grossartigen Verschiebungen zu machen, die Bewegung des Zwerchfells wird beinah normal stark, nur die alte Lage des Herzens wurde nie wieder genommen.

Diese verschiedenen Veränderungen, begleitet von dem geschlossenen Pneumothorax, stimmen mit dem Ergebnis der Atemkurveregistrierung überein.

Bei Kaninchen ist die Dyspnoe, wenn man die Öffnung des Thorax zumacht, ohne die Luftaspiration zu unternehmen, nicht nur anhaltend, sondern sogar schlimmer, während bei Hunden mit dem Augenblick des Schliessens die Lebendigkeit wiederhergestellt wird, so dass die Aspiration überflüssig ist ; diese gegensätzliche Erscheinung der beiden Tiergattungen ist sehr interessant.

Kap. V. Einseitige Lungenresektion ohne Druckdifferenzverfahren an Hund.

Im Gegensatz zu Kaninchen, ist es ausserordentlich schwer, bei Hunden ohne Druckdifferenzverfahren die Lungenresektion zu unternehmen. Trotz aller Einfachheit und Geschicklichkeit der operativen Manipulation, der wir uns bestreben, gerät das Tier in schwere Atmungsnot im Augenblick der Beendigung der Operation, wo man eben die Brustöffnung zu schliessen sich anschickt. Selbst wenn man Glück hat, mit dem Schliessen fertig zu werden, ist die Prognose des Tieres ausserordentlich schlecht und stirbt es noch während der Operation oder spätestens einige Minuten nach derselben.

Wesentlich bemerkenswert ist das Ergebnis meiner Untersuchung, die durchaus in den von mir geführten Atmungskurven und im Röntgenbilde ihre Grundlagen hat. Ich kann nämlich auf Grund meiner Untersuchung vor allem die folgenden 5 Merkmale bei Hunden als charakteristisch hervorheben.

1. Mit dem Übergang des offenen in den geschlossenen Pneumothorax wird die Atemdruckveränderung wegen der kompensatorischen Atembe-

wegung sehr effektiv, d. h. die Ventilation funktioniert beinahe einwandfrei.

2. Selbst bei geschlossenem Pneumothorax, so lange die Öffnung klein ist, wird die kompensatorische Atembewegung leidlich gut geführt.

3. Das Mediastinalflattern hört auf, d. h. die sogen. Pressatmung verschwindet.

4. Selbst bei der hochgradigen Dyspnoe ist es möglich, sowohl die Kostal—als auch die Abdominalatmung bis zum höchsten Grad auszunutzen.

5. Beim geschlossenen Pneumothorax kann die Pendelluft theoretisch unmöglich bestehen.

Auf dieser fünf Merkmalen fussend, richtete ich meine Operation folgendermassen ein: Ich teilte die Manipulation der Lungenresektion je nachdem 10–15 mal usw. Im Moment, wo die Zunahme der Dyspnoe oder Zyanose deutlich zu werden anfang, deckte ich sogleich die Öffnung entweder mit der feuchten Gase, der Faust oder dem Finger ganz dicht zu. Nach kurzer Zeit wurde die Atmung wieder hergestellt, und ich setzte dann die Operation fort. Ich erweitere z. B. das Gesichtsfeld durch interkostale Thorakothomie, fasse dann mit der flinken Hand d. h. schnell mit Klemme die Lunge am Lungenhilus; da die Dyspnoe eintritt, decke ich das Ganze bis zum Stiel der Klemme mit der Gase oder mit dem Handteller etc. zu und warte die wiederkehrende Ruhe ab. Auf diese Weise geht die Operation schrittweise weiter, bis ich damit ganz fertig bin. Der Schlussakt ist natürlich das Zuschliessen der Öffnung, das am besten am Ende des Experimentums zu machen ist. Bei solcher Interval-Methode kann man die einseitige Lungenresektion innerhalb 10 bis 15 Minuten ausführen. Nach dem geschlossenen Thorax wird das Tier wieder ganz munter und lebendig, ohne Hilfe der Luftaspiration, ja manchmal gebärdet es sich wie toll und stürzt rasend hinaus.

Mit dieser Operationsmethode führte ich bei 5 Hunden die einseitige totale Lungenresektion aus und keine war mir misslungen. Man sieht auf der hier folgenden Tabelle bestätigt, wie mein Operationsresultat glänzend ist, mit den bisherigen verglichen:

Hund Nr.	Operationsmethode	Datum	Seite der resezierten Lunge	Ausgang
1	alte	7. 6. 1925	links	Tod direkt nach dem Schliessakt.
2	„	11. 6. 1925	„	Resektion unmöglich; Tod mitten in der Operation.

Hund Nr.	Operationsmethode	Datum	Seite der resezierten Lunge	Ausgang
3	alte	13. 6. 1925	links	Tod 1 Stunde nach den Schliessen.
4	„	22. 6. „	„	Tod nach 40 Minuten.
5	„	18. 7. „	„	Tod mitten in der Operation. (Grosse Verblutung.)
6	„	„ „	„	Tod direkt nach d. Resektion.
7	neue	12. 11. „	„	Gesund 7 Monate lang nach d. Resektion. Zunahme des Körpergewichtes.
8	„	28. 12. „	„	Tod 5 Tage nach der Resektion. (Wegen Vereiterung.)
9	„	26. 12. „	„	Tod 8 Tage nach d. Resektion. (Wegen Hämothorax.)
10	„	7. 2. 1926	rechts	Gesund 5 Monate lang. Bedeutende Zunahme d. Gewichtes.
11	„	9. 2. „	„	Tod nach 29 Tagen. (Wegen d. sekundären Pyothorax infolge d. Wundinfektion.)

Übrigens muss ich bemerken, dass die einseitige Lungenresektion technisch einfacher ist als die andern, dass es also nicht richtig ist, wenn man sagen wollte, meine sogen. Intervall-Methode gelte für alle Fälle der intrathorakalen Operation. Die Bedeutung meiner Operation liegt darin, dass sie das Resultat meiner oben erwähnten Untersuchung bezüglich des Pneumothorax um so sicherer bestätigt.

Kap. VI. Schluss.

Wie man aus dem Verlauf der Debatte für und gegen die Notwendigkeit des Druckdifferenzverfahrens sowie aus der geschichtlichen Betrachtung über die Operationserfahrungen bei Menschen schliessen kann, gibt es zwei Fälle: Manchmal kann man ohne Druckdifferenzverfahren eine bestimmte Zeit lang die Öffnung der einseitigen Brusthöhle ausführen, ein andermal aber muss man der grossen Gefahr wegen darauf verzichten.

Die mancherlei Faktoren, die diese Gefahr verursachen, habe ich eingehend untersucht, indem ich bei Hunden und Kaninchen die Atmungskurve registrierte oder davon Röntgenbilder aufnahm.

Dabei konnte ich vor allem feststellen, dass der Atmungstypus bei der Dyspnoe besonders im offenen Pneumothorax mit der Kompensation resp. der Regulation der Atembewegungen in einem innigen Zusammenhang steht, eine Tatsache, der man bisher grosse Beachtung beilegte.

Bei Kaninchen, die für gewöhnlich die Abdominalatmung führen, spielt die Abdominalatmung selbst die Hauptrolle der Kompensationsaktion beim offenen Pneumothorax, während bei Hunden die Kostalatmung, welche sonst die Abdominalatmung übertrifft, bei offenen Pneumothorax auf die Ventilation vielmehr ungünstig einwirkt.

Das Mediastinalflattern sieht wesentlich anders aus, ja nach der Tiergattung.

Bei Hunden werden alle Lungenlappen infolge Herzschwingung gedrückt, während bei Kaninchen nicht der Unterlappen, der fast den ganzen Teil der Lungen bildet, sondern der Oberlappen allein wegen der Lageverschiebung des Herzens gedrückt wird; das Mediastinalflattern selbst ist deutlich zu sehen, wie der Schatten der Hohlvene unverkennbar zeigt. Ferner hat bei Kaninchen Recessus pleurae eine grosse Bedeutung, um den Grad der Gefährlichkeit beim Pneumothorax der rechten und linken Seiten festzustellen. Das Mediastinalblatt an dieser Seite ist furchtbar schwach und dehnbar. Auf Grund der Resultate meiner Untersuchung an Hunden, dass der Gasaustausch im Fall des Pneumothorax mit kleiner Öffnung erfolgreich stattfindet, und dass er mit dem Moment des Zuschliessens beinahe tadellos hergestellt wird, etc. habe ich mich bemüht, die einseitige Lungenresektion ohne Druckdifferenzverfahren an Hund zu unternehmen. Und zum Glück entsprach die von mir erfundene Methode meiner Erwartung vollkommen, wodurch ich meine Behauptung durch Experimente bestätigen konnte. Sie sind darin zusammenzufassen, dass beim offenen Pneumothorax der Grad der zur Folge kommenden Atmungsstörung und der Wirkungsgrad der Atemregulation das Schicksal des Tieres entscheidet.

Zum Schluss möchte ich die Gelegenheit nicht versäumen, meinem verehrten Direktor, Herrn Prof. S. Sekiguchi, für die liebenswürdige Ermunterung und Anleitung, die er mir bei meinen Arbeiten gab, meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen.

Protokoll.**(Erläuterung der Figuren und Kurven.)****Hunde.**

Hund Nr. 1. ♀, weiss, Körpergewicht 10,1 kg. 7. Juni 1925.

Zweizeitige Thorakotomie (Atmungsdruckkurve) (Fig. 4).

Linksseitige totale Lungenresektion.

Bei kleiner Öffnung (2) (ca. 0,3 cm lang) ist geringe Atemnot bemerkbar. Bei grosser Öffnung (3) (ca. 4 × 1 cm) kommt hochgradige Dyspnoe mit Symptomen von Mediastinalflattern vor. Dabei geht die Kurve in die gerade Linie über.

Bei ganz geschlossener Öffnung (4) wurden die aufsteigenden sowie die absteigenden Schenkel über normaler Höhe gebildet.

Operation der Lungenresektion dauerte 5½ Minuten; das Tier starb unter schwerer Zyanose direkt nach Schliessung der Wundöffnung.

Hund Nr. 2. ♀, schwarz, 11,80 kg. 11. Juni 1925.

Unter Morphin-Narkose.

Zweizeitige Thorakotomie (Atmungsdruckkurve).

Resultat wie oben. Nach dicht verschlossener Thoraxöffnung zeigt der Hund bei ziemlicher Lebhaftigkeit ganz ruhige Atemzüge.

Linke Lungenresektion: Das Tier starb sofort nach Schliessung der Thoraxöffnung.

Hund Nr. 3. ♂, schwarz, 12,15 kg. 13. Juni 1925.

Morphin-Narkose.

Zweizeitige Thorakotomie (Atmungsdruckkurve).

Linke totale Lungenresektion.

Befunde wie die bei Hund Nr. 1 und 2 festgestellt. Bei der Schliessung der Thoraxhöhle waren die Atemzüge temporär ganz ruhig, wurden aber 10 Minuten später sehr unruhig. Die Druckschwankungen der Kurve sind oberflächlich und frequent geworden. Ca. 1 Stunde später ging der Hund zu Grunde.

Hund Nr. 4. ♀, bräunlich, 14,45 kg. 22. Juni 1925.

Morphin-Halbnarkose.

Dreizeitige Thorakotomie (Atmungsdruckkurve—Fig. 3).

Linke totale Lungenresektion.

In der Kurve:

Bei kleiner Öffnung (4) (ca. 0,5 cm lang) zeigen sich die absteigenden Schenkel verkürzt und die Phasen verlängert.

Der offene Pneumothorax (5) wurde in geschlossenen verwandelt, die Schenkel sind vergrössert, d. h. der Atemdruck ist sehr gut geworden.

Der Pneumothorax wurde nochmals ganz offen gelassen, wobei die Kurve in die Geradlinie übergeht.

40 Minuten später, nach Schlussakt der Öffnung, starb der Hund unter typischen Cheyne-Stokesschen Atemzügen.

Hund Nr. 5. ♀, schwärzlich-bräunlich, 7,7 kg. 18. Juli 1925.

Morphin-Halbnarkose und Tutokain-Lokalanästhesie.

Einzeitige Thorakotomie (Atemdruckkurve—Fig. 6).

Linke Lungenresektion.

Symptome von Mediastinalflattern traten sehr heftig bei der Eröffnung der Brusthöhle auf, wobei ein Teil der Brustorgane aus der Wundöffnung hervortrat.

Die Atemkurve erscheint normal (1), bei 2 wahrscheinlich Reiz der operativen Manipulation(?) wahrnehmbar. Bei eröffneter Thoraxhöhle³⁾ zeigt sich die Kurve unregelmässig, und zwar zuerst geradlinieartig, dann viel frequenter und seicht und schliesslich forciert (grosse Amplitude und verlängerte Phasen). Bei dicht bedeckter Öffnung beobachtet man maximale Atemzüge und die Kurve zeigt grosse Schenkel und verlängerte Phasen.

Nach der Resektion trat infolge Auslösung der Nähte der grossen Gefässe starke Blutung auf und das Tier starb sofort.

Hund Nr. 6. ♂, schwärzlich-bräunlich, 8,9 kg. 18. Juli 1925.

Morphin und Tutokain.

Einzeitige Thorakotomie.

Linke Lungenresektion. Die Operation (Resektion und Schliessung d. Thoraxöffnung) dauerte 6 Minuten, bald darauf ging das Tier zu Grunde.

Hund Nr. 7. ♀, schwarz und weiss gefleckt, 16,5 kg. 12. Oktober 1925.

Tutokain-Lokalanästhesie.

Mehrmalige Thorakotomie.

Linke totale Lungenresektion wurde durch die neue Methode (Kap. V) ausgeführt.

Nach der Operation zeigte sich, temporäre Atemzahlvermehrung, bald danach wurde das Tier lebendig und stürzte wie Norm rasend hinaus. Jetzt noch, 7 Monate nach der Operation, ist es ganz gesund und hat an Körpergewicht zugenommen.

Hund Nr. 8. ♀, schwarz und weiss gefleckt, 20,6 kg. 28. Dezember 1925.

Morphin-Halbnarkose und Tutokain-Lokalanästhesie.

Zweizeitige Thorakotomie (Parallele Registrierung der Atemdruck- und Kostalbewegungskurve—Fig. 8).

Linke totale Lungenresektion.

Bei Anlegung der kleinen Öffnung ($0,5 \times 0,3$) bemerkte man sofortige Vermehrung d. Atemzahl und Vergrösserung d. Amplitude (dyspnoischer Zustand), allmählich verminderte sich Atemzahl (Verlängerung d. Phasen) und Amplitude war sogar grösser als Norm, d. h. es wurde ein forciertem Atmungstypus dargestellt. Es ist ohne weiteres klar, dass dieser erfolgreiche Gasaustauschvorgang durch kompensatorisch vermehrte Atembewegung (Kostalbewegung in der Kurve) ausgeführt wurde.

Bei Anlegung der grossen Öffnung ($4,0 \times 1,0$ cm) versagten obengenannte erfolgreiche Atemdruckschwankungen sofort. Zuerst erscheint die obere Kurve ganz unregelmässig, dann nähert sie sich sogleich der Geradlinie. Dabei sieht man, dass in der unteren Kurve (Atembewegung, hier Kostaltypus) maximale ab- und aufsteigende Schenkel dargestellt sind. Schliesslich Registrierung der Kostalbewegung wegen des Aufspringens des Schreibers unmöglich. Dieser Moment ist der gefährlichste, da das Mediastinalflattern hochgradig auftritt.

Bei Schliessung der Öffnung, einige Sekunden später, zeigte sich das Tier lebendig. In der Kurve sind, wie oben erwähnt, Atemdruckschwankungen ganz erfolgreich zu konstatieren.

Ca. 5 Minuten später wurde Lungenresektion durch die neue Methode ausgeführt. Keine Luftaspiration nach Schliessung der Pleurahöhle wahrnehmbar. Das Tier ging nach 8 Tagen zu Grunde.

Todesursache: Vereiterung und Schwäche.

Hund Nr. 9. ♀, rötlich-bräunlich, 18,5 kg. 7. Februar 1926.

Tutokain-Lokalanästhesie.

Zweizeitige Thorakotomie.

Linke totale Lungenresektion.

Parallele Registrierung der Atemdruck- und Kostalbewegungskurve. Infolge der abnormen Vermehrung der Amplitude der Brustbewegung wie bei Hund Nr. 8 wurde das Hinaufspringen des Schreibers sehr hochgradig, so dass die Registrierung sehr schwer auszuführen war.

Nach 8 Tagen ging das Tier zu Grunde. Todesursache: Hochgradiger Hämothorax.

Hund Nr. 10. ♀, rötlich-bräunlich, 8,50 kg. 7. Februar 1926.

Tutokain-Lokalanästhesie.

Zweizeitige rechte Thorakotomie.

Rechte totale Lungenresektion.

Parallele Registrierung der kostalen und abdominalen Atembewegungskurve (Fig. 9).

Bei kleiner Öffnung war Vergrösserung der Amplitude und Verlängerung der Phasen; bei grossen Öffnung haben beide hochgradig zugenommen. Beide Typen der Brust- und Bauchbewegung wurden ganz gleichmässig ausgeführt. (Vergleiche Kaninchenfälle.) Tier ist jetzt (6 Monate nach der Operation) noch gesund am Leben.

Hund Nr. 11. ♂, gelblich-bräunlich, 9 kg. 9. Februar 1926.

Tutokain-Lokalanästhesie.

Zweizeitige rechte Thorakotomie auf dem Röntgensschirm, wobei Orthodiagramm (Fig. 16) und Photographie (Fig. 19) aufgenommen wurden. Letztere wurde, wie oben (Kap. III) erwähnt, im geschlossenen Pneumothoraxzustand ausgeführt.

Befunde der Röntgenuntersuchung sind in Kap. IV genau beschrieben. Nach der Röntgenuntersuchung wurde der Hund bei geschlossenem Zustand des Pneumothorax in den Operationssaal transportiert und die Lungenresektion nach eigener Methode unternommen.

Das Tier starb 29 Tage nach der Operation. Todesursache: Sekundär infizierter Pyothorax infolge von Wundvereiterung.

Hund Nr. 12. ♂, weiss und schwarz gefleckt, 6,9 kg. 9. Januar 1926.

Morphin-Narkose.

Einzeitige rechte Thorakotomie (Öffnung bis zum Tode nicht geschlossen). Parallele Registrierung der Atemdruck- und kostalen Atmungskurve (Fig. 7).

Verlauf von der Anlegung der Öffnung bis zum Tode sehr klar beim Vergleich der beiden Kurven erkennbar. Atembewegung zeigte sich sehr lebhaft, aber Atemdruck ganz und gar erfolglos. Das Tier ging ohne Cheyne Stokessche Atemzüge direkt zum Agonalzustand über.

Hund Nr. 13. ♀, rötlich-bräunlich und weiss gefleckt, 8,05 kg. 15. Februar 1926.

Morphin-Tiefnarkose.

Dreizeitige Thorakotomie (Öffnung 0,5 cm, 0,8 cm u. 2,5 cm).

Parallele Registrierung der Atemdruck- und Atembewegungskurve (Fig. 5).
Resultat in Kap. IV eingehend behandelt.

Hund Nr. 14. ♀, gelblich-bräunlich, 7,10 kg. 20. Februar 1926.

Morphin-Narkose.

Zweizeitige Thorakotomie.

Atemdruckkurve durch M a r e y s c h e Kapsel zum Zweck des Vergleichs bei Kaninchen-fällen. Resultate wie die bei Hund Nr. 1, 11, 13 und anderen konstatierbar.

Hund Nr. 15. ♂, rötlich-bräunlich, 8,65 kg. 25. Februar 1926.

Morphin-Halbnarkose.

Linke zweizeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Orthodiagramm (Fig. 18) und Röntgenphotographie (Fig. 21).

Es war merkwürdig, dass der Zwerchfellstand der Pneumothoraxseite ziemlich hoch war und der Spaltraum zwischen Zwerchfellkuppe und Herzbasis fehlte.

Hund Nr. 16. ♀, rötlich-bräunlich und weiss gefleckt, 8,0 kg. 27. Februar 1926.

Morphin-Halbnarkose.

Rechte zweizeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm, wobei Röntgenphotographie (Fig. 20) und Orthodiagramm (Fig. 17) aufgenommen wurden.

Resultate wie die in Kap. IV, nur ist es bemerkenswert, dass der Zwerchfellstand zwischen Expirium und Inspirium an der Pneumothoraxseite auch sehr gross war (Zug der Mediastinalbewegung?).

Hund Nr. 17. ♂, schwarz, 4,8 kg. 6. März 1926.

Morphin-Halbnarkose.

Rechte einzeitige Thorakotomie.

Parallele Registrierung der Atemdruck- und Intrapleuraldruckkurve.

Letztere wurde schon von mehreren Forschern ausgeführt, ist aber nur eine relative Darstellungsmethode der Atemdruckschwankungen. Von mir wurden diese Kurven hier nur zur Zwecke des Vergleiches registriert. Resultat o. B.

Kaninchen.

Kaninchen Nr. 1. ♀, 2400 g. 14. Dezember 1925.

Tutokain-Lokalanästhesie.

Zweizeitige Thorakotomie und linke totale Lungenresektion.

Parallele Registrierung der Atemdruck- und Abdominalatmungskurve (Fig. 12). Zuerst wurde kleine Öffnung (Durchmesser 0,2 cm) gebildet, dann erfolgte 1 Minute später Erweiterung derselben Öffnung (3 cm). Im ganzen Verlauf war keine Dyspnoe (mit Mediastinalflattern) zu sehen. Bei der grossen Öffnung erschienen die Atemzüge sehr oberflächlich und die Atemzahl vermehrt. Atemzahl: Vor der Eröffnung 86, nach der kleinen Öffnung 78, nach der grossen Öffnung 130–135, nach der Lungenresektion 130–135. Atemdruck wurde hierbei ausgelassen. Nach dem ganzen Bilde ist dieser Fall zur Gruppe 3 gehörig.

Kaninchen Nr. 2. ♂, 2840 g. Lokalanästhesie. 27. Dezember 1925.

Zweizeitige Thorakotomie und linke totale Lungenresektion.

Parallele Registrierung der Atemdruck- und Abdominalatmungskurve (Fig. 12).

Anfallsweise trat Mediastinalflattern auf, das immer schwächer wurde, und dessen Intervall sich allmählich verlängerte. Zuletzt sind Anfälle verschwunden. Amplitude der Atemdruck- und Bauchatmungskurve sind vollkommen hergestellt. Zur Gruppe 2 gehörig. 35 Tage nach der Operation (Lungenresektion) war das Tier noch am Leben.

Kaninchen Nr. 3. ♀, 1740 g. Lokalanästhesie. 10. Januar 1926.

Einzeitige Thorakotomie und linke Lungenresektion.

Parallele Registrierung der Atemdruck- und Kostalatmungskurve (Fig. 11).

Anfängliche Dyspnoe erschien etwas stärker als die in Kaninchen Nr. 2. Hierbei fiel auf, dass die kostale Bewegungskurve trotz der mit der Zeit zunehmenden Amplitude der Druckkurve an Amplitude nicht zunahm.

Zur Gruppe 2 gehörig. Jetzt noch gesund am Leben.

Kaninchen Nr. 4. ♀, 2460 g. 18. Januar 1926.

Einzeitige rechte Thorakotomie. Hautschnitt unter Lokalanästhesie.

Parallele Registrierung der Atemdruck- und Kostalbewegungskurve (Fig. 10).

Mediastinalflattern war in allen Kaninchenfällen am stärksten. Amplitude der beiden Kurven wurde nicht hergestellt. Durch Sauerstoffüberdruckapparat konnte man die Wundöffnung total schliessen, und infolge davon das Leben der Tiere erhalten. Zur Gruppe 1 gehörig.

Kaninchen Nr. 5. ♀, 2620 g. 19. Januar 1926.

Zweizeitige rechte Thorakotomie.

Parallele Registrierung der kostalen- und abdominalen Atembewegungen (Fig. 13). Zur Gruppe 2 gehörig.

Kaninchen Nr. 6. ♂, 1260 g. 26. Januar 1926.

Einzeitige linke Thorakotomie.

Parallele Registrierung wurde wie oben ausgeführt und zeigte dasselbe Resultat. Zur Gruppe 3 gehörig.

Kaninchen Nr. 7. ♂, 1890 g. 28. Januar 1926.

Einzeitige rechte Thorakotomie.

Parallele Registrierung wie oben (Fig. 14). (Vgl. Kaninchen Nr. 4 u. 5).

Direkt nach der Eröffnung ist nur die Amplitude der Abdominalbewegung wie die in Nr. 5 vergrößert und die der kostalen zeigt keine Veränderung. Nur im folgenden Punkte ist Verschiedenheit zu konstatieren: Die vergrößerte Amplitude hat sich wieder beim geschlossenen Pneumothorax verringert, und die Atemzüge sind viel frequenter geworden. Atemfrequenz betrug in normalem Zustand 60, in offenem 105, in geschlossenem 180, in wieder geöffnetem 105 und in wieder geschlossenem Pneumothorax 180 bis 190. Zur Gruppe 2 gehörig.

Kaninchen Nr. 8. ♀, 1540 g. 30. Januar 1926.

Linke einzeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Herzverschiebung zeigte sich nach oben sehr deutlich, so dass Herzbasis in der Höhe der 4. Rippe lag. Der Zwischenraum von Herzbasis und Zwerchfell nahm ca. über zwei Interkostalräume ein. Hierbei fand ich die Schatten der Hohlvene als Zeichen von Mediastinalflattern. Der Bewegungsgrad des rechten Zwerchfells war etwa doppelt so gross als

normal. Sonst wie im Kap. IV. Zur Gruppe 3 gehörig. Das Tier ist 48 Stunden später zu Grunde gegangen. Sektionsbefunde: Lunge hochgradig kollabiert, linker Pyothorax nachweisbar. Herz etwas nach oben gedrängt, infolgedessen der Spaltraum zwischen Herzbasis und Zwerchfell etwa einen Interkostalraum einnimmt. Unteres Mediastinalblatt mehr gespannt, Lobus inf. med. in Recessus pleurae ganz typisch gefunden.

Kaninchen Nr. 9. ♀, 1560 g. 30. Januar 1926.

Rechte einzeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Mediastinalflattern zeigte sich dem Hohlvenenschatten nach sehr hochgradig, Herz in die Mitte der gesunden Thoraxhöhle verlagert. Zwischenspaltraum nahm ca. einen I.K.R. ein.

Atemfrequenz war vor der Thorakotomie 70, nach derselben 140. Man konnte beobachten, dass Mediastinalflattern nach der Thoraxschliessung noch vorhanden war, und die Lage des Herzens nicht mehr normal hergestellt wurde.

Zur Gruppe 1 gehörig. 40 Stunden nach der Operation ging das Tier zu Grunde. Sektionsbefunde: Beide Lungen mässig aufgebläht, Lobus inf. med. der rechten Lunge, deren Spitze bis an den linken Rand der Wirbelsäule gelangt, sehr gut entwickelt, Thoraxhöhle frei von Eiterung.

Kaninchen Nr. 10. ♀, 2850 g. 18. Februar 1926.

Linke einzeitige Thorakotomie.

Atemungsdruckkurve zeigte Atemzahl und Atemdruckamplitude o. B.

Durch Hemmung der inspiratorischen Vorwölbung der Bauchdecke (mit Handteller gedrückt) kam Atemfrequenzvermehrung und Amplitudevergrößerung vor.

Dies zeigt, dass die Dyspnoe durch die Störung der kompensatorischen Abdominalbewegung verursacht wurde. Zur Gruppe 3 gehörig. Weiter legte man kleine Öffnung am rechten Pleura an, wonach das Tier an beiderseitigem Pneumothorax litt und sofort an Erstickung starb. Sektionsbefunde: Reichliche Fettablagerung an Mediastinalblättern, doch nur an sogenannten schwachen Stellen wie inselförmig vereinzelt angelagert.

Kaninchen Nr. 11. ♂, 1980 g. 23. Februar 1926.

Linke einzeitige Thorakotomie.

Atemdruckkurve.

Temporäre heftige Dyspnoe wie Cheyne-Stokes'sches Atmen. Keine frequentere Atmung nach geschlossenem Pneumothorax. Zur Gruppe 2 gehörig. Das Tier starb nach 3 Tagen. Todesursache: Peribronchialabszess und linker Pyothorax.

Kaninchen Nr. 12. ♂, 2010 g. 23. Februar 1926.

Rechte einzeitige Thorakotomie.

Atemdruckkurve.

Sehr hochgradiges Mediastinalflattern mit heftiger Dyspnoe zeigte sich wie bei Kaninchen Nr. 4 oder 9. Beim geschlossenen Pneumothorax war auch forcierter Atemtypus erkennbar. Die Atemzahl betrug vor der Eröffnung 48, beim offenen Pneumothorax 98, beim geschlossenen 105 bis 108.

Die Mediastinalblätter kamen bei der Sektion sehr dünn, zart, faltenreich und ausdehnbar zur Beobachtung.

Kaninchen Nr. 13. ♂, 1290 g. 25. Februar 1926.

Linke einzeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Röntgenphotographie (Fig. 24) und Orthodiagramm (Fig. 27) aufgenommen.

Befunde wie die bei Kaninchen Nr. 8. Spaltraum zwischen Herzbasis und Zwerchfell, besonders beim Insperium sehr deutlich zu sehen, wobei auch die Hohlvenenschatten ganz typisch dargestellt sind. Pneumothorax ca. 1 Stunde offen, kein heftiger dyspnoischer Zustand erkennbar.

Zur Gruppe 3 gehörig.

Kaninchen Nr. 14. ♀, 1050 g. 27. Februar 1926.

Rechte einzeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Röntgenphotographie (Fig. 25) und Orthodiagramm (Fig. 29).

Lageverschiebung des Herzens und Zwischenraum (ca. 2 Interkostalräume) sehr deutlich wahrnehmbar. Nach der Untersuchung war das Tier ca. eine Stunde lang im offenen Zustand liegen geblieben, wodurch es an Erstickung zu Grunde ging.

Zur Gruppe 3(?) gehörig.

Kaninchen Nr. 15. ♀, 1390 g. 2. März 1926.

Rechte einzeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Röntgenphotographie (Fig. 26) und Orthodiagramm (Fig. 30).

Befunde bei offenem Zustand ganz wie oben. Hier auch Orthodiagramm in geschlossenem Zustand aufgenommen. Dabei fand man, dass die Pendelbewegung schon aufgehört hatte, und nur die Venenschatten sich im Bereich von ca. $\frac{1}{2}$ cm lebhaft bewegten. Zwerchfell nur an der gesunden Seite auf- und absteigend. Zur Gruppe 2 gehörig.

Kaninchen Nr. 16. ♂, 1550 g. 4. März, 1926.

Linke einzeitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Röntgenphotographie (Fig. 22) und Orthodiagramm.

Befunde wie die bei Kaninchen Nr. 8 und 13. Paradoxe Zwerchfellbewegung, die gewöhnlich sehr schwer zu photographieren ist, konnte ich hier ganz zufällig sehr gut aufnehmen. Pendelbewegung des Herzens beim geschlossenen Pneumothorax in diesem Fall durch Luftaspiration total verschwunden.

Zur Gruppe 3 gehörig.

Kaninchen Nr. 17. ♂, 2055 g. 4. März 1926.

Linke einzeitige Thorakotomie.

Parallele Registrierung der Trachealdruck- und Abdominalbewegungskurve (Fig. 15). Befund wie die bei Kaninchen Nr. 1, 2, 3, 6 und 10.

Amplitudevergrößerung und Atemfrequenz wurden bei geschlossenem Pneumothorax durch Luftaspiration beseitigt. Zur Gruppe 3 gehörig.

Kaninchen Nr. 18. ♂, 2020 g. 29. März 1926.

Röntgenphotographie bei normalem lebendigen Zustand.

Seitenansicht ohne Fesselung.

Kaninchen Nr. 19. ♀, 1880 g. 29. März 1926.

Wie oben.

Kaninchen Nr. 20. ♂, 1980 g. 8. Mai 1926.

Linke einseitige Thorakotomie auf dem Röntgenschirm.

Röntgenphotographie (Fig. 23) und Orthodiagramm (Fig. 28).

Geringe Herzverschiebung nach oben und nach der gesunden Seite bemerkbar, sonst o. B.

Kaninchen Nr. 21, 22, 23, 24, 25 und 26.

Topographisch-anatomische Untersuchungen, wobei Photographie aufgenommen wurde.

Literatur.

- (1) Amburger, Beitr. z. kl. Chirur. 1901, **30**, 3.
- (2) Bittorf, Münch. med. Woch., 1910, **57**, 1218.
- (3) Bourdelle, Cf. nach Duval (12).
- (4) Brauer, Beitr. z. Kl. d. Tuberkulose, 1909, **12**, 49.
- (5) Derselbe, Kongress f. inn. Med. 1908, Wien. Zit. nach Nitsch (30).
- (6) Derselbe, Marb. Universitäts-Programm, 1906, Zit. nach Bruns (8).
- (7) Derselbe, Sitzungsbericht zu Köln, 1908, Zit. nach Wien. kl. Woch. 1908, **21**, 1428.
- (8) Bruns, Beitr. z. Klinik d. Tuberkulose, 1906, **12**, 1.
- (9) Davidoff, Lehrbuch d. Histologie. Zit. nach Bruns (8).
- (10) Delaginer, Bull. de Chirur. 1901, **37**, 1093, Zit. nach Virchows Jahresbericht, 1901, **37**, 387.
- (11) Duval und Baumgartner, Bull. et Mem. Soc. Chirur. Paris, 1913, **39**, 1599.
- (12) Duval, Press méd. 1922, **13**, 409 und 1923, **31**, 733.
- (13) Elleberger und Baum, Anatomie des Hundes, Berlin 1891.
- (14) Ewarts und Graham, Journ. Amer. Med. Assoc., 1919, **73**, 1934.
- (15) Ewald und Kobert, Pflügers Arch., 1883, **31**, 160.
- (16) Fleischner, Fortsch. auf d. Gebiete d. Röntgenstrahlen, 1922, **28**, 578.
- (17) Willy, Deut. Zeitschr. f. Chirur., 1922, **171**, 283.
- (18) Forscbach, Zeitschrift f. kl. Med. 1910, **70**, 474.
- (19) Garrè, Grundriss der Lungenchirurgie, Jena 1903. Zit. nach Sauerbruch (33).
- (20) Derselbe, Mitteil. an d. Grenzgeb., 1902, **9**, 322.
- (21) Graham und Bell, Journ. Amer. Med. Assoc. 1918, **70**, 156.
- (22) Hultkranz, Skand. Arch. f. Physiol. 1891, **2**, 70.
- (23) Hutchinson, Von der Kapazität der Lunge, Braunschweig 1847. Zit. nach Landois, Lehrbuch d. Physiologie, 1921, 17 Aufl.
- (24) Jaquet, Reb. de Chirur., 1923, **42**, 4.
- (25) Jorek, Post-graduate, 1906, April, 335. Zit. nach Centralbl. f. Chirur. 1906.
- (26) Jurgeljunas, Zit. nach Centralbl. f. Chirur. 1906.
- (27) Kienböck, Wien. kl. Woch., 1898, **10**, 538.
- (28) Konjetzung, Zentralorg. f. d. gesamt. Chirur., 1923, **23**, 496.
- (29) Murphy, Journ. Amer. Med. Assoc., 1898, **31**, 281 und 341.
- (30) Nitsch, Beitr. z. Klinik d. Tuberkulose, 1910, **18**, 1.
- (31) Reinbot, Deut. Arch. f. kl. Med., 1897, **18**, 178.
- (32) Rosenthal, Hermanns Handbuch d. Physiologie, Leipzig, 1882.
- (33) Sauerbruch, Chirurgie d. Brustorgane, 1920, 2. Aufl.
- (34) Derselbe, Mitteil. a. d. Grenzgeb., 1904, **13**, 399.
- (35) Derselbe, Bruns' Beitr. z. kl. Chirur., 1908, **60**, 450.

- (36) Sehrwald, Deut. med. Wochenschr., 1889, **34**, 689.
 - (37) Trezebicky, Arch. f. kl. Chirur., 1902, **67**, 314.
 - (38) Wenckebach, Wien. Arch. f. inn. Med., 1920, **1**, 1.
-