(Aus dem physiol. Institute der k. k. Hochschule für Bodenkultur in Wien.
Professor Durig.)

Über die Wirksamkeit verschiedener Ausschaltungsmethoden (Kälte, tripolarer Elektrotonus, Ammoniak und Narkose) auf sensible und motorische Kalt- und Warmblüternerven.

Von

Friedrich W. Fröhlich.

(Hierzu Tafel VIII.)

Die Untersuchungen, die ich über die reizlose Ausschaltung des Nervus vagus anstellte, liessen es notwendig erscheinen, die einzelnen Methoden einer vergleichenden Prüfung zu unterziehen und festzustellen, ob jede einzelne dieser Methode imstande sei, eine reizlose Ausschaltung zu bewirken und unter welchen Bedingungen die Ausschaltung eine vollständige sei. Gleichzeitig sollte noch eine weitere Frage berücksichtigt werden. Grützner¹⁾ hat seinerzeit die Wirkung von Elektrotonus und Kälte auf sensible und motorische Nerven studiert und auf eine Verschiedenheit der Reaktion beider Faserarten hingewiesen. Bei gleicher Art der Beeinflussung war an den Erfolgsorganen der sensiblen Nerven keine Reaktion wahrzunehmen, während an den der motorischen Nerven Erregung auftrat, oder es war das Umgekehrte der Fall. Auf diese Versuche nehmen nun einzelne Autoren, die sich mit der reizlosen Vagusausschaltung befassen, Bezug. Gad²⁾ kennt z. B. die Erregungserscheinungen, die ein Muskel zeigt, dessen Nerv niedrigen Temperaturen ausgesetzt wird, er untersucht die Wirkung der Kälte auf sensible Nerven des Warmblüters (Ischiadicus unter gleichzeitiger Registrierung der Atmung), findet keine Reizerscheinung, die sich etwa durch Veränderung der Atmung des Versuchstieres kundtun, und hält mit einem besonderen

1) Grützner, Über verschiedene Arten der Nervenirregung. Pflüger's Arch. Bd. 17 S. 215. 1878.

2) Gad, Regulierung der normalen Atmung. Arch. f. Physiol. 1880 S. 1.

Hinweis auf die Grützner'schen Untersuchungen die Kälteausschaltung sensibler Nerven für eine reizlose.

Es sollten also auch vergleichsweise die einzelnen Ausschaltungsarten in ihrer Wirkung auf motorische und sensible Nerven untersucht werden.

Da es nun von methodischem Interesse erscheint, die Wertigkeit der Methoden kennen zu lernen, die uns zur Ausschaltung, insbesondere zur reizlosen Ausschaltung eines Nerven dienen könnten, sollen die Resultate erwähnter Untersuchungen kurz wiedergegeben werden. Es muss aber gleich erwähnt werden, dass diese Untersuchungen keineswegs den Anspruch auf Vollständigkeit erheben; es sollten ja in ihnen nur die mit der reizlosen Vagusausschaltung in Verbindung stehenden Punkte besondere Berücksichtigung finden; die weitere Ausführung der Versuche, die manchmal wünschenswert gewesen wäre, hätte uns zu weit von unserem Ziele abgeführt.

Bei den Versuchen an den motorischen Nerven fand der Ischiadicus des Frosches (*Rana esculenta*), der Ischiadicus und Paeronäus des Kaninchens unter Registrierung der Muskelzuckung Anwendung. Die Versuche an den sensiblen Nerven wurden am Ischiadicus des Frosches, am Ischiadicus und den zentripetal- und zentrifugalleitenden Fasern des Vagus vom Kaninchen vorgenommen. Die Indikatoren waren bei diesen Versuchen verschieden. Beim Froschischiadicus wurde die Reflexzuckung verwendet, ein Verfahren, das an sich keineswegs als ein ideales zu betrachten ist, — ist doch nicht jede Reizung des Ischiadicus von Reflexzuckung begleitet — das aber durch folgenden Vorgang zu einem nie versagenden gemacht werden kann. Dem Frosch werden nach Eröffnung des Rückenmarkskanals sämtliche sensible Wurzeln einer Seite durchschnitten und, nachdem sich das Tier von der Operation erholt hat (nach 2—3 Tagen), die Medulla oblongata durchtrennt, der Ischiadicus der Seite mit erhaltenen sensiblen Wurzeln frei präpariert und die Rückenmarksreflexe durch Vergiftung mit Strychnin gesteigert. Bei einem solchen Tier sind alle Wege, die eine Erregung von der Peripherie zu den Rückenmarkszentren leiten könnten, bis auf den frei präparierten Ischiadicus aufgehoben. Elektrische und mechanische Einzelreize rufen prompt eine Einzelzuckung hervor¹⁾, tetanisierende Reizung

1) Baglioni, Physiologische Differenzierung verschiedener Mechanismen des Rückenmarks. Arch. f. Physiol. 1900 Suppl. S. 193. Zur Genese der reflektorischen Tetani. Verworn's Zeitschr. f. allgem. Physiol. Bd. 2 S. 556. 1903.

bewirkt einen Tetanus der durch den Reflexbogen mit dem gereizten Nerven in Verbindung stehenden Muskeln. Es wird schon durch diese Versuchsanordnung allein eine gewaltige Differenz der sensiblen und motorischen Nerven aufgehoben; es beantworteten jetzt beide Faserarten einen Einzelreiz mit einer Reaktion ihrer Endorgane.

Am Kaninchenischadicus erwies sich die Registrierung der Blutdrucksveränderung auf Reizung des Ischiadicus des kuraresierten, künstlich ventilierten, nicht narkotisierten Tieres als die feinste Reaktion.

Am Kaninchenvagus diente einerseits die Veränderung des Blutdruckes, gemessen in der Karotis, andererseits die Atmung als Indikator.

Die Kälteausschaltung.

Da bei den Kälteausschaltungsversuchen mit der Möglichkeit zu rechnen war, dass nicht nur die zur Anwendung kommenden Methoden an sich zu verschiedenen einander vielleicht widersprechenden Resultaten führen könnten, wurde die Wirksamkeit verschiedener Methoden miteinander verglichen.

Vor allem fand das von Kältelösung durchströmte Silberröhrchen und die Kältekammer Anwendung. Zur Herstellung niedriger Temperaturen diente ein doppelwandiges Metallgefäß, das nach aussen hin durch eine dicke Wattelage isoliert, zwischen den Doppelwänden die Kältemischung, im Innern die zur Durchströmung der Kältevorrichtung vorbereitete Kältelösung (etwa 600 ccm) enthielt. Die Kältemischung bestand aus drei Teilen Eis und einem Teil Kochsalz. Als Kältelösung wurde verdünnter Alkohol verwendet. Unter diesen Bedingungen konnte die Kältelösung andauernd bei einer Temperatur von -15° C. erhalten werden. Es wurden jedoch auch höhere Temperaturen angewendet. Das Abkühlungsgefäß war so eingerichtet, dass nach unten hin das Eiswasser und die Kältelösung das Gefäß auf getrennten Wegen verlassen, von oben her Kältelösung und Kältemischung wieder ergänzt werden konnten. Die Verbindung zwischen dem Silberröhrchen bzw. der Kältekammer einerseits und dem Abkühlungsgefäß war möglichst kurz und gut isoliert. Die Kältekammer bestand aus einer doppelwandigen Metallrinne, in die an beiden Enden zur Vermeidung einer direkten Berührung von Metall und Nerv Glasröhrchen eingekittet waren. Zur besseren Isolierung wurde die 8 mm tiefe, 4 mm breite und 20 mm

lange Rinne mit einem Korkplättchen bedeckt. Da die Kammer nach aussen gleichfalls mittels Korkplättchen isoliert war, war die Temperaturannahme der Kältelösung auf dem Wege vom Gefäss durch die Kältevorrichtung bis zu dem zur Aufnahme der abfliessenden Kältelösung dienenden Glase nur gering (nicht mehr als 3° C.).

Auch bei diesen Versuchen wurde die Veränderung der Leitfähigkeit der beeinflussten Strecke durch Bestimmung der Reizschwelle mit Hilfe von einzelnen Öffnungsinduktionsschlägen kontrolliert. Auch die Bestimmung der Grenze der noch wirksamen Stromschleifen wurde vorgenommen, sie lag für unser Induktorium und den von uns angewandten Stromstärken unter 180 mm R.-A.

Die unter diesen Bedingungen erhaltenen Resultate waren folgende:

Mit der Silberröhrchenmethode konnte unter den oben geschilderten Versuchsbedingungen selbst nach längerer Einwirkung weder am Ischiadicus des Frosches noch am (durchbluteten) Pärónäus des lebenden Kaninchens eine verlässliche Aufhebung der Leitung erzielt werden. Dies mag vielleicht daran liegen, dass der Nerv nur zum Teil und nur mit einer kurzen Strecke dem Röhrchen anlag. Wir haben infolge dieses Resultates das Silberröhrchen nicht weiter angewendet.

Von besserem Erfolg begleitet waren die Versuche mit der Kältekammer, doch soll schon hier mit besonderem Nachdruck betont werden, dass es auch bei Anwendung der Kältekammer und einer Temperatur der Kältelösung von -15° C.¹⁾ weder am Kalt- noch am Warmblüternerven zu einer plötzlichen Aufhebung der Leitung kam, sondern es bis dahin regelmässig einige Minuten dauerte.

Bis zur Aufhebung der Leitfähigkeit des Froschnerven vergingen in der Regel 3—5 Minuten. Die Ausschaltung ging in der Weise vor sich, dass die Leitfähigkeit der abgekühlten Strecke für minimale Einzelreize schon vom Beginn der Einwirkung an ein allmähliches Absinken zeigte, um dann plötzlich rasch zu verschwinden. Dieses Verschwinden der Leitfähigkeit war in der Regel von Reizerscheinungen von seiten des zugehörigen Muskels begleitet, die

1) Es wird immer nur die Temperatur der Kältelösung angegeben, da die genaue Messung der Temperatur des nur von der abgekühlten Luft umgebenen Nerven auf Schwierigkeiten stösst.

entweder synchron mit dem Aufhören der Leitung auftraten oder der Aufhebung der Leitung deutlich vorangingen; in einzelnen Fällen kam es auch ohne Ausbildung von Reizerscheinungen zur Leitungsunfähigkeit des Nerven. Es scheint dieses Verhalten vom Zustande des Nerven abhängig zu sein. Am frisch präparierten Nerven wurden die Reizerscheinungen regelmässig beobachtet, an nicht ganz frischen Nerven oder solchen, die schon einmal durch die Einwirkung der Kälte unter Reizerscheinungen leitungsunfähig geworden waren, kam es häufig nicht zu Reizerscheinungen.

Der Gang eines solchen Versuches war folgender: Die Aufhebung der Leitung tritt nach 5 Minuten der Kältewirkung unter Reizerscheinungen ein; die Abkühlung wird sistiert, die Leitfähigkeit der Strecke kehrt bis nahe zur anfänglichen Höhe zurück. Bei neuerlicher Abkühlung mit gleichtemperierter Kältelösung tritt die Aufhebung der Leitung schon nach einer Minute ohne eine Reaktion von seiten des Muskels ein. Auch jetzt erholt sich der Nerv nach Sistierung der Abkühlung. Bei abermaliger Einwirkung der Kälte verschwindet die Leitfähigkeit in kurzer Zeit ohne Reizerscheinungen, obgleich es auch diesmal zum Anfrieren des Nerven an die Glasröhrchen der Kältekammer kommt. Es erinnert dieses Verhalten an eine Beobachtung, die Wedensky¹⁾ seinerzeit bei der Beeinflussung der Nervenleitung durch Elektrotonus beschrieben hat und die auch ich wiederholt beobachten konnte. Bei Schliessung eines konstanten Stromes von einer Stromstärke, die bedeutend schwächer ist als jene, die die Nervenleitung momentan aufhebt, kommt es nach einer bestimmten Zeit zur Aufhebung der Leitung; wird jetzt der Strom geöffnet, so kehrt die Leitfähigkeit in kurzer Zeit wieder, jetzt genügt aber eine nur kurz dauernde Schliessung des gleichen oder auch eines bedeutend schwächeren Stromes, um den Nerven schon mit dem Moment der Schliessung leitunfähig zu machen.

Entsprechend waren die Versuchsergebnisse am Warmblüternerven und an den sensiblen Fasern des Froschischiadicus; auch hier kamen die Reizerscheinungen zur Beobachtung. Die Aufhebung der Leitung trat bei Anwendung einer Kältelösung von -15° C. im Durchschnitt 5–6 Minuten nach Beginn der Abkühlung ein. Bei Anwendung höherer Temperaturen dauerte es länger, jedoch kamen auch hierbei Reizerscheinungen zur Beobachtung.

1) Wedensky, Die fundamentalen Eigenschaften des Nerven unter Einwirkung einiger Gifte. Pflüger's Arch. Bd. 82 S. 184. 1900.

Hier muss nun hervorgehoben werden, dass nach diesen Versuchen unter gleichen Versuchsbedingungen die Aufhebung der Leitung des durchbluteten Warmblüternerven (Päronäus) länger dauert als beim Kaltblüternerven von annähernd gleicher Stärke, ein Verhalten, das allem Anschein nach in Widerspruch steht zu Angaben von Head¹⁾, Boruttau²⁾ und Alcock³⁾. Diese Autoren haben sich mit vergleichenden Untersuchungen über die Einwirkung von niedrigen Temperaturen auf Kalt- und Warmblüternerven beschäftigt und dabei festgestellt, dass die Aufhebung der Leitung beim Warmblüternerven bei höheren Temperaturen eintritt als beim Kaltblüternerven. Ich möchte mangels einer grösseren Reihe eingehender Untersuchungen auf die hier gemachte Angabe kein allzu grosses Gewicht legen und sie nur hervorheben wegen vollkommen analoger Verhältnisse bei Beeinflussung des Nerven durch Narkose und Elektrotonus. Fröhlich und Tait⁴⁾ haben seinerzeit darauf hingewiesen, dass es zur Aufhebung der Leitung des durchbluteten Warmblüternerven einer stärkeren und länger dauernden Narkose bedarf als beim Kaltblüternerven, und die darauf hinielenden Versuche mit dem Elektrotonus ergaben vollkommen entsprechende Verhältnisse. Zur Ausschaltung des Warmblüternerven sind bedeutend stärkere Ströme notwendig.

Es wurde schon oben auf den Umstand hingewiesen, dass die Leitfähigkeit des Nerven, bestimmt durch die Reizschwelle, schon vom Beginn der Abkühlung ein allmähliches Absinken zeigt, um dann plötzlich stark abzunehmen. Dieses Verhalten bei der Abkühlung des Nerven steht in Gegensatz zum Verhalten der Leitfähigkeit einer der Narkose oder Erstickung ausgesetzten Nervenstrecke. Bei diesen Versuchen bleibt die Leitfähigkeit anfänglich unverändert. Die Ursache des anfänglichen Absinkens liegt wohl in einer Fernwirkung der Kälte auf die zur Leitfähigkeitsprüfung dienende Nervenstelle. Das Absinken hat nun Bedeutung, da es

1) Head, On the regulation of respiration. The Journal of Physiologie vol. 10 p. 1.

2) Boruttau, Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie. I. Über die Wirkung der Kälte auf die Nervenleitung. Pflüger's Arch. Bd. 65 S. 7. 1897.

3) Alcock, On the negative variation in the nerves of warmblooded animals. Proceed. Roy. Soc. t. 71 p. 264. 1902.

4) Fröhlich und Tait, Zur Kenntnis der Erstickung und Narkose des Warmblüternerven. Verworn's Zeitschr. f. allgem. Physiol. Bd. 4 S. 105. 1904.

darauf hinweist, dass bei diesen Versuchen die Prüfung der Leitfähigkeit einer abgekühlten Nervenstrecke mit einem Reiz konstanter Stärke nicht genügt. Durch das Absinken der Erregbarkeit kann es zu einer Abnahme bzw. zur Aufhebung des Reizerfolges kommen, ohne dass die Aufhebung der Leitfähigkeit eine vollständige ist. Die Prüfung mit Einzelreizen oder tetanisierenden Reizen konstanter Stärke kann bei den Abkühlungsversuchen abhängig von der gewählten Reizstärke noch vielmehr zu einander widersprechenden Resultaten führen, als wie dies von mir für die Narkoseversuche an anderem Ort¹⁾ ausführlich dargelegt worden ist. Einzig und allein die Bestimmung der Reizschwelle und ihrer Veränderungen kann ohne Zuhilfenahme komplizierter Methoden über die Leitfähigkeit und die Erregbarkeit eines Nerven wahren Aufschluss geben. Es muss nur vermieden werden, dass bei absinkender Leitfähigkeit mit der Bestimmung der Reizschwelle zu weit gegangen wird. Es wird nur allzuleicht die Grenze der noch wirksamen Stromschleifen überschritten, und die Resultate werden durch die Stromschleifenwirkung kompliziert. Dies ist z. B. bei den Bühler-schen²⁾ jüngst publizierten Abkühlungsversuchen der Fall. Auch hier kommt es zu einem steilen Abfall der Leitfähigkeit, aber nur bis zu einer gewissen Grenze, von dort an geht das weitere Absinken nur ganz langsam vor sich. Die Anbringung einer Ligatur würde in diesem Falle die Verhältnisse nicht wesentlich ändern. Das weitere Absinken der Leitfähigkeit wird durch Ausbreitung der Kältewirkung auf eine längere Nervenstrecke bedingt. Die Reizströme müssen allmählich verstärkt werden, da nun die Stromschleifen eine längere unerregbare Nervenstrecke überspringen müssen, um auf eine erregbare Nervenstelle zu stossen.

Nach dem bisher Gesagten würden sich die Abkühlungsversuche von den analogen Narkose- und Erstickungsversuchen in zwei Punkten unterscheiden: einmal durch das schon im Beginn der Einwirkung einsetzende Absinken der Leitfähigkeit, dann durch die Reizerscheinungen, die bei der Durchfrierung auftreten. Den ersten Unterschied suchten wir auf eine Fernwirkung der Kälte zurückzuführen, manchmal ist er auch nur gering; der zweite Unterschied

1) Fröhlich, Erregbarkeit und Leitfähigkeit des Nerven. Verworn's Zeitschr. f. allgem. Physiol. Bd. 3 S. 148. 1903.

2) Bühler, Über den Einfluss niederer Temperaturen auf die Leitfähigkeit motorischer Nerven, Archiv für (Anatomie und) Physiologie 1905 p. 239.

scheint auf der mit der Durchfrierung einhergehenden mechanischen Reizung zu beruhen, denn der der Nervenleitung zugrunde liegende Prozess wird nach den Abkühlungsversuchen von Hermann, Verwey¹⁾ und Borutttau²⁾ analog den Narkoseversuchen beeinflusst und unterliegt dem Lokalisationsgesetz genau so, wie es später für die Narkose und die Erstickung von Borutttau³⁾ und Fröhlich nachgewiesen wurde.

Da es uns nun in den oben geschilderten Versuchen nicht möglich war, mit der von uns verwendeten Kältekammer eine plötzliche Ausschaltung eines Kalt- oder Warmblüternerven zu erzielen, lag es nahe, nach einer Methode zu suchen, welche dies ermöglichte. Eine solche bot sich in der Kohlensäure-Äthermethode. Ein gewöhnliches Reagensglas wird über der Stichflamme dünn ausgezogen und rechtwinklig abgebogen. In diesem Glas wird Kohlensäureschnee mit Äther gemischt, ein Gemisch, das sofort eine Temperatur von unter -80°C . annimmt. Der auf dem umgebogenen Teil des Reagenzgläschens liegende Nerv gefriert momentan, die Leitfähigkeit wird augenblicklich aufgehoben. Die Reizerscheinungen, die dabei auftreten, sind allerdings ausserordentlich heftig. Es bestätigt dieses Verhalten die Angabe Bühler's⁴⁾, die sagt, dass die Stärke der bei der Abkühlung eines Nerven auftretenden Reizerscheinungen abhängig ist von der Geschwindigkeit, mit der die Temperaturerniedrigung einwirkt.

Die Reizerscheinungen, die bei Anwendung dieser Methode auftreten, äussern sich bei sensiblen und motorischen Nerven mit gleicher Heftigkeit. Eine Kurve, gewonnen an den sensiblen Fasern des Kaninchenischiiadicus mag als Beispiel dienen (Fig. 1 ab Taf. VIII). Bei Reizung mit einem Rollenabstand von 11 cm unseres Induktoriums tritt nach einer gewissen Latenzzeit starke Steigerung des Blutdruckes auf; nach Verschwinden desselben wurde die Kohlensäure-Ätherthermode behutsam unter den Nerven geschoben — eine entsprechende Anlagerung der normal temperierten Thermode ist ohne Wirkung auf

1) Verwey, Über die Tätigkeitsvorgänge ungleich temperierter Organe. Arch. f. Physiol. 1893 S. 504.

2) Borutttau, Beiträge zur allgemeinen Nerv- und Muskelphysiologie. Pflüger's Arch. Bd. 65 S. 7. 1897.

3) Borutttau und Fröhlich, Elektropathologische Untersuchungen. I. Mitteilung. Pflüger's Arch. Bd. 105 S. 444. 1904.

4) Bühler, a. a. O.

den Blutdruck — wir sehen nach einer Latenzzeit die Steigerung des Blutdruckes eintreten. Die Durchschneidung des Nerven mit einem Scherenschlag peripherwärts der abgekühlten Strecke ist ohne Erfolg, die Durchschneidung zentralwärts ist von starker Blutdrucksteigerung begleitet. Auch jetzt sehen wir die Blutdruckveränderung nach einer bestimmten Latenzzeit auftreten.

Hier soll noch einer anderen Tatsache Erwähnung getan werden. Der durch die ausserordentlich starke Temperaturerniedrigung leitungsfähig gewordene Nerv erhält bei nicht zu langer Ausdehnung der Abkühlung seine Funktionen wieder. Der vor der Abkühlung, wahrscheinlich infolge der Blutversorgung rötlichgelbe Nerv wird während der Abkühlung gelb und steif. Nach Sistierung der Abkühlung sieht man den Nerven sich wieder rötlich färben. Mit Ausnahme der normalen Färbung kehrt auch die Leitfähigkeit wieder zurück. Ich möchte dies als einen neuen Beweis für die Wichtigkeit der Blutversorgung für die Funktion des Warmblüternerven betrachten¹⁾.

Da nun, wie wir gesehen haben, die Kälteausschaltung je nach den zur Anwendung kommenden Methoden und Temperaturen entweder eine unvollständige oder eine vollständige, dann aber mit Reizerscheinungen komplizierte ist, so möchten wir sie zur reizlosen Nervenausschaltung nicht empfehlen.

Unsere diesbezüglichen Versuche am Vagus haben in der Tat ergeben, dass auch hier die Kälteausschaltung mit Reizerscheinungen einhergeht.

Der tripolare Elektrotonus.

In seinen Untersuchungen über den tripolaren Elektrotonus hat Achellis²⁾ unter anderem festgestellt, dass Schliessung eines starken konstanten Stromes bei Lagerung der Elektrodenkathode in in der Mitte der Anoden zu beiden Seiten ohne Schliessungserregung die Leitung im Nerven momentan aufhebt. Dieses Umstandes haben sich Schenk³⁾ und Pflücker⁴⁾ zur reizlosen Vagusausschaltung bedient.

1) Fröhlich und Tait, a. a. O.

2) Achellis, Über tripolare Nervenreizung und über die Entartungsreaktion bei ermüdeten Nervmuskelpreparaten. Pflüger's Arch. Bd. 106 S. 329. 1905.

3) Schenk, Über die Bedeutung der Lungenvagusfasern für die Atmung. Pflüger's Archiv Bd. C 1903 S. 337.

4) Pflücker, Über reizlose Ausschaltung des Lungenvagus durch An-
elektrotonus. Pflüger's Arch. Bd. 106 S. 372. 1905.

In Anbetracht unserer Ergebnisse der vergleichenden Untersuchungen über die Wirksamkeit von Kälte und Narkose auf Warm- und Kaltblüternerven sollte auch für den Elektrotonus geprüft werden, ob zur Ausschaltung des Warmblüternerven die Schliessung stärkerer Ströme notwendig sei als zur Ausschaltung der Kaltblüternerven.

Die Methode dieser Untersuchungen war die gleiche wie sie in der Publikation über reizlose Ausschaltung des Vagus durch Elektrotonus¹⁾ ausführlich beschrieben ist.

Die Versuche an Kaltblüternerven zeigten, dass die Schliessung eines konstanten Stromes (Kathode in der Mitte), dessen Intensität unter 0,2 M.-A. liegt, regelmässig mit Schliessungserregung einhergeht. Die Leitfähigkeit der elektrotonisierten Nervenstrecke verschwindet erst nach einiger Zeit und zwar um so schneller, je näher die Stromstärke 0,2 M.-A. liegt. Stromstärken über 0,2 M.-A. bewirken die momentane reizlose Ausschaltung des Nerven. Diese Grenze hat sich in verschiedenen Versuchen als ziemlich konstant erwiesen.

Nicht so bei den Untersuchungen am Warmblüternerven. Am durchbluteten Paeronäus des Kaninchens trat die reizlose Ausschaltung erst bei einer Stromstärke zwischen 1,5—3 M.-A. ein; bis zu dieser Stromintensität war die Schliessung des Stromes von Schliessungserregung begleitet.

Es erweist sich demnach die zur reizlosen Ausschaltung eines Warmblüternerven notwendige Stromintensität als inkonstant und bedeutend stärker als bei dem Nerven des Kaltblüters. Nichtsdestoweniger würde der Anwendung des tripolaren Elektrotonus zur reizlosen Vagusausschaltung bei Einführung genügender Stromintensitäten nichts im Wege stehen. Die Versuche am Vagus sollten uns jedoch eines anderen belehren. Es ergab sich, dass die Schliessung starker Ströme, und zwar insbesondere bei länger dauernder Schliessung, wie auch Pflücker angibt, von Reizerscheinungen begleitet war, die in Unruhe und Schmerzáusserungen des Tieres zum Ausdruck kamen. Die Reizerscheinungen kamen schon bei Stromstärken von 0,2 M.-A. und selbst weniger zur Beobachtung. Es sind die Stromstärken, die zur reizlosen Ausschaltung des Vagus dienen können eng begrenzt, nach unten von jenen Stromstärken, die noch Schliessungserregung ver-

1) Fröhlich, Über reizlose Vagusausschaltung. Pflüger's Arch. Bd. 113.

anlassen, nach oben hin von jenen Stromstärken, die bei Schliessung Reizerscheinungen hervorrufen. Da nun diese Grenzen bei verschiedenen Tieren nicht konstant sind und selbst bei einem Tiere ineinandergreifen können, wird es ausserordentlich schwer, die für die reizlose Ausschaltung notwendige Stromstärke zu finden. Die Möglichkeit der reizlosen Ausschaltung liegt mehr in der Hand des Zufalls als in der des Experimentators.

Wir haben diese Verhältnisse wiederholt am Vagus desselben Versuchstieres finden können. Bei Schliessung des Stromes kam es zu der von Pflücker beschriebenen inspiratorischen Wirkung; gleichzeitig konnten wir uns durch Anbringung einer tetanisierenden Reizung peripher der elektrotonisierten Strecke von der unvollkommenen Aufhebung der Leitung überzeugen und haben auch die während der Schliessung auftretenden Reizerscheinungen beobachten können.

Die Reizerscheinungen traten natürlich um so früher und stärker auf, je grössere Stromintensität angewendet wurde. Hierbei ist noch zu bemerken, dass mit zunehmender Stromstärke die Wiederholbarkeit des Nerven ausserordentlich leidet.

Die Narkoseausschaltung.

Die Narkose ist von allen Ausschaltungsarten bisher am meisten angewendet worden. Ihre Wirksamkeit wurde auf sensible und motorische Nerven des Kalt- und Warmblüters wiederholt erprobt und ist als sicher reizlos erkannt worden. Es liegen zwar eine Reihe von Angaben vor, nach denen der lähmenden Wirkung der Narkose des Nerven eine erregende vorausgehen sollte; eingehende Untersuchungen waren aber von vollkommen negativen Resultaten begleitet.

Die Ausschaltung durch Narkose hat neben grosser Bequemlichkeit³⁾ den Vorteil, mit verschiedener Geschwindigkeit vorgenommen werden zu können und eine Restitution der normalen Verhältnisse zu ermöglichen.

1) Fröhlich, a. a. O. S. 176. Über die scheinbare Steigerung der Leistungsfähigkeit des Muskels im Beginn der Ermüdung. („Muskeltreppe“) der Kohlensäurewirkung und der Wirkung anderer Narkotika. *Verworn's Zeitschr. f. allgem. Physiol.* Bd. 5 S. 288. 1905.

2) Boruttau und Fröhlich, a. a. O.

3) Siehe die Methodik in der Publikation über reizlose Vagusausschaltung.

Die Ammoniakausschaltung.

Der Ammoniak hat in der Physiologie bisher hauptsächlich Anwendung gefunden, um zu Versuchszwecken Nerven und Muskelstrecken abzutöten (Harless, Biedermann). Die Angaben über die Reizwirkungen des Ammoniak widersprechen einander. Motorische Nerven soll Ammoniak ohne Reizerscheinungen ausschalten (Ekhard, Setschenow¹), Kühne, Ranke²); die Ausschaltung sensibler Nerven soll dagegen von Reizerscheinungen begleitet sein (Ekhard, Setschenow¹), Gad³), Wedensky⁴). In nachfolgenden Untersuchungen wurde die Wirkung des Ammoniaks auf sensible und motorische Kalt- und Warmblüternerven in einer grossen Reihe von Versuchen einer ausführlichen Prüfung unterzogen.

Die Methodik der Ammoniakausschaltung ist eine einfache, sie ist mit geringer Abänderung die gleiche, wie sie auch bei der Narkoseausschaltung angewendet wurde. Der Nerv wurde in eine aus Glas gefertigten Kammer gelagert, die entsprechend den aus Holunderzweigen geschnittenen, von Verworn zur Narkose einer Nervenstrecke verwendeten Kammern gebaut war. Nach Isolierung der Umgebung mittels in Ringerlösung getauchter Watte und Guttaperchapapier mit einem Tropfen Ammoniak benetzt, oder es wurde unter Fortlassung der Kammer der Nerv blos mit Watte gegen die Umgebung isoliert und so der Ammoniakwirkung ausgesetzt.

Die Versuche an den motorischen Nerven von Kalt- und Warmblütern ergaben nicht die geringsten Reizerscheinungen. Entsprechend fielen auch die zahlreichen Versuche an den sensiblen Fasern aus. Es kam auch hier ohne die geringsten Reizerscheinungen zur Aufhebung der Leitung. Ein Versuch, vorgenommen an den sensiblen Fasern des Ischiadicus vom Kaninchen mag dies Verhalten illustrieren (Fig. 2 ab Taf. VIII). Reizung des Nervus ischiadicus mit einer tetanisierenden elektrischen Reizung von 11 cem R.-A. bewirkt deutliche Steigerung des Blutdruckes; Ammoniakapplikation ist ohne jede Wirkung. Reizung peripherwärts mit 11 cem R.-A. ist ohne Wirkung,

1) Siehe Hermann's Handbuch Bd. II S. 1. Allgem. Nervenphysiologie S. 101.

2) Ranke, Die Lebensbedingungen der Nerven S. 107. Leipzig, Engelmann 1868.

3) Gad, a. a. O.

4) Wedensky, a. a. O. Les existans et les poissons du nerf. Compt. rendus. 13. Oct. 1902.

desgleichen bei neuerlicher Ammoniakapplikation an einer mehr zentralwärts von der ersteren gelegenen Stelle.

Auch am Vagus überzeugten wir uns von der Reizlosigkeit der Ammoniakausschaltung, einmal indem wir Ammoniak auf das zentrale Ende des durchschnittenen Vagus einwirken liessen, dann dadurch, dass wir nach Ablauf der Veränderung der Atmung nach der Ammoniakausschaltung an einer mehr zentral gelegenen Stelle Ammoniak einwirken liessen. In keinem dieser Versuche traten irgendwelche Reizerscheinungen auf, natürlich vorausgesetzt, dass wir die Wunde und die Respirationsorgane des Tieres vor den Ammoniakdämpfen schützten. Hiermit kommen wir zu der wahrscheinlichen Erklärung der widersprechenden Angaben der einzelnen Autoren über die Ammoniakwirkung auf sensible Nerven. In den Versuchen der genannten Autoren wurde niemals eine scharfe Trennung vorgenommen zwischen sensibler Faser und sensibler Endigung; die sensiblen Endigungen sind, wie man sich leicht überzeugen kann, gegen Ammoniak ausserordentlich empfindlich, während die Fasern, die von ihnen aus die Erregung zu den Zentren leiten, unter der Wirkung des Ammoniaks keinerlei Reizerscheinungen zeigen. Auf diesen Unterschied der Reaktion will ich an anderer Stelle ausführlich zurückkommen.

Zu erwähnen ist, dass gleichzeitig¹⁾ mit uns Emanuel²⁾ die Wirkung des Ammoniaks auf sensible und motorische Kalt- und Warmblüternerven auch auf den Vagus untersucht hat und zu vollkommen übereinstimmenden Resultaten gelangt ist.

Bei der Ammoniakausschaltung kommen aber noch zwei weitere Momente in Betracht: die Geschwindigkeit der Ausschaltung und die Möglichkeit der Restitution.

Von ersterer überzeugten wir uns, indem wir auf den Nerven eines Nervmuskelpreparates eine tetanisierende Reizung ausübten, den Tetanus des Muskels registrierten, dann auf eine Nervenstelle zwischen Muskel und Reizstelle Ammoniak einwirken liessen und beobachteten, mit welcher Geschwindigkeit die tetanisierende Reizung unwirksam wurde. Kurve 3 (Taf. VIII) mag als Beispiel dienen, da zu der Jahreszeit, zu welcher diese Versuche angestellt wurden, keine

1) Wir haben über diese Versuche bereits auf der 77. Naturforscherversammlung zu Meran (Herbst 1905) berichtet.

2) Emanuel, Über die Wirkung des Ammoniaks auf den Nerven. Arch. f. Physiol. 1905 S. 482.

guten Frösche zur Verfügung standen, infolgedessen schon nach kurzdauernder Reizung eine Kontraktur des Muskels auftrat, so wurde ein Kontrollversuch in der Weise ausgeführt, dass das Nervmuskelpräparat der anderen Seite einer Reizung ausgesetzt wurde, die einen entsprechend dauernden Tetanus auslöste.

Die Restitution der normalen Verhältnisse nach einer Ammoniakapplikation erfolgt nach Wedensky¹⁾ am Kaltblüternerven, wenn sie überhaupt eintritt, erst nach Stunden. Am Warmblüternerven erfolgt sie jedenfalls nicht im Verlauf einer Versuchsdauer. Dies zeigten die am motorischen Warmblüternerv und am Vagus vorgenommenen Reiz- und Durchschneidungsversuche.

Nach unseren Versuchsergebnissen mit den einzelnen Ausschaltungsmethoden möchten wir nun unsere Erfahrungen folgendermassen formulieren:

Die Anwendung der Kälte und des Elektrotonus sind zur reizlosen Ausschaltung eines Nerven nicht zu empfehlen.

Die Kältewirkung ist, falls sie mit einer vollständigen Aufhebung der Leitung einhergeht, in der Regel von Reizerscheinungen begleitet.

Die Elektrotonusausschaltung des Kaltblüternerven ist möglich, die des Warmblüternerven ist jedoch wegen der Inkonstanz und der verhältnismässig grossen Intensität der Ströme, die zur Ausschaltung notwendig sind, und der damit verbundenen Gefahr der Stromschleifenbildung äusserst kompliziert.

Narkose und Ammoniak bieten für die reizlose Ausschaltung eines Nerven günstige Bedingungen, erstere durch die Möglichkeit der Restitution und der Variierung der Geschwindigkeit der Ausschaltung, letzteres durch die Schnelligkeit und Vollständigkeit seiner Wirkung.

Die schädigende Wirkung des Ammoniaks auf sensible und motorische Nerven des Kalt- und Warmblüters geht übereinstimmend mit der Wirkung der Narkose ohne Reizerscheinungen von seiten der Endorgane einher.

Die Resultate der vergleichenden Untersuchungen über die Wirkung der einzelnen Methoden auf sensible und motorische Nerven sind folgende: Sensible und motorische Nerven zeigen in

1) Wedensky, Die fundamentalen Eigenschaften usf. a. a. O.

ihrer Reaktion auf die genannten Beeinflussungen keine Verschiedenheit.

Die Durchfrierung beider Faserarten ist von Reizerscheinungen begleitet.

Narkose und Ammoniak schalten sensible und motorische Nerven ohne Reizerscheinungen aus.

Der Elektrotonus kann je nach der Lage der Elektroden und der Stärke der angewendeten Stromintensität auf sensible und motorische Nerven verschieden wirken. Schliessung eines starken aufsteigenden Stromes wirkt scheinbar nur auf die sensiblen Fasern und nicht auf die motorischen usf.

Eine Verschiedenheit in der Wirkung des Elektrotonus auf sensible und motorische Nerven kann ferner durch die Stromschleifenwirkung vorgetäuscht werden. Wie die Vagusversuche zeigen, äussert sich die Wirkung starker Ströme nicht blos in einer Veränderung der Atmung, sondern auch in Unruhe und Schmerzäusserungen des Tieres. Diese letzteren Symptome können ganz gleich wie ähnliche Erscheinungen bei den Ammoniakversuchen an sensiblen Fasern des Ischiadicus und zwar noch in stärkerem Masse auf Beeinflussung der sensiblen Endigungen der Umgebung beruhen.

Tafelerklärung.

Fig. 1 a zeigt die Wirkung einer tetanisierenden, elektrischen Reizung des Nervus ischiadicus auf den Blutdruck eines kurarisierten, künstlich ventilierten, nicht narkotisierten Kaninchens.

Fig. 1 b zeigt die Reizwirkung der Kälte, bei *p* wird der Nerv peripherwärts der abgekühlten Nervenstrecke durchschnitten, bei *c* zentralwärts.

Fig. 2 a, wie Fig. 1 a.

Fig. 2 b zeigt die Wirkungslosigkeit der Ammoniakapplikation auf den Blutdruck bei gleichzeitiger Aufhebung der Leitung; die vorher wirksame Reizung ist unwirksam geworden.

Fig. 3 a zeigt die Aufhebung der Wirkung einer tetanisierenden Reizung eines Froschischadicus durch Ammoniakapplikation zwischen Reizstelle und Muskel.

Fig. 3 b zeigt vergleichsweise die Wirkung eines entsprechend lang dauernden tetanisierenden Reizung auf das andere Nervmuskelpreparat des gleichen Versuchstieres.

Fig. 2^a

Fig. 3^a

Fig. 2^b

Fig. 3^b