(Aus dem physiologischen Institut der Universität Marburg.)

Über das für die Lungenvaguswirkung neutrale Lungenvolum.

Von

Dr. **M. Ishihara**, Fukuoka (Japan).

(Mit 11 Textfiguren.)

Nach den neueren Untersuchungen von Professor F. Schenck¹⁾ werden bei der gewöhnlichen ruhigen Expiration nicht nur die inspiratorisch wirksamen Vagusfasern nicht erregt, sondern es hört noch nicht einmal die Erregung der expiratorisch wirksamen Fasern ganz auf; die inspiratorisch wirksamen Fasern werden erst bei starkem Lungenkollaps, wie man ihn durch starke künstliche Aus-saugung der Lungen erhält, erregt. Es muss daher für die natürliche Erregung des Lungenvagus eine neutrale Stellung der Lungen geben, in der weder die inspiratorische noch die expiratorische Wirkung des Vagus auf die Atmung zustande kommt, und zwar muss diese Stellung bei einem kleineren Lungenvolum vorhanden sein als bei dem Volum, das die Lunge in gewöhnlicher ruhiger Expirationsstellung hat. Auf Veranlassung von Herrn Professor F. Schenck habe ich einige Untersuchungen über diese Neutralstellung angestellt, über deren Resultate ich im folgenden berichten will.

I.

Zunächst habe ich an fünfzehn schwach chloralisierten Kaninchen nach dieser Neutralstellung gesucht. Das Versuchstier wurde tracheotomiert, und die in die Trachea eingelegte Kanüle wurde aussen mit dem einen Schenkel einer H-förmigen Glasröhre luftdicht verbunden. An den zweiten Schenkel des H-Rohres war ein durch Klemmpinzette verschliessbares kurzes Gummischlauchstück angesetzt; der dritte

1) Dieses Arch. Bd. 100 S. 337. 1903.

Schenkel wurde durch einen dickwandigen Gummischlauch mit einem Gummimanometer und der vierte mit einer Saugvorrichtung verbunden; letztere bestand aus zwei grossen, unten tubulierten Flaschen; die Tubuli der beiden Flaschen waren durch einen Gummischlauch verbunden, die Flaschen zur Hälfte mit Wasser gefüllt. In den Hals der einen Flasche war ein durchbohrter Gummipfropf eingesetzt, und in der Durchbohrung des Pfropfens steckte ein Glasrohr, das mit jenem vierten Schenkel des H-Rohres durch den einen der oben erwähnten dickwandigen Gummischläuche verbunden wurde. Wurde die andere Flasche tiefer als die erste gestellt, so floss das Wasser in sie über und saugte Luft aus der Röhrenleitung zwischen der Trachealkanüle und dem Manometer heraus. Damit das Ausaugen plötzlich geschehen konnte, wurde vor dem Tieferstellen der einen Flasche an den Schlauch zwischen H-Rohr und Ausaugvorrichtung noch eine Klemmpinzette angelegt, die nach Tieferstellen der Flasche in dem Momente, wo ausgesaugt werden sollte, gelöst, gleich danach aber wieder angelegt wurde; die Lunge blieb danach in dem ausgesaugten Zustande, bis die zuerst erwähnte Klemmpinzette an dem kurzen Gummischlauchstück gelöst und dadurch die Kommunikation der Luftwege nach aussen wieder freigegeben war. Auch das Aufblähen der Lungen wurde in den später zu beschreibenden Versuchen mit dieser Vorrichtung bewirkt, indem die zweite Flasche höher gestellt wurde als die erste.

Die beiden Nervi vagi wurden am Halse des Versuchstieres freigelegt; der eine Vagus wurde durchschnitten, an den anderen Vagus wurden vermittelst der mit Kochsalzlösung getränkten Wollfäden drei unpolarisierbare Elektroden angelegt in der Weise, wie es Pflücker in der dieser vorangehenden Abhandlung beschrieben hat. Die Elektroden waren mit einer Akkumulatoren-batterie verknüpft; der elektrische Strom diente zur reizlosen Vagusausschaltung durch Anelektrotonus in der von Schenck und von Pflücker beschriebenen Weise. Die Spannung der angewandten Elemente der Batterie betrug bei den Versuchen 6 bis 12 Volt. Der Strom wurde immer so stark gewählt, dass die inspiratorische Wirkung, welche nach Vagusausschaltung bei Fixation der Lungen in gewöhnlicher Expirationsstellung immer zu erhalten ist, bei Durchleitung des Stromes sicher zustande kam.

Der einzelne Versuch wurde nun in folgender Weise angestellt: Bei einer gewöhnlichen Expirationsstellung wird das vorher offene

kurze Gummischlauchstück am H-Rohr durch die erste Klemmpinzette geschlossen, und gleich danach, während die nächste Inspiration im Gange ist, wird die zweite Klemmpinzette an der Saugvorrichtung für kurze Zeit gelöst, dann wieder bei ausgesaugtem Zustande der Lungen geschlossen, und nun werden die Atemanstrengungen des Tieres bei dieser Lungenstellung durch das Manometer auf die Kymographiontrommel aufgeschrieben. Nach einigen Sekunden wird die erste Klemmpinzette gelöst, das Tier kann ins Freie atmen, und es wird ihm einige Zeit Ruhe gegönnt. Es wird alsdann der Versuch nochmals in der gleichen Weise wiederholt; nur wird das zweite Mal sofort nach der Aussaugung, die um denselben Betrag wie das erste Mal erfolgt sein muss, auch der zur Vagusausschaltung dienende Strom geschlossen. Solcher Versuchsreihen mit und ohne Vagusausschaltung werden mehrere nacheinander angestellt bei verschieden starker Aussaugung, die erreicht wurde dadurch, dass die zweite Flasche der Saugvorrichtung bald mehr, bald weniger tief unter die erste gestellt wurde.

Auf solche Weise konnte ich immer eine Stellung des Lungenvolums finden, bei der die Vagusausschaltung weder eine deutlich expiratorische noch eine deutlich inspiratorische Wirkung hatte, während bei stärkerer oder schwächerer Aussaugung eine expiratorische oder inspiratorische Wirkung hervortrat. Diese Neutralstellung fand ich an 1500—2000 g schweren Kaninchen bei einem Lungenvolum, das einem negativen Drucke von 15—30 mm Quecksilbersäule in der Aussaugvorrichtung entspricht. Es ist natürlich nicht möglich, das Lungenvolum der Neutralstellung in absoluter Grösse anzugeben, und ich muss mich daher auf die Angabe beschränken, durch welchen negativen Druck das Volum erreicht wurde.

Als Beleg für meine Angaben dienen die Kurven der Fig. 1, 2 und 3. In diesen Figuren wie in allen folgenden sind die Kurven von links nach rechts zu lesen. Mit ein und derselben römischen Zahl ist immer je ein Paar Versuche mit gleichem Aussaugungsgrade bezeichnet; *a* gibt dabei den Versuch ohne, *b* mit Vagusausschaltung an. Über der Kurve jedes Versuches ist auch der Druck angegeben, bei dem die Aussaugung erfolgt war. In diesen wie in allen weiteren Kurven bedeutet immer die Senkung der Kurve Aussaugen resp. Inspirationsanstrengung, die Hebung Aufblähen resp. Expirationsanstrengung. Oberhalb der Atmungskurve ist die Schliessung und Öffnung des den Vagus ausschaltenden Stromes

Fig. 1.

vermittelst eines elektrischen Signalschreibers markiert und die Zeit in Sekunden registriert.

Bei *Ib* der Fig 1 zeigt die Ausschaltung deutlich inspiratorische Wirkung im Vergleich zu der Kurve *Ia* ohne Ausschaltung in gewöhnlicher Expirationsstellung. Bei *IIIb* der Fig. 1 ist expiratorische Wirkung der Vagusausschaltung vorhanden; es fällt der Inspirationskrampf fort, der in dem entsprechenden Versuche *IIa* ohne Ausschaltung zu beobachten war. Bei *III* dagegen sieht man fast keine Wirkung der Ausschaltung.

Ganz analog ist aus der Fig. 2*a* u. *b* zu entnehmen, dass im Versuchspaar *III* (bei -27 mm Hg Aussaugungsdruck) die Vagusausschaltung

Fig. 2*a*.

keinen deutlichen Effekt hatte, während bei *I* und *II* (0 und -23 mm Hg Druck) durch Vagusausschaltung inspiratorische, bei *IV* und *V* (-35 mm Hg und -42 mm Hg Druck) expiratorische Wirkung erzielt wurde.

In Fig. 3*a* u. *b* zeigt sich bei *V* mit -25 mm Hg Druck noch inspiratorische Wirkung, bei *VI* mit -28 mm Hg Druck noch expiratorische. Die Neutralstellung der Lunge ist also in diesem Versuche als innerhalb sehr enger Grenzen von Druckunterschieden liegend gefunden worden.

Es folgt also aus diesen Beobachtungen, dass die für die Wirkung der Vagusreizung neutrale Stellung der Lungen bei etwas kleinerem Volumen liegt, als der gewöhnlichen Expirationsstellung entspricht. Der expiratorische Effekt der Vagusausschaltung tritt um so stärker

Fig. 2 b.

Fig. 3 a.

hervor, je kleiner, von dieser Neutralstellung aus gerechnet, das Lungenvolum wird; der inspiratorische Effekt der Vagusausschaltung tritt um so mehr hervor, je grösser das Volum, von dieser Neutralstellung aus gerechnet, ist.

II.

Es fragt sich nun, ob die Neutralstellung unter allen Umständen immer bei demselben Lungenvolum bleibt, oder ob sie wechseln kann.

Um auf diese Frage experimentell eine Antwort geben zu können, habe ich untersucht, ob etwa durch ungewöhnlich lang ausgedehnte natürliche Erregung der einen oder anderen Lungenfaserart eine Veränderung der Lage der Neutralstellung hervorzubringen ist. Die Reizung der expiratorisch wirksamen Fasern durch Aufblähung der Lungen wurde hierzu als das bequemste Mittel verwandt. Die Versuchsanordnung ist dieselbe wie oben erwähnt; nur wurde hier aufgebläht statt ausgesaugt. Gleich nach dem Zuklemmen des kurzen Gummischlauchstückes blähte ich durch kurzes Öffnen der zweiten Klemmpinzette an der ersten Flasche, welche hier niedriger gestellt ist als die andere, die Lungen auf und fixierte sie so einige Zeit lang in aufgeblähtem Zustande. Kurz bevor nach dem dadurch bewirkten expiratorischem Stillstande noch die erste Inspiration wieder zu erwarten war, brachte ich durch ein kurzes Öffnen der Klemmpinzette am kurzen Gummischlauchstück die Lungen wieder zum gewöhnlichen Lungenvolum in Expirationstellung zurück und registrierte die Atemanstrengungen bei dem so fixiert gehaltenen Lungenvolum. In dieser Art wurden je zwei Versuche angestellt, der erste ohne, der zweite mit Vagusausschaltung während der Atemanstrengung in Expirationsstellung; im zweiten Falle wurde der Vagus ausgeschaltet, sobald die Lunge wieder die gewöhnliche Expirationsstellung hatte. In den verschiedenen Versuchspaaren wurde die Aufblähung verschieden stark gemacht; daneben wurde wiederholt die Lunge ohne vorausgegangene Aufblähung in gewöhnlicher Expirationsstellung mit und ohne Vagusausschaltung fixiert und die Atemanstrengung registriert.

Bei diesem Versuchsplane war ich von der Erwägung ausgegangen, dass durch die langdauernde Erregung der expiratorisch wirksamen Lungenvagusfasern diese weniger wirksam, die inspiratorisch wirksamen dagegen wirksamer geworden sein konnten, so dass letztere jetzt schon bei grösserem Lungenvolum, vielleicht schon

bei gewöhnlicher Expirationsstellung stärker wirksam geworden sein könnten als erstere. Wenn diese Überlegung richtig wäre, dann müsste der Effekt der Vagusausschaltung auf die Atemanstrengung in Expirationsstellung nach vorausgegangener Aufblähung gerade umgekehrt sein als ohne die Aufblähung: im letzteren Falle inspiratorisch, im ersteren Falle dagegen expiratorisch.

Eine solche Veränderung der Wirkung der Vagusausschaltung nach Aufblähen konnte ich tatsächlich in einigen Fällen konstatieren, nämlich einen expiratorischen Effekt durch Vagusausschaltung oder doch wenigstens keinen inspiratorischen Effekt mehr, während ein deutlicher Inspirationseffekt bei Vagusausschaltung ohne vorausgegangene Aufblähung erhalten war. Als Beleg für diese Angaben gebe ich in den Fig. 4 und 5 Beispiele von solchen Kurven. Der Grad der Aufblähung ist hier auch in Millimeter Quecksilbersäule angegeben; im übrigen sind die Kurven nach dem früher Gesagten leicht verständlich.

In Fig. 4 sieht man bei *Ib* zunächst den inspiratorischen Effekt der Vagusausschaltung in Expirationsstellung ohne vorausgegangene Aufblähung. Bei *IIa* und *b* sind die Versuche mit vorausgegangener Aufblähung dargestellt; bei *IIa* ohne Vagusausschaltung sieht man als Folge der vorausgegangenen Aufblähung einen längeren inspiratorischen Stillstand; bei *IIb* hält dieser Stillstand infolge Vagusausschaltung nicht so lange an; die erste Expiration tritt früher ein; das ist der Ausdruck einer expiratorischen Wirkung der Vagusausschaltung.

In Fig. 5 ist auch ohne vorausgegangene Aufblähung eine erhebliche inspiratorische Wirkung durch Vagusausschaltung erhalten (bei *IIb*), mit vorausgegangener Aufblähung hat die Vagusausschaltung dagegen keinen Effekt mehr (vgl. *Ib* und *Ia*). Beiläufig sei bemerkt, dass hier in *Ia* nicht etwa die Aufblähung stärker gewesen ist als in *Ib*; wie das bei einem Blick auf den Teil der Kurven gleich nach der Aufblähung erscheinen könnte; die hier zu beobachtenden Verschiedenheiten waren vielmehr dadurch bedingt, dass in *Ia* der durch die plötzliche Aufblähung stark geschleuderte Hebel oben an der Trommelfläche etwas gehakt hatte und erst etwas später wieder zu der dem Lungenvolum entsprechenden Stellung herabfiel.

In Fig. 4 liegt demnach die Neutralstellung nach vorausgegangener Aufblähung bei etwas grösserem Lungenvolum, als der

gewöhnlichen Expirationsstellung entspricht, in Fig. 5 bei dem Volum der gewöhnlichen Expirationsstellung selbst.

Fig. 4.

Dies Versuchsergebnis kam allerdings in meinen an zahlreichen Versuchstieren angestellten Versuchen nur sehr selten vor. In den

Fig. 5.

Fig. 6.

meisten Fällen ergab sich auch nach vorausgegangener Aufblähung immer noch ein inspiratorischer Effekt der Vagusausschaltung, meist nicht geringer als ohne vorausgegangene Aufblähung, in einigen Fällen sogar etwas deutlicher. Ein Beispiel der letzteren Art stellt Fig. 6 dar, die ohne weitere Erläuterung aus dem bisher Gesagten verständlich sein wird. Man sieht da bei der Vagusausschaltung nach vorausgegangener Lungenblähung (bei *IIb*) einen

Fig. 7 a.

erheblichen inspiratorischen Stillstand, während die Vagusausschaltung ohne vorherige Lungenblähung (bei *Ib*) und auch die Lungenblähung allein ohne Vagusausschaltung (bei *IIa*) nicht eine so starke inspiratorische Wirkung zur Folge haben.

Ein solch starker inspiratorischer Effekt als Folge der Vagusausschaltung nach vorheriger Lungenblähung trat übrigens manchmal nur auf, wenn die Aufblähung nur kurz gedauert hatte, während nach längerer Aufblähung dieser inspiratorische Effekt wieder

schwächer oder gar unmerklich wurde. Ein Beispiel dieser Art gibt die Fig. 7 *a* u. 7 *b*, wo ohne vorherige Aufblähung der inspiratorische Effekt der Vagusausschaltung nur gering war (bei *IIb*); nach kurzer Aufblähung bei *IIIb* tritt dieser Effekt viel stärker hervor, um nach längerdauernder Aufblähung (bei *Ib*) wieder unmerklich zu werden.

Über die Ursache dieser verstärkten inspiratorischen Wirkung der Vagusausschaltung lässt sich auf Grund der bisher beschriebenen

Fig. 7 *b*.

Versuche noch nichts Sicheres aussagen. Möglich wäre es, dass sie beruht auf einer Verlagerung der Neutralstellung der Lungen nach unten hin, d. h. die Neutralstellung läge bei kleinerem Lungenvolum als in der Norm; jedoch sind auch andere Erklärungen zulässig.

Um etwas mehr Sicherheit in der Frage der Verlagerung der Neutralstellung zu gewinnen, wurden daher schliesslich noch Versuche angestellt, in denen die Lungen zwar zuerst auch aufgebläht, danach aber nicht bloss bis zu gewöhnlicher Expirationsstellung

wieder zurückgeführt, sondern durch Aussaugen noch mehr verkleinert wurden, etwa bis zu dem Volumen, das der normalen Neutralstellung entsprach. Es wurde dann der Effekt der Vagusausschaltung bei dieser Stellung verglichen mit der Wirkung, die die Vagusausschaltung

Fig. 8.

hatte, wenn diese Stellung ein zweites Mal durch Aussaugen allein, ohne vorherige Aufblähung, erreicht war. Diese Versuche haben ausnahmslos ergeben, dass durch die Aufblähung niemals eine Verlagerung der Neutralstellung zu einem kleineren Lungenvolumen stattgefunden hatte; sondern dass danach entweder die Neutral-

stellung bei demselben oder bei einem etwas grösseren Lungenvolum zu finden war.

Ein Beispiel der letzteren Art wird durch die Fig. 8 gegeben. Hier ist ohne vorherige Aufblähung bei Aussaugung mit -14 mm Quecksilberdruck noch inspiratorische Wirkung der Vagusausschaltung vorhanden (siehe *IIb*), bei Aussaugung mit -35 mm Quecksilberdruck dagegen expiratorische Wirkung (siehe *IIIb*). Als nun erst eine nicht sehr lange Aufblähung bewirkt worden war und danach Aussaugen mit -12 mm Druck, hatte die Vagusausschaltung nur noch eine Spur von inspiratorischer Wirkung; es war jetzt also bei -12 mm Aussaugungsdruck fast die Neutralstellung erreicht, während sie ohne vorherige Aufblähung bei -14 mm Aussaugungsdruck noch nicht erreicht war.

Im ganzen führen meine Versuchsergebnisse zu dem Schlusse, dass durch Aufblähen der Lungen eine Verlagerung der Neutralstellung zu einem grösseren Lungenvolum bewirkt werden kann, dass aber diese Verlagerung nur um einen geringen Betrag erfolgt und überhaupt nicht leicht zu erzielen ist; meist bleibt die Lage der Neutralstellung unverändert.

Was nun die Ursache der Verlagerung der Neutralstellung anlangt, so lassen sich darüber vorläufig nur Vermutungen aussprechen; ich unterlasse es daher, hier darauf einzugehen; es wird darüber an anderer Stelle von Herrn Professor Schenck mehr gesagt werden.