

Archiv für pathologische Anatomie und Physiologie und für klinische Medicin.

Bd. XVI. (Neue Folge Bd. VI.) Hft. 5 u. 6.

XXVII.

Ueber den Einfluss der Reizung des N. vagus auf das Athemholen.

Von Prof. Julius Budge in Greifswald.

§. 1.

Ueberblick der vorhandenen Beobachtungen.

Es muss in der That auffallend sein, wenn die Resultate eines leicht anzustellenden Versuches dennoch so ganz widersprechend ausfallen, wie diejenigen, welche als Wirkungen der Reizung des centralen Vagusendes von den verschiedenen Forschern angegeben werden. — Es müssen nothwendig entweder Nebenumstände obwalten, welche leicht Täuschung veranlassen, oder die Beobachtung selbst muss eigenthümliche Schwierigkeiten darbieten. Diese wo möglich aufzuhellen, habe ich mich von Neuem mit diesen Versuchen beschäftigt.

Darin stimmen Alle überein, dass, wie zuerst Hr. Traube gefunden hat, in Folge der Reizung eines durchgeschnittenen N. vagus (oder beider) an seinem centralen Ende die Athembewegungen eine Zeit lang aufhören. Die Einen behaupten indess, dass während des Stillstandes die Respirationsorgane im Zustande der Inspiration seien, die Anderen sahen dieselben wie beim Exspiriren.

Für die Erklärung und practische Anwendung dieser wichtigen Erscheinung kommt aber gerade hierauf Alles an.

Dass das Athemholen während der Inspiration in Folge der Reizung des centralen Vagusendes sistire, nehmen an die Herren: Traube¹⁾, Lindner²⁾, Kölliker und Müller³⁾, Snellen, welcher im Laboratorium des Hrn. Donders⁴⁾ arbeitete, Gilchrist, welcher im Laboratorium des Hrn. E. du Bois-Reymond⁵⁾ arbeitete; und Funke⁶⁾). Dass das Athemholen bei dem angegebenen Versuch in Exspiration stillstehe, behaupteten Hr. Eckhard⁷⁾ und ich⁸⁾). Dass endlich die Erscheinung je nach der Stärke der Reizung wechsele, indem durch schwache Reizung bei der Inspiration, durch starke Reizung bei der Exspiration der Stillstand eintrete, haben die Herren Helmolt, Aubert und Tschischwitz angegeben.

Der Versuch wurde in verschiedener Weise angestellt. Fast von Allen wurde bei geöffneter Bauchhöhle das Zwerchfell beobachtet. Nur Hr. Eckhard richtete durch die durchsichtigen Bauchmuskeln seinen Blick auf den scharfen Leberrand, und Hr. Helmolt zog aus dem während der Inspiration abnehmenden, während der Exspiration zunehmenden Blutdrucke einen Schluss, ob bei der einen oder der anderen der beiden Athemformen die Erscheinung eintrete. — Hr. Snellen gebrauchte außerdem eine Nadel, welche er in die Brust- oder Bauchhöhle einstach. — Die Herren Aubert und Tschischwitz bedienten sich der sehr einfachen und, wie sie sagen, sinnreichen Methode Pflüger's, den Strom der secundären Spirale durch einen dicken Draht zu leiten und durch Entfernung des Drahtes ihn plötzlich auf die Nerven zu senden. Dies

¹⁾ Traube in Med. Centralzeitung, herausg. v. d. Vereine f. Heilkunde in Pr. 1847. Jahrg. 16. No. 5. — Canstatt's Jahresber. 1848.

²⁾ Lindner, De nerv. vag. in resp. efficac. Diss. inaug. Berol. 1854.

³⁾ Kölliker und Müller in Würzb. Verh. 1855. p. 234.

⁴⁾ Snellen in Schmidt's Jahrb. Bd. 87. Jahrg. 1855. S. 161.

⁵⁾ Gilchrist in Schmidt's Jahrb. Bd. 100. Jahrg. 1858. S. 282.

⁶⁾ Funke, Lehrb. d. Phys. Leipzig. 1858. 2. Aufl. Bd. II. S. 473.

⁷⁾ Eckhard, Grundz. d. Phys. d. Nervens. Giessen 1854. S. 136.

⁸⁾ Budge in Compt. rend. de l'ac. des Sc. Par. 1854. T. 39. p. 749. — Spez.

Phys. 7. Aufl. S. 303.

wäre, sagen sie, das einzige Mittel, mit Präcision zu entscheiden, wie sich die Sistirung des Zwerchfells verhalte, wenn der Strom zur Zeit der Inspiration oder Exspiration hereinbreche. Es ist dies aber weder das einzige, noch das präciseste Mittel; denn sonst hätten sie sich nicht getäuscht.

In Bezug auf die Stelle, welche zum Gegenstande der Beobachtung gemacht wurde, haben die meisten Forscher blos das Zwerchfell berücksichtigt. Ich habe außerdem die Nasenöffnungen und die Stimmritzenbänder genau beobachtet, und an diesen eine deutliche Exspirationsbewegung, nämlich eine Verengerung der Nasenöffnungen und eine Annäherung der Stimmritze auf der nicht gereizten Seite, bemerkt. Hr. Snellen bestätigte, dass die Nasenflügel durch die Reizung herabgezogen würden und Hr. Gilchrist, dass die Stimmritze dabei sich zusammenziehe. Dessenungeachtet haben sich beide dafür ausgesprochen, dass die Erscheinung bei der Einathmung erfolge, obwohl anerkanntermaassen die genannten Bewegungen der Ausathmung angehören.

Die Resultate, welche erzielt wurden, wenn ein schwacher Strom, welcher keinen Stillstand veranlassen konnte, angewendet wurde, sind auch nicht übereinstimmend.

Hr. Traube beobachtete, dass die Zahl der Athemzüge, welche nach Durchschneidung beider N. vagi vermindert wird, wieder zunehme, wenn eine leichte Reizung angewendet werde.

Dasselbe bestätigte Hr. Eckhard.

Die Herren Müller und Kölliker erwähnen, dass sie niemals eine Vermehrung der Athemzüge durch Reizung gesehen hätten, vielmehr eine Verminderung.

Hr. Snellen giebt an, dass durch Einwirkung eines schwächeren Stromes die Sistirung des Athmens mit kurzen, schnellen Bewegungen abwechsle.

Meine früheren Beobachtungen über diesen Gegenstand sind folgende: Wird nur ein Nerv durchschnitten und sein oberes Ende schwach gereizt, so vermindern sich die Athemzüge, weil zwischen-durch schon Stillstände eintreten; werden beide durchgeschnitten, wodurch das Athmen ungemein selten wird, so nimmt die Häufigkeit der Athemzüge durch schwache Reizung wieder zu. Cf. Compt.

r. T. 39. p. 750. Ferner Observat. de vi quam nervi et phrenicus et vagus in respir. habeant. Bonn. 1855. p. 10.

§. 2.

Schwierigkeiten in der Beurtheilung des Versuchs und Erklärung der Widersprüche.

Die Widersprüche in den Angaben finden sich nicht nur darin, dass der Eine sagt, es sei Inspiration und der Andere, es sei Expiration, bei welcher der Stillstand Statt fände, sondern auch darin, dass am Zwerchfelle eine Inspirationsbewegung und an der Nase (Snellen) oder an der Stimmritze (Gilchrist) eine Exspirationsbewegung, und endlich, dass sogar bei einem schwachen Reize Inspiration, bei einem starken Exspiration den Stillstand begleiten soll. — Wenn auch an dem ersten der angegebenen Widersprüche möglicher Weise die Art der Beobachtung die Schuld tragen kann, so liegt der zweite und dritte in der Sache selbst. Es ist an sich höchst unwahrscheinlich, dass die Natur en deux mains handle, und während im gewöhnlichen Einathmen die Nasenöffnungen sowie die Stimmritze auseinander gezogen werden, durch Reizung des Vagus sie bei demselben Acte das Entgegengesetzte thun und so die Harmonie zwischen Gesichts-, Stimmbänder- und Zwerchfellathmen auf einmal gestört sein sollte, welche sonst in rigoröser Weise festgehalten zu werden scheint. Es ist auch unwahrscheinlich, dass die gleiche Veranlassung, der galvanische Reiz, eine vollständig entgegengesetzte Wirkung haben soll, je nachdem er stark oder schwach einwirkt.

Es müssen nothwendig noch Verhältnisse unklar geblieben sein, welche die Täuschungen verdecken. Eine grosse Reihe von Untersuchungen hat mir die Ursache der Widersprüche aufgeklärt, und mich schliesslich auf das zurückgeführt, was ich früher angegeben habe.

Die meiste Verwirrung ist dadurch entstanden, dass man mit dem Ausdrucke Inspiration keinen scharfen Begriff verband. Während der Act der Inspiration erfolgt, beschreiben die dazu verwandten Muskeln einen gewissen Weg und kehren, wenn sie dessen Ende erreicht haben, wieder zu ihrem Ausgangspunkt zurück. Ein etwaiger Stillstand kann an verschiedenen Punkten dieses Weges

eintreten und überall kann man von Inspiration reden. Setzen wir z. B. den Fall, das Athmen höre momentan auf, wenn das Zwerchfell ebensoweit von seinem Ausgangspunkte als von seiner grössten Abplattung (nach dem Bauche zu) entfernt wäre. Man wird dann nicht im Stande sein, aus dem blossen Anblicke des Stillstandes zu sagen, ob das Zwerchfell im Begriffe stehe, zur Inspiration oder zur Expiration, vorwärts oder rückwärts zu gehen. Im ersten Falle hat es den höchsten Grad seiner Contraction noch nicht erreicht, im zweiten nicht den letzten Grad der Expansion. Man muss dabei immer bedenken, dass die Beobachtung nicht an einem ruhenden Organe gemacht wird, welches durch die Reizung nun plötzlich in Bewegung gerathe, sondern an einem in steter Bewegung begriffenen.

Daher ist es die erste Aufgabe der Beobachtung, genau, nöthigenfalls durch Maasse zu bestimmen, wie gross der zurückzulegende Weg vor der Reizung gewesen ist und wie sich derselbe während der Reizung geändert hat. — Da hierauf keine Rücksicht genommen worden ist, so konnte ein gleichlautendes Resultat gar nicht erzielt werden.

Ein zweiter nicht minder beachtenswerther Punkt ist die Sensibilität. Da das centrale Ende gereizt wird, so haben wir es natürlich nur mit den centripetalen (sensiblen) Fasern des N. vagus zu thun und alle motorischen Wirkungen, welche entstehen, sind indirekte, und werden reflectorisch von dem Vaguszentrum aus erst erregt. Sobald aber auf reflectorischem Wege von sensiblen Nerven aus Bewegungen erzielt werden, so ist immer dazu eine viel grössere Kraft erforderlich, als wenn man direct die entsprechenden motorischen Nerven reizt. Ich habe hierüber schon vor langer Zeit Versuche, die noch nicht veröffentlicht sind, angestellt, indem ich die Kraft zu bestimmen suchte, welche nothwendig ist, um bei einem Frosche von der hinteren Wurzel und von der vorderen Wurzel eines Nerven aus Zuckungen zu veranlassen. Hierbei hat sich constant herausgestellt, dass im ersteren Falle dieselbe viel beträchtlicher sein muss, als im zweiten. Es lassen sich beim Frosche Vorkehrungen treffen, dass von Schmerzgefühl durch die Reizung keine Rede mehr sein und man behaupten kann, die reine

reflectorische Wirkung vor sich zu haben. Denn Frösche lassen sich bekanntlich soweit ätherisiren, dass die Respiration lange Zeit stille steht, ohne zu sterben. — Anders verhält es sich bei Säugethieren, bei denen wir das centrale Ende des N. vagus reizen. Hier können wir einen so exorbitanten Gebrauch vom Aether oder Chloroform nicht machen, wie bei Fröschen. Indem man aber genöthigt ist, wenigstens in vielen Fällen einen starken Reiz anzuwenden, muss man daher bei der Beurtheilung seiner Wirkung wohl die Möglichkeit ins Auge fassen, dass durch die Reizung Schmerz entsteht und durch den Schmerz möglicher Weise Veränderungen im Athemholen erzeugt werden können. — Schon die Beobachtung bei Menschen lehrt deutlich den bedeutenden Einfluss von Schmerz auf Athembewegungen. Nicht weniger ist es bei Thieren zu bemerken. Es ist etwas ganz Gewöhnliches, wenn irgend ein sensibler Nerv gereizt wird, dass eine anhaltende, starke Exspirationsbewegung erfolgt. So habe ich z. B. bei Reizung des N. splanchnicus, ischiadicus, der Intercostalnerven selbst dann diese Erscheinung gesehen, wenn die Thiere mässig ätherisirt waren. Hieraus folgt für unseren Versuch die Regel, dass man ihn nur dann als vollgültig ansehen darf, wenn ein Thier bis zur vollständigen Anästhesie ätherisirt worden ist.

Beachtenswerth ist ferner die Empfindlichkeit des N. phrenicus für galvanische Reize. Ich habe wiederholt gefunden, dass sich das Zwerchfell noch lebhaft contrahirte, wenn ich bei einem lebendigen Kaninchen den blossgelegten Nerven einem so schwachen Strome aussetzte, dass er unter 5 Personen bei Keinem irgend ein Gefühl auf der Zunge hervorbrachte. Bei stärkeren Reizen hat man daher an die Möglichkeit eines Ueberspringens des electrischen Fluidi wohl zu denken. Man kann in dieser Beziehung nicht vorsichtig genug sein, und man muss alle von der Wissenschaft gebotenen Cautelen und Prüfungen in Anwendung setzen, um nicht in Täuschungen zu verfallen.

Endlich mag noch der Schwierigkeit in der Beobachtung Erwähnung gethan sein, welche durch die Raschheit des Athemholens bei den in der Regel angewandten Kaninchen entsteht, um der Folge der Bewegungen gehörig mit dem Auge Schritt zu halten,

namentlich bei einem so ausgebreiteten Theile, wie das Zwerchfell ist.

§. 3.

Vorbereitungen.

Ich erwähne hier nur diejenigen, auf denen bei dem Versuche viel ankommt, nämlich die Aetherisation und die Isolirung des blossgelegten Nerven. — Im Anfange gebrauche ich eine Mischung aus $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Chloroform auf $\frac{2}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ Aether, je nach der Grösse des Thieres; später unvermischten Aether. — Um sich von der vollständigen Anästhesie zu überzeugen, drücke man die erste Phalanx der 5ten Vorder- oder Hinterzehe. Wenn nach starkem Drucke dieses Theils von oben nach unten keine Reaction entsteht, so ist eine sehr grosse Gefühllosigkeit vorhanden. Werden an diesem Theile sodann die Haare abgeschnitten und die Drähte eines Inductionsapparates auf die Haut gesetzt, ohne dass Zeichen von Schmerz sich kund geben, obwohl ein Mensch heftigen Schmerz durch denselben Strom an den Fingern fühlt; wird endlich einem solchen Strom der Bulbus oculi ohne Reaction exponirt, so kann man unbedenklich zur Reizung des N. vagus schreiten. — Der N. vagus gehört nicht zu den sehr sensiblen Nerven, er steht hierin ungemein dem N. splanchnicus und sehr vielen anderen sensiblen Nerven nach.

Ich lege gewöhnlich den N. vagus in der Nähe des (knorpeligen) Schlüsselbeins bei Kaninchen bloss, unterbinde, schneide hinter der Unterbindung durch und trenne ihn, natürlich ohne ihn zu berühren, von seinen Nachbartheilen eine gute Strecke. Sodann lege ich denselben auf 2 aufeinander liegende ziemlich grosse Objectträger. — Während der Reizung darf kein anderer Muskel, z. B. der vorderen Extremität, zucken, auch keine auf Schmerz deutende Erscheinung auftreten.

Ein gutes Mittel, um zu sehen, ob das galvanische Fluidum nicht an einen unrechten Ort übergehe, besteht darin, einen präparirten Froschschenkel in die Nähe zu legen.

§. 4.

Beobachtungsweisen.

1) Sehr zweckmässig ist die Anwendung einer rechtwinklig gebogenen Glasröhre. Der kürzere Schenkel taucht in ein Glas mit Wasser und an demselben ist eine Skala angeklebt. Der längere Schenkel ist mit einer Gummiröhre verbunden und diese mit einer kleinen Spitze von Horn, welche in die Nase gesteckt wird. Wenn das Thier gut ätherisiert ist, geht das mit der Inspiration verbundene Steigen und das mit der Exspiration verbundene Fallen des Wassers in der Röhre sehr regelmässig von Statten. Man kann auf eine leichte Weise Veränderung in Stärke und Häufigkeit beobachten, obwohl der Athmungsdruck doch gering ist, da das andere Nasenloch offen bleibt. — Steht das Athmen still, und war vor dem Stillstande die Luft in den Respirationsräumen verdünnt, hatte also eine Inspiration Statt gefunden, so wird im Augenblicke des Stillstandes sogleich die Ausgleichung der verdünnten Luft stattfinden, wenn die äussere Luft eindringen kann, d. h. wenn Nase und Mund nicht vollständig verschlossen werden. Nur wenn diese vollkommen zugehalten werden und die Luft in den Respirationsräumen verdünnt bleibt, dann würde in der Glasröhre das Wasser wie bei der Inspiration stehen bleiben. Im anderen Falle würde es aber bis zur Capillaritätshöhe sinken, d. h. es würde wegen der Capillarität der engeren Glasröhre ein wenig höher stehen, als das Wasser im äusseren Glase. — Hingegen kann man wohl an der Glasröhre bemerken, ob im Augenblicke, wann gereizt wird, eine Einathmung Statt findet oder nicht, ob diese Einathmung, welche dem Herabsinken des Wassers vorhergeht, stärker oder schwächer als die gewöhnliche vor der Reizung ist. — Würde im Augenblicke der Reizung vor dem Stillstande eine starke Ausatmung erfolgen, so gäbe sich auch dieses an dem Herabsteigen des Wassers unter das Niveau und resp. dem Entweichen von Luftblasen zu erkennen; wonach dann bei dem Stillstande und der gleichen Dichtigkeit der äusseren und inneren (in dem Respirationsraum befindlichen) Luft das Wasser bis zur Capillaritätshöhe stiege.

2) Sehr geeignet ist die Beobachtung der Nasenlöcher, die man durch ein geringes Zurücklegen der Nasenflügel sehr gut in ihren Verengerungen und Erweiterungen zu Maassbestimmungen der Respirationsstärke anwenden kann. Man kann durch den Augenschein leicht die Grösse der Oeffnung in der Inspiration und Expiration sich merken und wenn man dabei einen Zirkel ganz in die Nähe hält, selbst messen. Findet dann die Reizung Statt, so sieht man gleich, ob die Verengerung oder Erweiterung grösser oder geringer wird, als sie vorher gewesen ist, in welcher Phase der Stillstand geschieht, und was nach dem Aufhören des Reizes geschieht. — Nachdem ich alle verschiedenen Weisen der Beobachtung durchprobirt hatte, bin ich immer wieder auf diese zurück gekommen, weil sie so einfach und ohne Eingriff ist. — Wenn gleichzeitig am Zwerchfelle und an den Nasenlöchern von Zweien beobachtet, und jede kleine Veränderung mitgetheilt wird, dann überzeugt man sich, wie man an den Nasenlöchern den getreuesten Spiegel der Zwerchfellbewegungen auf einem kleinen, leicht zu übersehenden Raume vor sich hat. — Bei jeder Einathmung öffnen sich die Nasenlöcher, was wesentlich durch die Levatores labii alaeque nasi geschieht, bei jeder Ausathmung verengern sie sich, was durch die bei Kaninchen relativ starken Mm. depressores alae nasi und den Depressor septi mobilis erfolgt. Will man ein langsameres und ausgiebigeres Athmen hervorbringen, so reicht ein leiser Druck auf den weichen Kehlkopf des Kaninchens hin. Schon wenn man einen Finger auf denselben legt, bemerkt man eine geringe Wirkung eintreten. — Sobald irgendwie die Luftmenge, welche zu den Lungen dringt, vermindert ist, und daher der Druck auf die Lungenbläschen, somit deren Ausdehnung abnimmt, werden augenblicklich die Athembewegungen langsamer, so also auch wenn Mund und Nase zugehalten werden.

3) Das Zwerchfell habe ich daneben stets mitbeobachtet. Man kann zwar durch die dünnen Bauchmuskeln, zumal wenn die beiden Obliqui auch noch eingeschnitten sind und der dünne M. transversus, die sehr zarte Fascia transversa und das vollkommen durchsichtige Bauchfell allein vorliegen, die Bewegung der Gedärme und Leber recht gut beobachten. Man kann ferner auch bei jün-

gern Thieren die Brustumskeln an den falschen Rippen bis zu den M. intercostales externi, selbst bis zu den interni entfernen und dadurch ein Fenster machen, durch welches man die hellen Lungen und das dunkle Zwerchfell ab- und aufsteigen sieht, und hat dabei einen sehr deutlichen Einblick. Indess ist dadurch immer nicht die direkte Betrachtung des Zwerchfells zum Sicherstellen aller Erscheinungen zu umgehen.

Die Bewegung des Zwerchfells beim Einathmen ist zum Theil eine passive, indem der Druck der durch die eingeaethmte Luft ausgedehnten Lungen das nachgiebige Zwerchfell nach unten wölbt, namentlich an dem nicht contractilen Centrum tendineum, theils eine active durch die Muskelfasern. Bei Kaninchen ist die Contraction des Rippenteils vom Zwerchfell stärker, als die des Lendentheils. Dies habe ich am Auffallendsten beobachtet, wenn ich bei dem lebenden Thiere den N. phrenicus einer Seite vorsichtig blossgelegt und gereizt hatte. Es bedarf, wie ich oben schon bemerkte, einer äusserst geringen Reizung, um das Zwerchfell zu einer starken Contraction zu bringen. Hingegen schwächen selbst geringe Reizungen, kurze Zeit fortgesetzt, die Leistungsfähigkeit des Nerven sehr. Denn wenn man die beiden Hälften des Zwerchfells vergleicht, so wird man bemerken, dass bei dem normalen Athmen die Seite, an welcher die Reizung vorgenommen worden ist, viel weniger, ja oft gar nicht mehr spontan sich contrahirt. Das will sagen: die Anregung, welche von dem verlängerten Marke wie auf alle motorischen Inspirationsnerven so auch auf den N. phrenicus übergeht, ist bei einem durch den elektrischen Strom gereizten N. phrenicus nicht mehr im Stande ihre Wirkung zu äussern, wie vorher. Der gereizte Theil ist unfähiger geworden, die natürliche Erregung fortzuleiten. Man wird in einem solchen Falle bemerken, dass der Lumbartheil immer eher seine spontane Wirksamkeit aufgibt, als der Costaltheil. Hat man ferner länger galvanisch den N. phrenicus gereizt, so geben die schwächeren Ströme einen geringern Ausschlag als sie vorher gegeben haben, und auch hier sieht man den Lumbartheil immer dem Costaltheile hinsichtlich der Reaction nachstehen. Bei der Beobachtung des Zwerchfells nimmt man ein Gefäss oder einen

Rippenrand in's Auge, an dem zufällig der äusserste Rand des Lumbartheils anlangt, oder wenn dazu die Gelegenheit nicht gegeben war, so habe ich an der Stelle, welche beim Einathmen das Zwerchfell erreicht, eine lange Nadel lose eingestochen und gehalten. Es ist dann ein Leichtes, die Grenze des Einathmens im ruhigen Zustande und wieder die Entfernung von diesem Punkte bis zur vollendeten Ausathmung sich mit dem Auge zu bemerken. Wenn nun der N. vagus gereizt wird, so kann man sehen, ob das Zwerchfell auch dann noch die Nadel erreicht, oder sich sogar vollständig gegen dieselbe anstemmt, oder nicht bis zu derselben gelangt.

§. 5.

Wirkungen der Reizung des centralen Vagusendes einer Seite auf die Nasenöffnungen.

Das constante Resultat der Reizung, sowohl schwacher wie starker, ist die Verengerung der Nasenlöcher, oder mit andern Worten die Contraction der Mm. depressor alae nasi und depressor septi mobilis.

Diesen Verengerungsbestrebungen gesellen sich in verschiedener Weise Bestrebungen zur Erweiterung bei.

Wir sehen in nicht seltenen Fällen der Verengerung, d. h. der Exspirationsbewegung eine Erweiterung, d. h. Inspirationsbewegung vorhergehen. In vielen andern Fällen indess fehlt sie. Ohne Ausnahme bemerken wir aber eine Erweiterung, welche geringer ist, als die im normalen Athmen, wohingegen die Verengerung die frühere Grenze überschreitet, d. h. der Weg, den der Nasenflügel macht von dem Standpunkte bei der Pause bis zum Ende der Inspiration ist kleiner in Folge der Reizung des Vagus geworden, als er vorher beim ruhigen Athmen war, und der Weg, den er vom Ende der Inspiration bis zum Ende der Expiration machte, wird durch Reizung grösser. — Dies Resultat habe ich niemals anders gesehen.

Je nach der Stärke der Reizung hört das Athmen auf oder dauert fort. Wenn es bei geringer Stromstärke nicht aufhört, so können scheinbar die verschiedensten Wirkungen eintreten, nämlich sowohl Abnahme der Zahl der Athemzüge als Zunahme derselben.

Immer aber wird die Intensität der einzelnen Athemzüge geringer. Die Verschiedenheit in der Quantität ist aber nur scheinbar, die Athemzüge werden nämlich durch schwächere Ströme stets häufiger, aber kleiner, man überzeugt sich davon an der Röhre, welche in ein Nasenloch geführt wird; hier bemerkt man ein ganz geringes Steigen und Fallen. Dasselbe beobachtet man auch am Zwerchfell, wenn man auf dessen Contractionen Acht hat. Diese kleinen Schwankungen können in vollständigen Stillstand übergehen. Wenn sich die Stillstände innerhalb einer gewissen Zeit z. B. 15 Secunden öfters wiederholen, so kann es kommen, dass die Gesamtzahl der Athemzüge geringer ausfällt, als sie früher war. Sind aber die Stillstände weniger zahlreich, so ist die Athemfrequenz grösser. Die öfteren oder weniger öfteren Stillstände hängen theils von der Stromstärke, theils von der Nervenreizbarkeit ab. Bei einer gewissen Stärke des Stromes, welche nach der Individualität des Thieres sehr verschieden ist, hört also das Athmen auf, niemals ist jedoch im Stillstande die Nasenöffnung so weit, als sie vorher in der Inspiration gewesen ist.

Aber man findet keineswegs bei einem und demselben Thiere durch denselben Reiz die Durchmesser der Nasenöffnung sich gleich bleiben. Man findet vielmehr manchmal dieselbe ganz verschlossen, manchmal noch einen schmalen Schlitz darstellend, manchmal weiter geöffnet, und selbst nahe bis zur Inspirationsöffnung, die sie jedoch nie erreicht.

Um sich die Verhältnisse vollständig klar zu machen, muss man die drei Zustände bei der Respiration, den der Pause, der Inspiration und der Exspiration unterscheiden. Alle drei sind nicht unter allen Umständen gleich, bei tiefem, beschwerlichem Athmen nehmen alle drei Sphären natürlich einen grössern Raum ein, als bei oberflächlichem, leichtem Athmen. Gesetzt, es verengerten sich bei gewöhnlichem Ausathmen die Nasenlöcher bis $1\frac{1}{2}$ Mm. und blieben während der Pause 2 Mm., erweiterten sich dann im Einathmen bis 3 Mm., so wird bei verminderter Luftzutritt die Erweiterung bis 4, die Verengerung selbst bis 0, d. h. zur völligen Verschliessung gehen können. Es ist daher, wie schon gesagt, durch vielfache Beobachtung nothwendig, sich vor dem Versuche

eine gehörige Anschauung zu verschaffen, was bei grosser Raschheit des Athmens nicht selten mit Schwierigkeiten verbunden ist. Bei Reizung eines Vagus-Endes tritt mit Entschiedenheit die Tendenz zur Verengerung hervor.

Das Verhältniss zwischen der Reizung des N. vagus und der Verengerung der Nasenöffnungen ist zwar ein reflectorisches, aber die Reflexion ist durch einen andren mitwirkenden Umstand complicirt. Neben dieser durch die Reizung hervorgerufenen Thätigkeit des N. vagus macht sich nämlich die Inspirationsthätigkeit noch geltend. Wir sehen gleichzeitig zwei Kräfte wirksam, die eine, welche die Inspirationsbewegung beherrscht, die andere, welche durch die Reizung des N. vagus künstlich hervorgerufen worden ist und eine Exspirationsbewegung zur Folge hat. Oder wir können es auch anders ausdrücken, es giebt zwei mit der Respiration in Verbindung stehende Centra, das eine können wir das Vagus-Centrum, das andere das Inspirations-Centrum nennen. Das letztere ist dasjenige, welches von Hrn. Flourens mit grösster Genauigkeit bestimmt worden, im Calamus scriptorius gelegen und unter dem Namen Noeud vital bekannt ist. Von ihm geht die Anregung zur Inspiration aus. Wir wollen hier nicht untersuchen, ob dies Centrum schon vor der Geburt thätig ist, weil verschiedene Beobachter*) bei Thieren schon im Ei Bewegungen sahen, die den Inspirationen gleichen —, oder ob das erste Athemholen durch Losreissung der Placenta und die dadurch erfolgende mangelnde Sauerstoffzufuhr aus dem Mutterblut**) —, oder ob es durch den Reiz der atmosphärischen Luft auf die Lungen und die Haut***) erst erweckt wird oder ob durch Ueberfluss an Kohlensäure eine Art von Athemnoth eintritt und durch diese die Athembewegungen vom verlängerten Marke aus veranlasst†) und wie sie in ihrer Thätigkeit erhalten werden. Wir begnügen uns zu unserm Zwecke mit dem Factum, dass im verlängerten Marke ein während des ganzen Lebens

*) Vergl. Scheel Comm. de liquor. amn. usu Hafn. 1799. — Beclard in Meckel's Arch. I. S. 154.

**) Vgl. H. Schwartz die vorzeitigen Athembewegungen. Leipzig 1858.

***) Vgl. Müller's Phys. II. S. 75.

†) Vgl. Volkmann in Müller's Archiv 1841. S. 332. — Vierordt in Wagner's Handwörterb. II. S. 912.

nie verlöschender Heerd sei, durch welchen unaufhörlich die Inspirationsbewegungen angefacht werden.

Die Inspirationen würden in Folge dieser Action im verlängerten Marke anhaltend vor sich gehen, wenn nicht Widerstände vorhanden wären, welche sie unterbrächen. Diese Widerstände liegen erstens in der Ermüdung der hieringehörigen Nerven und Muskeln, zweitens in der Elasticität der Muskeln und drittens in der activen antagonistischen Thätigkeit des Ausathmungsapparates. Es versteht sich von selbst, dass die Tiefe der Einathmung um so mehr beschränkt ist, je grösser die Widerstände sind. Wenn die Ermüdung der Nerven oder Muskeln leichter eintritt, so wird nothwendig die Inspirationsbewegung sich verkürzen und umgekehrt. — Ebenso setzen die Ausathmungsvorrichtungen Hindernisse der Einathmung entgegen. Wenn z. B. durch irgend eine Ursache die Bronchien sich mehr contrahirten, als dies gewöhnlich der Fall ist, so würde natürlich die Einathmung nicht den Grad erreichen können, der ihr eigentlich zukommen sollte. — Wenn durch irgend eine Veranlassung die Sphincteren der Nase zusammengezogen würden, so wird beim Einathmen, dessen Einfluss eine Erweiterung der Nasenflügel zur Folge hat, die Erweiterung geringer sein müssen. Wir sehen aber ganz constant, dass bei Reizung des centralen Endes eines N. vagus die Erweiterung der Nasenlöcher geringer wird, als vor der Reizung und urtheilen daher nicht, dass durch die Reizung des N. vagus die Inspiration vermehrt werde, also auch nicht, dass ein reflectorisches Verhältniss zwischen N. vagus und Inspirationszentrum stattfinde, sondern dass in der Reizung eine der Inspiration gegenwirkende Kraft rege gemacht wird. Wäre wirklich, wie Hr. Snellen angiebt, der Stillstand der Respiration durch die Reizung ein Reflex auf die Inspirationsnerven, so würden sich die Nasenlöcher, selbst die Mundhöhle weit öffnen. Das geschieht niemals. Vielmehr ist die Tendenz zur gegenheiligen Bewegung immer stark, sehr gewöhnlich werden die Nasenflügel stark herabgezogen, wie Hr. Snellen selbst angiebt, und je nach der Reizung findet sogar ein vollständiger Verschluss der Nasenöffnungen Statt. Das spricht nicht für eine vermehrte Inspiration!

Wenn man daran festhält, dass zwei Respirationcentra vorhanden sind und also zwei sich entgegenstehende Kräfte, so wird vollständig klar werden, weshalb die Erscheinungen nicht genau einmal, wie das andere Mal sein können.

Um dies jedoch recht einsichtlich zu machen, erinnere ich an das ähnliche Verhältniss, welches wir an der Iris beobachten können, wie ich dasselbe ausführlich in meinem Buche über die „Bewegung der Iris“ entwickelt habe. Auch für die Irisbewegung haben wir zwei Centra, das eine steht der Dilatation der Pupille vor, das andere der Verengerung. Jenes hat sein Centrum in den von mir nachgewiesenen Stellen des Rückenmarks, dieses in den Vierhügeln. Jenes scheint in constanter Thätigkeit zu sein, wenigstens hat sich nicht ermitteln lassen, dass ein centripetaler Nerv auf dasselbe erregend einwirke. Das für die Verengerung der Pupille bestimmte Centrum bedarf aber immer der Erregung durch einen centripetalen Nerven, den N. opticus, welcher seinerseits wieder vom Lichte erregt wird. — Im Respirationsnervenapparate ist der Noeud vital dem Rückenmarkscentrum für die Pupille zu vergleichen, auch hier lässt sich eine bestimmte Erregung nicht nachweisen, auch dieses scheint in constanter Thätigkeit zu sein. Das Vagus-Centrum ist analog den Vierhügeln für die Pupille, auch hier ist ein Antrieb durch einen centripetalen Nerven, nämlich den N. vagus, erforderlich, welcher seinerseits, wie wir unten noch sehen werden, durch die Kohlensäure in den Lungen, wie der N. opticus durch das Licht im Auge angeregt wird. Auch in der Iris besteht ein beständiger Kampf zwischen Verengerung und Erweiterung der Pupille, welcher bei genauer Beobachtung sich selbst bei gleichbleibendem Lichte kund giebt, aber deutlich erst hervortritt, wenn wir einen künstlichen Reiz auf einen der Nerven ausüben. Zur vollständigen Einsicht und Vergleichung mit unserm Gegenstände müssen wir die Versuche an der Pupille, welche bei den verschiedensten Lichtabstufungen vom hellsten Sonnenlichte bis zur völligen Beschattung gleichzeitig mit Galvanisirung des Halssympathicus angestellt werden können, uns vergegenwärtigen. Findet man die rechte Stromstärke heraus und den rechten Lichtgrad, so kann man trotz der doppelten Reizung durch Licht und

Galvanismus doch einen vollständigen Stillstand hervorbringen. Wenn nun hier oder dort die Erregbarkeit etwas ab- oder zunimmt, wie es in Nerven bekanntlich fast unaufhörlich geschieht, die Reizung stärker oder schwächer wird, so ändert sich der Zustand, die Bewegung schwankt nach der einen oder der andern Seite hin.

Ganz analog verhält es sich mit den Respirationsbewegungen. Indem man den N. vagus und dadurch dessen Centrum reizt, ist eine doppelte Erregung vorhanden, nämlich die natürliche im Inspirationscentrum und die dazu kommende künstliche. Welche von beiden das Uebergewicht bekommt, das wird sich in der Erscheinung durch Hervortreten von vorwaltenden Bewegungen nach der einen oder andern Seite kund thun. Daher kommt es, dass verschiedene Beobachter angeben, der durch die Reizung hervorgebrachte Stillstand des Athmens erfolge mittelst schwacher Ströme während der Inspiration und mittelst starker Ströme während der Expiration. Diese Behauptung ist aber eigentlich niemals richtig. Durch schwache Reizung wird, sobald überhaupt Wirkung eintritt, die Inspiration niemals vermehrt, sondern zurückgedrängt, aber nicht so sehr, als bei stärkerer, und am Meisten wird sie bei der stärksten zurückgedrängt. Also steht die Zunahme der Kraft in vollständiger Proportion mit der Abnahme der Inspiration, niemals mit deren Zunahme. Man wird es ganz klar finden, dass bei einer gewissen Stromstärke gar keine Wirkung eintritt, wenn nämlich die inspiratorische Anregung nicht überwältigt werden kann durch den schwachen galvanischen Strom. Dann nämlich ist der natürliche Reiz, welcher im Inspirationzentrum beständig rege ist, stärker, als der schwache galvanische und man kann in der Erscheinung die Wirkung nicht wahrnehmen. Die Reactionen aber, welche bei stärkerem Strome entstehen, sind von drei Umständen abhängig: 1) von der Stärke des Stromes, 2) von der Erregbarkeit der in Betracht kommenden Nerven, 3) von dem Wettstreit, welcher in Nervencentraltheilen entsteht, die zu entgegengesetzten Aeusserungen bestimmt sind.

Wir wollen von diesen drei bestimmenden Momenten zunächst nur das erste betrachten und voraussetzen, die beiden andern seien

nicht vorhanden, und dann auch jedes der folgenden berücksichtigen.

1) Je stärker der galvanische Strom ist, desto mehr werden im Allgemeinen die Inspirationsbewegungen zurück treten. Dennoch findet bei gleich starkem Strome ein Unterschied dann statt, wenn die Reizung im Anfange der Inspiration oder im Anfange der Exspiration statt findet. Im Anfange der Inspiration sind die natürlichen Widerstände, welche sich der inspiratorischen Anregung entgegengesetzen am Geringsten, sie wachsen mit der Fortsetzung der Inspiration, bis sie endlich auf ihrer Höhe das Aufhören der Inspiration bedingen. Im Anfange der Inspiration befindet sich also das Inspirationszentrum so zu sagen im höchsten Grade der Reizung; diese wird immer geringer, je mehr die Inspiration ihrem Culminationspunkte sich nähert. — Werden daher im Beginne der Inspiration die Drähte an den Vagus angesetzt, so kann unmöglich die Wirkung so gross sein, als wenn dasselbe am Ende der Inspiration geschieht. Erfolgt Stillstand, so sehen wir im ersten Falle ein weiteres Offenstehen der Nasenlöcher als im zweiten, — obwohl die Stromstärke dieselbe geblieben ist.

Bei gleicher Stromstärke kommt es ferner auf die Zeit an, während welcher die Reizung dauert. Eine schwächere Reizung längere Zeit fortgesetzt wirkt, so lange die Erregbarkeit sich nicht wesentlich geändert hat, wie ein stärkerer Strom, welcher kürzere Zeit angewandt wurde. Daher kommt es, dass mittelst eines schwächeren Stromes, der zwar schon Wirkungen auf die Respiration äussert, aber doch noch keinen Stillstand zur Folge hätte, wenn er ganz kurze Zeit angewandt wird, — doch dann schon vorübergehenden Stillstand veranlasst, wenn er längere Zeit angewandt wird. Hieraus erklären sich die Angaben, welche die Herren Kölliker und Müller sowohl, als ich selbst gemacht haben, dass bei Abschwächung des Reizes die Zahl der Atemzüge abnehme. Wir hätten uns genauer ausgedrückt, wenn wir gesagt hätten, dass bei schwächeren Strömen schon Stillstände oder Intermissionen vorkämen, welche aber nicht dauernd wären.

Wenn man nun die beiden eben angeführten Umstände möglichst bei dem Versuche berücksichtigt, so wird man leicht er-

messen, welchen Erfolg die verschiedene Stromstärke haben wird. Schwache Ströme, wenn sie überhaupt noch sichtbare Wirkungen erzeugen, verkürzen die Länge der vorhandenen Inspirationen, weil die Expiration künstlich angeregt wird. Bei hinlänglich kräftigen Thieren kann dadurch die Zahl der Inspirationen in einer gegebenen Zeit grösser werden, wie ich oft beobachtet habe —; bei weniger kräftigen Thieren ist die Vermehrung geringer oder gar nicht vorhanden. Bei kräftigen Thieren ist nämlich auch der natürliche Inspirationsreiz stärker, und wenn er in seiner vollen Aeusserung gestört wird, so macht er sich dadurch geltend, dass die Bewegungen um so öfter eintreten. — Man wird diesen ersten Grad der Wirkung sehr gut an der in ein Nasenloch gesteckten Röhre erkennen.

Wird ein stärkerer Strom als der angegebene angewendet, so wird nicht nur die Ausdehnung der einzelnen Respirationen geringer, sondern es erfolgen auch vollständige Intermissionen oder Stillstände. Oft habe ich bemerkt, dass ein Stillstand, den man bei Betrachtung des Bauches oder der Brust zu sehen glaubt, von unendlich kleinen Schwankungen, die man in der Röhre deutlich bemerkte, begleitet war, was sich auch bestätigte, wenn man genau auf das Zwerchfell oder selbst auf die Haut des Bauches blickte.

Bei noch stärkerem Strome entsteht fast augenblicklich Stillstand.

Es ist nicht nöthig, auf alle Einzelheiten und Variationen, die sich in der grössten Mannigfaltigkeit wiederholen, einzugehen und würde eine nutzlose Weitläufigkeit sein, da wir im organischen Leben doch mit Maass und Gewicht nicht überall auskommen, und wenn wir Zahlen angeben, oft nichts Anderes thun, als das unbefangene Urtheil dem Scheine der Genauigkeit zum Preise geben. Ich begnüge mich daher mit der allgemeinen Bestimmung, dass wenn gleichzeitig der galvanische Reiz auf die Vagi, resp. das Vaguszentrum und der natürliche auf das Inspirationszentrum wirkt, das Athmen, — jedoch mit Abnahme seiner Intensität, hingegen mehr oder weniger vermehrt, — so lange fortduert, bis der galvanische Reiz das Uebergewicht erreicht hat und den Stillstand veranlasst.

Ich habe andere Reize noch nicht versucht, ich bezweifle aber

nicht, dass sie ebenso wirken müssen und ich finde es wahrscheinlich, dass auch Arzneimittel vorhanden sind, welche ähnlich wie der galvanische Reiz das Vaguscentrum afficiren können.

2) Ausser der Stromstärke ist zweitens die Erregbarkeit des Nerven, welche bei allen Nervenversuchen in Betracht kommt, zu berücksichtigen. Ueber die mannigfaltigen Veränderungen, welche die Nervenerregbarkeit darbietet, kann hier natürlich nicht speciell gehandelt werden, weil es sonst nothwendig wäre, uns zu sehr von dem vorliegenden Gegenstande zu entfernen. Man muss hierbei die Veränderung unterscheiden, die der Nerv an der Stelle erleidet, welche die Kette schliesst, also zwischen den Drähten liegt und die Veränderung, welche sich im ganzen Nerven kund giebt. An jener Stelle nimmt das Leitungsvermögen ab. Ich habe davon schon oben hinsichtlich des N. phrenicus bemerkt, dass eine öftere Galvanisirung dieses Nerven die durch das Inspirationszentrum bewirkte (spontane) Contraction des Zwerchfells aufhebt oder wenigstens schwächt. Dasselbe sieht man am N. vagus. Wenn eine und dieselbe Stelle des centralen Endes gereizt wird, so reicht bald dieselbe Stromstärke nicht mehr hin, eine Wirkung zu erzielen. Man muss eine grössere und immer grössere Kraft anwenden, bis man endlich ganz vergebens agirt.

Während an dieser Stelle das Leitungsvermögen abnimmt, gewinnt der ganze Nerv an Erregbarkeit. Man wird bemerken, dass man nach einiger Zeit mit einer geringeren Stromstärke denselben Erfolg erzielt, zu dem man früher eine grössere nothwendig hatte, — wenn man nur die schon gereizte Stelle vermeidet. — Aber auch auf diese selbst ist die Veränderung der Erregbarkeit, die sich im ganzen Nerven zeigt, nicht ohne Einfluss. Denn wenn die gereizte Stelle eine Zeit lang in Ruhe gelassen worden ist und wenn nicht ganz starke Ströme auf sie eingewirkt haben, so wird man finden, dass man mit einer Stromstärke, welche vörher wirkungslos war, doch nach der Erholung (d. h. nachdem sich der veränderte Nervenzustand auch auf diese Stelle auszubreiten Zeit gehabt hat) wieder Reactionen hervorbringen kann.

Die nähere Erörterung des Gegenstandes muss ich mir indess hier versagen.

Wir haben endlich noch den dritten Umstand zu berücksichtigen, welcher bei Reizung des Vagus in Betracht kommt. Wir wurden durch die Resultate der Versuche zu der Annahme geführt, dass für die Respirationsbewegungen, vorläufig der Nasenmuskeln, 2 Centra vorhanden sein müssen, welche entgegengesetzte Wirkungen hervorbringen. Es versteht sich daher von selbst und die Analogie bestätigt es, dass wenn das eine Centrum thätiger wird, dadurch das andere unthätiger werden muss. Das bedarf keines weiteren Beweises. — Wir haben an den Centren der Iris ein instructives Beispiel. Durchschneidung des N. sympathicus bringt eine constante Verengerung der Pupille hervor, weil das Centrum, welches auf die Dilatation wirkt und durch den N. sympathicus seine Kraft zu der Iris leitet, nicht mehr wirken kann. Umgekehrt ist es bei Lähmung des Oculomotorius, wobei sich die Pupille erweitert; — und wenn der N. opticus gelähmt ist, findet sich dieselbe Erscheinung. Die Verengerung der Pupille nach Durchschneidung des N. sympathicus ist bei dem grössten Dämmerungsgrade, bei dem sich überhaupt noch etwas sehen lässt, vorhanden.

Dass dasselbe Verhältniss auch in den Respirationscentren Statt findet, geht aus den oben angegebenen Beobachtungen hervor. Durch Reizung des N. vagus wird nothwendig das Inspirationscentrum in eine, ich möchte sagen, unfreiwillige Ruhe gebracht. Es ist wahrscheinlich, jedoch nicht strict zu beweisen, dass mit dieser Ruhe das Bestreben zur Kraftäusserung sich von Augenblick zu Augenblick steigert, wie analoge Erscheinungen von anderen Körpertheilen beweisen. — Es ist jedoch ausserordentlich schwer, diese sehr complicirte Reihe von Erscheinungen hinlänglich zu begründen und es mag genügen, die Wahrscheinlichkeit des gegenseitigen Wettstreits der beiden Centren hervorgehoben zu haben.

§. 6.

Wirkung der Reizung des centralen Endes von einem N. vagus auf die übrigen Respirationsorgane.

Ich kann hier ganz kurz sein, indem dieselbe Erscheinung, welche an den Nasenöffnungen zu beobachten ist, überall sich wiederholt. Die Exspirationsmuskeln gewinnen das Uebergewicht

und die Inspiration erleidet an ihrer Thätigkeit einen bald grösseren, bald kleineren Abbruch.

1) An der Stimmritze ist constant die Verengerung in die Augen fallend. Es kann dies jedoch nur an einer Seite statt haben. Denn auf der anderen ist der N. vagus durchschnitten und dadurch der Zusammenhang des N. recurrens mit den Respirationscentris unterbrochen. Nach Durchschneidung des einen N. recurrens bleibt die Stimmritze im Zustande wie nach dem Tode, was man noch deutlicher beobachtet, wenn man beide Recurrentes durchgeschnitten hat. Sie sind nämlich dann nicht soweit geöffnet, wie sie im normalen Zustande während des Einathmens und nicht soweit geschlossen, wie sie während des Ausathmens sind. Im normalen Athmen erweitern und verengern sich diese Bänder wie Ventile unaufhörlich. Galvanisirt man einen oder beide Recurrentes, so wenden sich auf der Stelle das eine oder beide Stimmritzenbänder nach innen und können sich selbst vollkommen schliessen. — Dasselbe ist natürlich der Fall, wenn man den Stamm des N. vagus und zwar auch dann noch, wenn er durchschnitten war, an seinem peripherischen Ende reizt. Der N. recurrens ist ein motorischer Nerv und seine Fasern sind in dem N. vagus enthalten. Wenn man das peripherische Ende des N. vagus durchschneidet, so hat man die Fasern des Recurrentes mit durchschnitten. — Galvanisirt man das centrale Ende eines, z. B. des rechten N. vagus, den man vorher durchschnitten hat, so wirkt diese centripetale Erregung auf das Centrum der Vagi und von diesem werden die motorischen Fasern der N. recurrentes, welche in dem Stamme der Vagi liegen, wieder angeregt. Die Wirkung kann sich aber, weil der rechte N. vagus und dadurch auch der rechte N. recurrens durchgeschnitten sind, nur am linken äusseren, wie auch die Beobachtung lehrt.

2) Der Kehlkopf wird während der Inspiration abwärts, während der Exspiration nach oben gezogen. Auch hier findet man wieder dieselbe Erscheinung, wie an der Nase. Man muss besonders vorsichtig in der Isolation des N. vagus sein, um nicht zu Irrungen veranlasst zu werden, wenn man diese Beobachtung anstellt.

3) Das Zwerchfell zeigt uns ganz genau dieselben Erscheinungen, die wir an der Nase beobachten. Niemals bei vollständiger Isolation des N. vagus sieht man eine so starke Inspirationsbewegung als vorher, immer ist ein Zurückweichen des Zwerchfells bemerkbar, bald wenig, bald so stark, wie bei der intensivsten Exspiration, wie dies Alles oben in seinem Zusammenhange und seinen Ursachen auseinandergesetzt worden ist. — Wenn man die Reizung des N. phrenicus und die des N. vagus mit einander vergleicht, so wird man unmöglich der Meinung sein können, dass durch Reizung des N. vagus reflectorisch auch der N. phrenicus gereizt würde. Selbst in dem Falle, in welchem der Stillstand in der relativ stärksten Contraction des Zwerchfells erfolgt, ist ein grosser Unterschied von der Contraction vorhanden, welche durch die directe Reizung der Phrenici eintritt.

4) Die Bauchmuskeln ziehen sich bei normalem Athmen nur wenig bei Kaninchen zusammen, oft ist eine Contraction gar nicht zu bemerken. Werden Nase und Mund zugehalten, so wird sie deutlicher, aber auch dann nicht in allen Fällen recht klar. So ist es nun auch bei Reizung des N. vagus, die Contraction der Bauchmuskeln ist nicht immer gleich gut zu beobachten, obwohl Spuren immer vorhanden sind. — Der Stillstand wird nicht aufgehoben, wenn man das Rückenmark in der Gegend des 6ten Halswirbels vollständig durchgeschnitten, also das Brustmark von den Respirationscentren getrennt hat. Ich erkläre mir in diesem Falle den Stillstand dadurch, dass durch Reizung des Vaguscentrums das antagonistische Inspirationszentrum (noeud vital Flourens) in einen Zustand der Unthätigkeit geführt wird. In dem Versuche, den ich gemacht habe, war das Zwerchfell erschlafft, wie in der Exspiration. Bei Hunden hingegen habe ich häufig eine ganz intensive Contraction der Bauchmuskeln durch Reizung des centralen Endes des N. vagus gesehen, welche in vielen Fällen Veranlassung zu Würgen und Erbrechen gegeben hat.

5) Was die Lungen anlangt, so bin ich bei Kaninchen hier zu keinem entscheidenden Resultate gekommen. Ich habe mich hier nicht überzeugen können, dass Reizung des unteren Vagusendes auf einer oder auf beiden Seiten eine stärkere Exspiration

oder Vermehrung der Athemzüge zur Folge gehabt hätte. — Ich erwähne hiergegen, dass die Herren Longet*) und Volkmann**) Contractionen der Bronchien durch Reizung der N. vagi mit Deutlichkeit beobachtet haben. — Diese Erfahrungen bestätigen entschieden die Annahme, dass der N. vagus auch diesen Exspirationsbewegungen vorstehe.

§. 7.

Wirkung der Durchschneidung beider N. vagi.

Alle angegebenen Beobachtungen haben zu dem Schlusse geführt, dass die im N. vagus enthaltenen sensiblen Fasern das Vermögen haben, diejenigen motorischen Fasern anzuregen, welche die Exspirationsbewegungen beherrschen. Wir sind zu dieser Annahme durch Reizung des centralen Endes eines N. vagus geführt worden. Bei allen Nervenversuchen haben wir noch eine zweite Methode, welche wir zur Controlle anwenden können und die vom grössten Werthe ist. Die Durchschneidung eines Nerven muss den umgekehrten Effect, wie seine Reizung hervorbringen, wenn die Beobachtung eine richtige und vollständige war. Wir wollen daher auch hier die Probe auf das Exempel machen und die Folgen der Durchschneidung der N. vagi betrachten. Kein physiologischer Versuch ist häufiger angestellt worden, als dieser; die Resultate sind sehr bekannt und erprobt. Fragen wir also, ob wirklich die Durchschneidung der N. vagi die entgegengesetzte Wirkung hat, als die Reizung. Die Antwort ist ganz entschieden.

1) Durch die Durchschneidung der N. vagi öffnen sich bei der Inspiration die Nasenlöcher weit, bei der Reizung verengern und schliessen sie sich.

2) Durch die Durchschneidung wird die Inspiration übermässig vorwiegend, das sehen wir schon beim Anblicke eines so operirten Thieres. Messungen haben dasselbe dargethan. Hr. Wundt***) machte hierüber 3 Beobachtungen an Kaninchen, bei denen er die N. vagi durchschnitten, die Tracheotomie vorgenommen und vor

*) Longet in l'Institut 1842. p. 315.

**) Volkmann in Wagner's Handw. II. S. 586.

***) Wundt in Müller's Archiv 1855. p. 276 fg.

die Fistelöffnung luftdicht ein graduirtes, mit Wasser gefülltes und dreifach gebogenes Glasrohr angebracht hatte, um durch das Steigen des Wassers in demselben die Respirationsintensität zu messen. Bei einem war der Inspirationszug vor der Operation 48 Mm., gleich nach derselben 252 Mm.; bei einem zweiten vor der Operation 84 Mm., nach 2 Stunden 234, nach 3 Stunden 210, nach 7 Stunden 48, nach 8 Stunden 18 Mm., nach 9 Stunden erfolgte der Tod. — Bei einem dritten vor der Operation 60, nach 2 Stunden 144, nach 6 Stunden 126, nach 8 Stunden 96, nach 9 Stunden erfolgte der Tod. — Es kann nicht auffallen, dass die Intensität des Einathmens allmälig abnehmen muss, weil die Zahl der Athemzüge und dadurch die absolute Menge des eingezogenen Sauerstoffs geringer und die Anhäufung der Kohlensäure immer grösser und der Lebenserhaltung sowie dem Kräftevorrath immer drohender werden muss.

Ein entsprechendes Resultat erhielt auch Hr. Valentin *). Er beobachtete nämlich, dass die verhältnissmässige Erhöhung des aufgenommenen Sauerstoffs nach Durchschneidung der beiden Vagi nie fehlt. So fand er in 3 Versuchen an Kaninchen, dass das Verhältniss des aufgenommenen Sauerstoffs zur abgeschiedenen Kohlensäure sich verhielt, Kohlensäure = 1 gesetzt, wie folgt:

Im gesunden Zustande	Nach Durchschneidung beider Vagi
1,177 Vol. O : 1 CO ²	1,60 Vol. O : 1 CO ²
1,17 - - : 1 -	1,70 - - : 1 -
1,31 - - : 1 -	1,76 - - : 1 -

Dass die Kohlensäure im Blute sich anhäuft, davon haben wir den besten Beweis in dem Dunkelwerden des arteriellen Blutes. —

Die absolute Menge des Sauerstoffs fand Hr. Valentin, auf 1 Kilogramm Thier und auf 1 Stunde berechnet, in 2 Versuchen:

vor der Operation	in der ersten Stunde nach derselben
1) 0,887 Grmm.	1,379 Grmm.
2) 1,195 -	1,213 -

Dass damit auch die absolute Menge der CO² zunimmt, ist eine nothwendige Folge, da jedesmal, wenn eine grössere Menge von

*) G. Valentin, Die Einflüsse der Vaguslähmung auf Lungen und Hautaussösung. Frankf. a. M. 1857. S. 100.

Luft eingeathmet wird, auch mehr CO² ausgeathmet wird, cf. Vierordt in Wagner's Handwörterb.: Respiration.

Während also in Folge der Durchschneidung beider Vagi die Inspiration vorwiegend wird, wirkt umgekehrt Reizung der Nerven auf Verstärkung der Exspiration. — Bei ersterer Operation ist die Ausathmung, wie Hr. Wundt*) richtig bemerkt, sehr kurz, gleicht einem plötzlichen schlaffen Zusammensinken.

3) Ein sehr constantes Symptom nach der Durchschneidung ist die Abnahme der Athemzüge, welche von allen Autoren angegeben wird. Diese Abnahme zeigt jedoch manche Verschiedenheiten, die ich im Einzelnen hier nicht anzuführen habe und auf die zahlreichen Abhandlungen über diesen Gegenstand verweisen muss. Im Allgemeinen lässt sich Folgendes sagen:

1) Wird bloss ein N. vagus durchschnitten, so nehmen oft die Athemzüge eine Zeit lang ab, später kommen sie auf ihre frühere Häufigkeit, oft ist gar keine Abnahme vorhanden. — Ich finde nicht, dass diese scheinbar widersprechende Erscheinung aufzuklären versucht worden ist. Sie beruht aber darauf, dass in Folge der Durchschneidung selbst eine Zusammenziehung des entsprechenden Stimmritzenbandes erfolgt, und dass es von der Reizbarkeit des Thieres abhängt, wie stark die Verengerung des Kanals ist und wie sehr sich die Zahl der Athemzüge vermindert. Wenn diese Reizungserscheinung vorüber ist, so kann nun das betreffende Stimmiband sich nicht mehr zusammenziehen, sondern es ist in einem Zustande, wie nach dem Tode, es wird also auch sich während des Einathmens nicht mehr so öffnen, wie im normalen Zustande. Es ist daher auch dann noch eine geringe Verminderung der Athemzüge im Verhältniss zum normalen Zustande möglich. Die vollständige Ausgleichung wird dadurch erst zu Stande kommen, dass antagonistisch der gesunde N. vagus die Erweiterung in verstärktem Maasse bewirkt.

2) Nach der Durchschneidung beider N. vagi ist die Zahl der Athemzüge gleich nach der Operation geringer, als später, weil gleichfalls die Reizungserscheinungen und daher Verengerung der Stimmritzenbänder noch mit den Folgen der Vagusdurchschneidung

*) Wundt in Müller's Arch. 1855. S. 272.

sich compliciren. — Bei jungen, sehr reizbaren Thieren kann dies so stark werden, dass sie durch Erstickung in wenigen Minuten sterben.

3) Der Tod erfolgt nicht durch das Verengern der Stimmritze, weil auch die Thiere starben, denen eine Luftröhrenfistel angelegt ist; die Verengerung der Stimmritze, im Zustande wie nach dem Tode, complicirt und beschleunigt nur die Erscheinungen.

Wenn nun Durchschneiden beider N. vagi die Athemzüge vermindert, so muss ihre Reizung sie vermehren. Sonst ist die obige Angabe, nach welcher Reizung und Durchschneidung entgegengesetzte Erscheinungen bedingen, unrichtig. Schon die Herren Traube und Eckhardt, sowie ich selbst, haben früher dies wirklich beobachtet. Wenn beide N. vagi durchschnitten sind und man bringt auf das centrale Ende von einem, oder von beiden, einen schwachen Reiz an, so entstehen jedesmal Vermehrungen der Athemzüge. Niemals bleibt die Wirkung aus. Hat man die rechte Stromstärke gefunden, so kann man die so ungemein verminderten Athemzüge auf das normale Maass vollständig zurückführen. Wir können also mit unserem künstlichen Reize dasselbe ausrichten, was bei unversehrtem Körper geschieht.

Es lässt sich leicht aus den obigen Beobachtungen über die Wirkung des Reizes auf die Vagi diese Erscheinung erklären. In Folge der Durchschneidung werden die Inspirationen überwiegend; eine jede dauert so lange, bis die Elasticität der Muskeln und die Ermüdung von Muskeln und Nerven Aufhören gebieten. Denn das regulatorische nervöse Ausathmungscentrum kann nicht mehr wirken. Dies Centrum ist offenbar dadurch ausser Thätigkeit gesetzt worden, dass sein peripherisches Ende nicht mehr mit den Lungen in Verbindung steht. In den Lungen muss auf die peripherischen Enden der N. vagi ein Reiz ausgeübt werden, welcher sich auf deren Centrum fortpflanzt. Dieser Reiz kann natürlich nach Durchschneidung der Nerven nicht mehr wirken, das Centrum kann daher seinen Einfluss auf die motorischen Exspirationsapparate nicht mehr gebrauchen, weil es nicht mehr erregt wird. — Gerade so, wie wenn der N. opticus seiner durch die Retina vermittelten Lichterregung beraubt ist, haben die Corpora quadrigemina keine Ver-

anlassung mehr, den motorischen Nerven zur Thätigkeit zu stimuliren, der N. oculomotorius (oder vielmehr dessen Radix brevis ganglii ciliaris) ruht, die Pupille erweitert sich nicht nur bis zum Zustande nach dem Tode, sondern noch mehr. Denn durch die Unthätigkeit des Verengerungscentrums bekommt antagonistisch das Erweiterungscentrum des N. sympathicus das Uebergewicht. — Ersetzen wir aber in dem einen, wie in dem anderen Falle die mangelnde Erregung künstlich, wie durch Galvanisirung des peripherischen Nerven, so sehen wir, so lange als wir diesen Reiz wirksam anwenden können, die Bewegung so wieder eintreten, als ob die natürliche Erregung vorhanden wäre und den überwiegen- den Einfluss des antagonistischen Centrums zurücktreten. Wenn das centrale Ende des N. opticus, nachdem derselbe durchgeschnitten war, galvanisiert wird, so verengt sich die erweiterte Pupille wieder. Wenn das centrale Ende eines oder beider N. vagi, nachdem beide durchgeschnitten waren, galvanisiert wird, so verengern sich wieder die Respirationsräume öfter und die Inspirationen können ihre frühere Ausdehnung nicht mehr beibehalten.

Wenn ein stärkerer galvanischer Strom angewendet wird, so kommt wieder ein Zustand, in welchem das Exspirationszentrum eine dem Inspirationszentrum gleiche Kraft entwickelt, oder das erstere noch das Uebergewicht erhält, es entsteht Stillstand.

4) Der nie fehlende Ausgang der Durchschneidung beider N. vagi ist der Tod, zu dem im schnelleren oder langsameren Schritten die Operation unablässig hinführt. — Man hat viel darüber geschrieben und gestritten, was die Ursache dieses Todes sei. Die Einen glaubten, die N. vagi fühlten das Athembedürfniss und wären die Botschafter, welche dem verlängerten Marke dies kund thäten; da aber der Tod nicht auf der Stelle eintritt, sondern selbst Tage, ja mehr als eine Woche lang ausbleiben kann, so glaubten Andere, das verlängerte Mark erhalte nur einen Theil seiner es zum Athmen stimulirenden Anregung von den Lungen, einen anderen von der Haut, und durch beide werde es veranlasst, den ersten, wie alle folgenden Athemzüge zum Entstehen zu bringen. Indess sterben Thiere, welche vollkommen überfornisst sind, auch dann noch nicht sogleich, wenn beide Anregungsquellen verstopft sind. — Andere

hielten dafür, dass durch die Vagus-Durchschneidung die reflecto-
rischen Athembewegungen vernichtet würden und die willkürlichen
noch fortbeständen; Andere leiteten den Tod von einer Lähmung
der Kehlkopfmuskeln und der Stimmritzenverschliessung, Andere
wieder von der Unfähigkeit der Verschliessung der Stimmritze, An-
dere von der gestörten Verdauung, Andere von der gestörten Herz-
thäufigkeit, Andere von der krankhaften Entartung der Lungen u. s. w.
her. Darin aber stimmen Alle überein, dass eine genügende, aus-
reichende Erklärung der Todesursache nicht bekannt ist. Soviel
indess kann nicht in Abrede gestellt werden, dass, wenn vom Mo-
mente an, in welchem die Nerven durchschnitten sind, gewisse
krankhafte Erscheinungen eintreten und fortdauern, bis zu diesem
Augenblicke der Durchschneidung irgend eine Einwirkung auf die
Nerven Statt gefunden haben muss, welche durch den Schnitt auf-
gehoben worden ist. Die Nervenenden müssen vorher in einem
der Organe, zu welchen die Vagi hingehen, einer natürlichen Reiz-
zung unterworfen gewesen sein, welche jetzt unterbrochen ist.
Alle Erscheinungen deuten darauf hin, dass es nicht das Herz und
der Magen, sondern dass es die Lungen sein müssen. Der Herz-
schlag ist zwar vermehrt und ein solches Thier hat in der Regel
keine Esslust mehr *), aber davon können die grosse Athemnoth
mit gehobenem Kopfe, gestrecktem Halse, tiefen langsamen Inspira-
tionen, aufgesperrtem Munde, weit geöffneten Nasenlöchern, die
Gleichgültigkeit und Apathie, welche beispielsweise so gross sein
können, dass man mitunter einem vorher wilden Hunde nach der
Operation die Hand in das Maul stecken kann, ohne dass er beißt —
alle diese Erscheinungen, sage ich, können nicht von Magen- oder
Herz-, sondern allein von Lungenaffectionen herrühren. Unter sol-
chen und ähnlichen Phänomenen stirbt das Thier. Daher müssen

*) Ich habe schon vor mehreren Jahren Kaninchen die beiden N. vagi bei ihrem
Eintritte in den Magen durchgeschnitten. Bei sorgfältiger Behandlung können
diese Thiere Wochen lang am Leben bleiben, haben guten Appetit und die
Stoffe bleiben nicht im Magen, sondern werden in den Darm befördert. Die
Reaction der Magenschleimhaut bleibt dabei entschieden sauer. Unter einer
 beträchtlichen Versuchszahl ist mir nur ein Fall vorgekommen, in welchem
 die Reaction deutlich alkalisch war. In diesem Falle waren auch die Unter-
 leibsganglien extirpiert.

wir schliessen, dass der Reiz, welchen wir mit der Durchschneidung der Vagi wirkungslos machen, in den Lungen sein muss. Es ist aber höchst wahrscheinlich dieser Reiz nichts Anderes, als die Kohlensäure. Dies geht aus den Wirkungen derselben auf andere Nerven hervor. Kohlensäure, welche die Nasenschleimhaut bestreicht, bringt Prickeln hervor, die Beobachtungen der Herren Boussingault*) und Herpin**) lehren, dass Kohlensäure auf der Haut, selbst bei kälterer Atmosphäre, das Gefühl von Brennen und Wärme errege, was man in Gruben, welche CO^2 exhaliren, wahrnehme; dass sie ferner an den Augen Entzündung hervorbringen könne. — Wie die Versuche von Herrn Brown-Séquard zeigen, bringt Blut, welches seinen arteriellen Charakter verloren hat, Convulsionen hervor u. s. w. Alle diese Angaben berechtigen zur Annahme, dass die CO^2 ein Reizmittel für die Nerven ist.

Erwägen wir nun, dass in den Lungen eine wechselnde Menge von CO^2 vorhanden ist, so lässt sich begreifen, wie die N. vagi als Regulatoren wirken können. Häuft sich die CO^2 an, so wächst die Erregung, zugleich das Streben zur Ausathmung und dadurch vermehren sich die Inspirationen, und es erfolgt die Ausgleichung. Sind die Nerven durchschnitten, so fehlt der regulatorische Nerv, die Kohlensäure kann in grösserer Menge ins Blut gelangen, es entsteht eine langsame Kohlensäure-Vergiftung, welcher früher oder später das Thier unterliegt***).

*) Boussingault in Compt. r. 1855, Bd. 40. p. 1006.

**) Herpin, ibid. p. 1101.

***) Es versteht sich von selbst, dass das Vaguszentrum nur dann auf die Erregung der N. vagi reagirt, wenn die Erregbarkeit nicht herabgesunken ist. Daher kommt es, dass, wenn Thiere eine sauerstoffarme, deprimirende, kohlensäure-reiche Luft athmen, die Häufigkeit der Athemzüge abnimmt und vor dem Scheintode ihr Minimum erreicht. So z. B. hatte ein Kaninchen, welches unter eine Glashölle gesetzt wurde, vorher 49 Athemzüge, schon 10 Minuten, nachdem es unter der Glashölle war, nur 26 und vor dem Scheintode 19. Ein anderes vor dem Einsperren 40, unter der Glocke in 5 zu 5 Minuten 33, 29, 26, 27, 31, 30, 35, 36, 20, 6 Athemzüge. -- Während des Aufenthalts unter der Glocke sind die Thiere sehr apathisch, lecken nicht selten an der Wand des Gefäßes vor Durst, ihre Haut transpirirt, wie man beim Herausnehmen bemerkte. Der Scheintod hebt sich erstaunlich rasch auf und ebenso rasch nehmen die Athemzüge zu. Nach dem Herausnehmen ist das Gefühl sehr gering.

So lange man annahm, dass es nur ein Respirationcentrum gäbe, konnte man den Zusammenhang der Erscheinungen nicht einsehen. Denn wenn man auch, wie Hr. Volkmann, annimmt, dass die Kohlensäure und nicht der Sauerstoff das erregende Mittel zur Veranlassung des ersten und der folgenden Athemzüge sei, so war damit so lange Nichts erklärt, als man glaubte, die Erregung beträfe die Inspiration. Auch die Aushülfe, deren sich Hr. Volkmann zur Erklärung bediente, dass der Reiz, der durch die anderen sensiblen Körpernerven zum Centrum gelange, noch nach der Durchschneidung fortduere, hat wenig Wahrscheinlichkeit. Denn wenn man das Rückenmark an dem vierten Halswirbel durchschneidet und auch die beiden N. vagi, wenn also der grösste Theil der sensiblen Nerven zerstört ist, hört doch noch nicht das Athmen plötzlich auf. — Mit der Annahme eines zweiten Centrums ist jede Schwierigkeit gehoben.

4) Eine Erscheinung muss endlich noch erwähnt werden, weil sie sowohl durch Reizung als auch nach Durchschneidung der N. vagi eintritt, nämlich Erbrechen. Schon lange ist bekannt, dass Thiere, denen die N. vagi durchschnitten sind, leicht erbrechen, wenn sie überhaupt erbrechen können; aber auch Kaninchen, welche nicht erbrechen können, machen doch solche Bewegungen. Bei den Beobachtungen, welche Hr. Waller und ich gemacht haben, haben wir gefunden, dass Hunde, denen man das centrale Ende des N. vagus reizt, Würgen und Erbrechen bekommen. Dieser scheinbare Widerspruch klärt sich durch den Mechanismus des Erbrechens auf, den ich in meiner Schrift über diese Erscheinung auseinander gesetzt habe. Bei dem Erbrechen findet nämlich eine zusammenwirkende Thätigkeit von Inspirations- und Exspirationsmuskeln statt. Gleichzeitige Bewegungen des Zwerchfells sowie der Bauchmuskeln bringen, wenn der Magen dazu disponirt, d. h. aufgebläht ist, Erbrechen hervor. Daher ist es möglich, dass sowohl durch Reizung des N. vagus als auch durch Lähmung beider N. vagi diese Erscheinung eintritt.

U e b e r s i c h t.

Im verlängerten Marke sind 2 nahe nebeneinander liegende Nervenstellen. Die eine beherrscht die der Inspirationen dienenden Nerven und heisst Centrum respiratorium oder noeud vital Flourens. Die andere beherrscht die der Exspiration dienenden Nerven und heisst Centrum n. vagorum. An beiden Centris werden verschiedene nach entgegengesetzten Richtungen wirkende, daher sich aufhebende Kräfte entwickelt. Wird das Vaguscentrum oder was dasselbe ist, werden die centralen Enden eines oder beider Vagi gereizt, so werden reflectorisch die Exspirationsmuskeln angeregt, dagegen wird das andere Centrum in der Ausübung seiner Kraft beeinträchtigt. So lange die Stärke der Reizung so gering ist, dass dadurch das Inspirationszentrum nicht völlig überwältigt wird, entstehen nur kleinere, aber häufigere Athemzüge. Nimmt die Reizungsstärke so zu, dass das Inspirations- und Exspirationszentrum sich das Gleichgewicht halten, so entsteht ein Stillstand auf dem halben Wege zwischen Inspiration und Exspiration. Wird die Reizungsstärke noch grösser, so kann die Inspiration noch weniger sich geltend machen, es entsteht ein Stillstand bei vorwaltender Exspiration. — Werden die N. vagi durchschnitten, so treten dreierlei Folgen ein, erstens entbehren die Nerven und deren Centrum ihrer natürlichen, in den Lungen durch die ausgeatmete Kohlensäure hervorgebrachten Erregung, und es fehlen die zu deren Entfernung nothwendigen vermehrten Exspirationsbewegungen, die Kohlensäure bleibt in vermehrter Menge im Körper, bringt eine Kohlensäure-Intoxication und sicheren Tod hervor.

Zweitens das antagonistische Inspirationszentrum gewinnt die Uebermacht, es entstehen angestrenzte Inspirationsbewegungen, zu starke Lungenausdehnungen, selbst Zerreissungen der Lungenbläschen, Emphysem.

Drittens die im N. vagus enthaltenen motorischen Fasern für die Stimmritze sind von ihrem Centrum getrennt. Die Stimmritze bleibt wie nach dem Tode.

