

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Wien.)

Zur Frage der doppelten Innervation von Muskeln des Warmblüters.

Von

Richard Lederer und **Frieda Lemberger.**

(Mit 8 Textfiguren.)

In der im Jahre 1882 erschienenen Arbeit von Johannes Gad: „Über einige Beziehungen zwischen Nerv, Muskel und Zentrum“¹⁾ beschäftigt sich Gad mit der Frage der Nervenverteilung in dem von zwei oder mehreren verschiedenen Nerven innervierten Muskel. Er sagt in der zitierten Arbeit (S. 9): „Setzen wir den Fall, es handle sich um einen Muskel, dessen Nerv nach zwei Gruppen seiner Fasern partiell vom Zentrum aus erregt werden kann, so ist es denkbar, dass jede Muskelfaser, welche eine Nervenendigung aus der Nervenfaserguppe *a* erhält, mit keiner Nervenfasern der Gruppe *b* in direkte Beziehung tritt, oder aber, dass von den Nervenendigungen jeder Muskelfaser eine der Gruppe *a*, eine andere der Gruppe *b* angehört.“ Diese Frage wird durch Versuche am Musculus gastrocnemius des Frosches, welcher von drei, manchmal von vier gesondert aus dem Lumbalmark entspringenden Nervenwurzeln innerviert wird, beantwortet. (Vgl. Schema Fig. 1.)

Gad hat zu seinen Versuchen den Fick'schen Spannungsmesser benutzt, indem er einerseits einzelne elektrische Reize auf die Nerven einwirken liess, andererseits dieselben tetanisierte. Sämtliche Versuche ergaben das übereinstimmende Resultat, dass eine Verteilung der Nervenfasern im Musculus gastrocnemius nach dem ersten Schema vorliege, dass somit das von Gad in der zitierten Arbeit aufgestellte Gesetz

$$t_{(a)} + t_{(b)} = t_{(a+b)}$$

1) Festschrift zur Feier des 300 jährigen Bestehens der Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg. Leipzig.

für den *Musculus gastrocnemius* des Frosches Giltigkeit hat, wobei $t_{(a)}$ die an dem Spannungsmesser abgelesene Spannung des von der Nervenfaserguppe *a* innervierten Muskelanteiles, $t_{(b)}$ die Spannung der von der Nervenfaserguppe *b* versorgten Muskelfasern darstellt. $t_{(a+b)}$ stellt die Summe der beiden Spannungen, d. h. die Spannung der von den Nervenfaserguppen *a* und *b* versorgten Muskelfasern, dar.

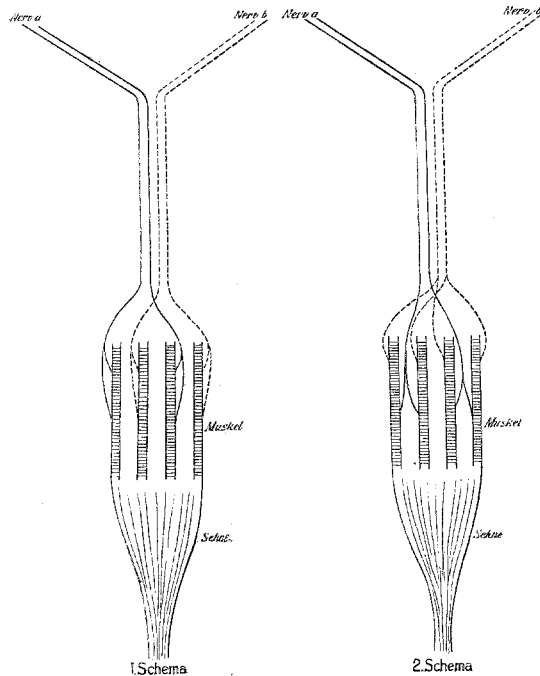


Fig. 1.

Wenn also die Wurzel *a* elektrisch gereizt wurde, so wurde am Spannungsmesser ein gewisser Ausschlag graphisch dargestellt; das gleiche trat bei Reizung der Wurzel *b* ein. Wurden nun beide Wurzeln gleichzeitig gereizt, so konnte man am Spannungsmesser einen Ausschlag ablesen, welcher der Summe der beiden früheren Ausschläge gleich war. Bedingung ist natürlich, dass bei allen diesen Versuchen mit maximalen Reizstärken gearbeitet wird, um „bei Vermehrung der erregten Nervenfasernzahl nicht eine Steigerung der Erregungsgrösse der schon von der einfachen Nervenfasernzahl aus erregten Muskelfasern“ eintreten zu lassen.

Die Tetanusversuche Gad's gestalteten sich derartig, dass der Muskel zunächst von einer Nervenwurzel aus bis zur Erschöpfung, d. h. bis der Spannungsmesser auf 0 gesunken ist, tetanisiert wurde. Reizung einer anderen Wurzel ergab neuerdings einen Ausschlag am Spannungsmesser, der auf Kontraktion eines anderen Teiles von Muskelfasern zurückgeführt werden musste.

Während Gad so die Frage der Nervenfaserverteilung im doppelt innervierten *Musculus gastrocnemius* des Frosches im dargelegten Sinne beantwortete, fand Sigm. Exner anlässlich seiner Arbeiten über die Innervation des Kehlkopfes Gelegenheit, sich mit der gleichen Frage am Warmblütermuskel zu beschäftigen. Durch die im Jahre 1884 erschienene Arbeit über die Innervation des Kehlkopfes¹⁾ wies Exner nach, dass der *Musculus cricothyreoideus* des Kaninchens ausser von dem schon bekannten *Nervus laryngeus superior* noch durch einen bis dahin unbekannten Nerven, den er *Nervus laryngeus medius* nannte, innerviert werde. Dieser Befund wurde später noch von einer Reihe anderer Autoren bestätigt²⁾.

Damit war ein Objekt gegeben, um die Frage der doppelten Innervation am Warmblütermuskel zu studieren. Noch in der gleichen Arbeit befasst sich Exner mit dieser Frage und ebenso in der im Jahre 1885 erschienenen Arbeit: „Notiz zu der Frage von der Faser-
verteilung mehrerer Nerven in einem Muskel.“³⁾

Die zu lösende Frage formuliert Sigm. Exner in der ersten der beiden Arbeiten folgendermaassen (S. 5): „Die Versorgung eines Muskels durch zwei Nerven kann nämlich in zweierlei Weise gedacht werden. Es kann der erste Nerv einen Teil der Muskelfasern ausschliesslich innervieren und der zweite Nerv ebenso den Rest der Muskelfasern. Es kann aber auch jede Muskelfaser Nervenendigungen, die dem ersten, und solche, die dem zweiten Nerven angehören, be-

1) Aus dem LXXXIX. Bande der Sitzungsber. der k. Akad. der Wissensch. III. Abt. Febr.-Heft, Jahrg. 1884. „Die Innervation des Kehlkopfes“ von Prof. Sigmund Exner.

2) A. Onodi, Über die Bedeutung des mittleren Kehlkopfnerven. Ref. im Zentralbl. f. Physiol. 1888 Nr. 23 S. 609. — A. Onodi, Zur Frage vom *Nervus laryngeus medius*. Zentralbl. f. d. med. Wissensch. Nr. 51 S. 961, 22. Dezember 1888. — C. Livon, Innervation du muscle cricothyroïdien. Arch. de Physiol. norm. et pathol. t. 23 p. 198. 1891. — Ellenberger und Baum, Anatomie des Hundes. Berlin 1891.

3) Pflüger's Archiv f. d. ges. Physiologie Bd. 36 S. 572. 1885.

E. Pflüger, Archiv für Physiologie. Bd. 119.

sitzen, so dass bei Reizung jedes der beiden Nerven für sich allein alle Fasern des Muskels in Kontraktion geraten.“ — An die Beantwortung dieser Frage schritt Sigm. Exner, indem er zahlreiche Reizungs- und Degenerationsversuche am *Musculus cricothyreoideus* des Kaninchens unternahm; er fasste das Resultat seiner Untersuchungen in der zweiten der oben angeführten Arbeiten in nachstehender Weise zusammen: „Wenn zwei Nerven mit einem Muskel derart in Verbindung stehen, dass die elektrische Reizung jedes der ersteren den letzteren zur Kontraktion bringt, und man durchschneidet einen der Nerven und lässt das Tier am Leben, so kann man nach Wochen oder Monaten vergebens nach degenerierten Muskelfasern in dem betreffenden Muskel suchen. Erst wenn beide Nerven durchschnitten werden, degeneriert der Muskel. Diese Versuche waren am Kaninchen angestellt. Ihre einfachste Deutung fänden sie in der Annahme, dass in der Natur der zweite der oben genannten Fälle verwirklicht ist, dass die Muskelfasern also deshalb nicht degenerieren, weil jede derselben noch mit einer Nervenendigung des unverletzten Nerven versehen ist.“

Da nun einerseits die Degenerationsmethode keine absolut verlässlichen Resultate liefert, anderseits es auch möglich wäre, den Umstand, dass keinerlei degenerierte Fasern aufzufinden waren, so zu erklären, „dass die nervöse Intaktheit benachbarter Muskelfasern die nervenlosen Fasern vor Degeneration schützt, etwa durch passive Bewegung bei Kontraktion der intakten Fasern“, übertrug es uns Hofrat Exner, der Frage nochmals durch Anwendung der Gad'schen Methoden auf den *Musculus cricothyreoideus* des Kaninchens näherzutreten.

Unser Versuchsplan ging zunächst dahin, den Muskel in Analogie der Gad'schen Versuchsanordnung am Spannungsmesser und dann zur Kontrolle dieser Versuche in isotonischer Anordnung arbeiten zu lassen. Alle Versuche sind ausschliesslich an narkotisierten Kaninchen angestellt. Dieselben wurden mit Urethan betäubt, das in Dosen von 1,5—2,0 g pro Kilogramm Tier 2—3 Stunden vor der Operation per os verabreicht wurde. Die Narkosen waren durchwegs vollkommen zweckentsprechend, indem während der ganzen Versuchsdauer Willkürbewegungen des Tieres gänzlich wegfielen und keinerlei Nebenwirkungen des Narkotikums beobachtet wurden¹⁾.

1) Vgl. die Literatur über Urethan: Schmiedeberg, Arch. f. exp. Path. u. Pharmak. 1885. Kraepelin, Neurol. Zentralbl. 1886. u. a.

Das narkotisierte Tier war auf einem Kaninchenbrett in Rückenlage fixiert. Von einem medianen Hautschnitt aus, der sich vom Unterkiefer bis beinahe zum Sternum erstreckte, wurde nach Durchtrennung der Fascie und der Muskulatur der Larynx und der obere Teil der Trachea freipräpariert und eine Tracheotomie ziemlich tief unten ausgeführt. Bei dem ersten Teil der Versuche wählten wir die Cartilago thyreoidea als das punctum fixum, die Cartilago cricoidea als punctum mobile, an welchem die Schreibvorrichtung angebracht wurde. Da aber bei der Höhe der Spannung bzw. der Grösse der Gewichte der zarte Ringknorpel auszureissen pflegte, so haben wir das Verhältnis bei den späteren Versuchen umgekehrt und die Cartilago cricoidea nebst den oberen Trachealringen als punctum fixum und den Schildknorpel als punctum mobile gewählt. Zu diesem Behufe wurde eine zweite Tracheotomie oberhalb der ersten in den obersten Trachealringen angelegt, die Venen, welche zum Larynx herabziehen, unterbunden, die Epiglottis abgetragen und der Schildknorpel und das Ligamentum conicum, soweit es nicht vom Musculus cricothyreoideus bedeckt ist, median gespalten. Durch die obere Öffnung in der Trachea haben wir einen Glasstab gegen den Schlund vorgeschoben und die obersten Trachealringe unter Schonung des mit ihnen in Verbindung stehenden Ringknorpels an demselben festgeschnürt. Die von der Arteria carotis externa abgehende, den Musculus cricothyreoideus versorgende Arteria laryngea¹⁾, ebenso die entsprechende Vene wurden immer geschont, um die Zirkulation im Muskel nicht zu stören. Nun präparierten wir auf einer Seite den Nervus laryngeus superior und den Nervus laryngeus medius²⁾, ohne sie irgendwie zu verletzen, und legten die beiden Nerven auf Platinelektroden. Dieselben bestanden aus zwei in ein Glasrohr isoliert eingeschmolzenen Platindrähten, deren freie Enden 2 mm voneinander entfernt waren; behufs Isolierung von der Unterlage waren dieselben an einem Zelluloidplättchen mit Siegellack befestigt. Der Glasstab mit dem Ringknorpel wurde mittelst eines Stativs fixiert, die Schildknorpelhälfte der betreffenden Seite durch eine eigens hierzu geformte kleine Klemme und einen an dieser befindlichen starken Seidenfaden mit dem Gad'schen Spannungsmesser verbunden. Der Schreiber

1) W. Krause, Die Anatomie des Kaninchens S. 183. Leipzig 1868.

2) Die Anatomie der beiden Nerven vgl. S. Exner, Die Innervation des Kehlkopfes. 1884.

desselben verzeichnete die Ausschläge an einer vertikal stehenden Kymographiontrommel mit einer Vergrößerung von 1:4,8. Die Reizung der Nerven erfolgte durch Öffnungsinduktionsschläge in Zeitintervallen, die bei den einzelnen Versuchen eine halbe oder eine Minute betrugen. Die Stromquelle bildeten zwei Akkumulatoren. Im Hauptschluss waren zwei Du Bois-Reymond'sche Schlitteninduktoren geschaltet, deren sekundäre Rolle je 6500 Windungen hatte.

Um das Tier vor Abkühlung zu schützen, wurde es mit mehreren Lagen Watte bedeckt und das Operationsfeld durch Wattebäusche, die mit auf 40° C. erwärmter Locke'scher Lösung¹⁾ getränkt waren, möglichst gut bei Körpertemperatur erhalten.

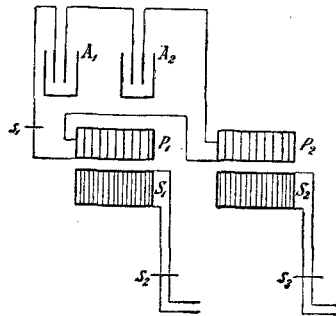


Fig. 2. $A_1 A_2$ = Akkumulatoren, $P_1 P_2$ = Primäre Rolle, $S_1 S_2$ = Sekundäre Rolle, $s_1 s_2 s_3$ = Schlüssel.

Zunächst haben wir bei jedem Versuche die maximalen Reizstärken für jeden der beiden Nerven gesucht und nun die Nerven erst einzeln und dann gleichzeitig gereizt. Die hierbei erzielten Ausschläge sind aus den beigelegten Kurven ersichtlich. (Fig. 3—5.)

Die gefundenen Versuchsergebnisse sind also folgende: Wird der Nervus laryngeus medius für sich allein gereizt, so verzeichnet der Spannungsmesser einen Ausschlag von der Höhe M ; der Reizung des Nervus laryngeus superior entspricht die Spannungshöhe S . Reizen wir nun die beiden Nerven gleichzeitig, so finden wir am Spannungsmesser einen grösseren Ausschlag, der also voraussichtlich der Höhe $M + S$ entspricht. Das heisst also, dass analog dem Gad'schen Versuchsobjekt die Verteilung der beiden Nerven im Musculus

1) Vgl. Zeitschr. f. Biol. Bd. 48, N. F. Bd. 30. Fil. Botazzi, Ein Warmblütermuskelpreparat, das sich für Untersuchungen allgemeiner Muskelphysiologie besonders eignet.

cricothyreoideus so gedacht werden muss, dass ein Teil der Muskelfasern ausschliesslich vom Nervus laryngeus medius, der Rest derselben nur vom Nervus laryngeus superior versorgt wird, dass also jede einzelne Muskelfaser nur von einem der beiden Nerven Fasern bezieht. Reizen wir also den Nervus laryngeus medius allein, so kontrahiert sich [nur jener Teil des Musculus cricothyreoideus, der von diesem Nerven versorgt wird; diejenigen Muskelfasern aber, deren Innervation durch den Nervus laryngeus superior besorgt wird,

R.A.-5.

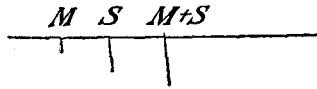


Fig. 3. Versuch vom 14. Dezember 1906. Kaninchen, 2,30 kg. Maximale Reizstärke bei R.-A. = 5. *M* = Zuckung bei alleiniger Reizung des Nervus laryngeus medius, *S* = Zuckung bei alleiniger Reizung des Nervus laryngeus superior, *M + S* = Zuckung bei gleichzeitiger Reizung beider Nerven. Intervall zwischen den drei Reizen je $\frac{1}{2}$ Minute.

R.A.-5

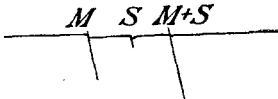


Fig. 4. Versuch vom 15. Dezember 1906. Kaninchen, 2,10 kg. Maximale Reizstärke bei R.-A. = 5. Bezeichnung wie bei Fig. 3.

M S M+S



R.A.-5

Fig. 5. Versuch vom 15. Dezember 1906. Dasselbe Kaninchen, 2,10 kg. Maximale Reizstärke bei R.-A. = 5. Bezeichnung wie bei Fig. 3.

werden durch die Reizung nicht beeinflusst, sondern kontrahieren sich erst bei Reizung des Nervus laryngeus superior. Reizen wir beide Nerven gleichzeitig, jeden mit seiner maximalen Reizstärke, so kontrahieren sich sämtliche Fasern des Musculus cricothyreoideus, und am Spannungsmesser ist demnach ein Ausschlag verzeichnet worden, der der Summe der beiden früheren Spannungsgrößen entspricht. Es gilt also auch für den Musculus cricothyreoideus des Kaninchens die Gad'sche Formel:

$$t_{(a)} + t_{(b)} = t_{(a+b)},$$

wobei in unserem Falle $t_{(a)}$ die Spannung desjenigen Muskelanteiles

darstellt, der sich bei Reizung des Nervus laryngeus medius kontrahiert, $t_{(b)}$ die Spannung der vom Nervus laryngeus superior versorgten Muskelfasern.

Die zweite der Gad'schen Untersuchungsmethoden — die Tetanisierung und Ermüdung des Muskels — haben wir vergeblich versucht, da dieselbe beim Warmblütermuskel so lange Zeit in Anspruch nimmt, dass der zweite Nerv, ehe der Muskel von dem ersten aus bis zur Erschöpfung tetanisiert ist, seine Erregbarkeit verliert oder doch teilweise einbüsst.

Um aber das gefundene Versuchsergebnis noch anderweitig zu verifizieren, wendeten wir in einer zweiten Versuchsreihe die Methode des Belastungsverfahrens an. Die Versuchsanordnung war dieselbe wie bei den Versuchen mit dem Gad'schen Apparat; nur wurde der mit dem Schildknorpel verbundene Seidenfaden über eine Rolle geleitet und an einem durch ein Gewicht belasteten Schreibhebel befestigt, der die Zuckungen an einem horizontal stehenden Kymographion verzeichnete. Die Anordnung war also eine isotonische.

Zunächst suchten wir abermals die maximale Reizstärke für jeden der beiden Nerven bei einem beliebigen kleinen Gewichte. Nun reizten wir bei allmählicher Steigerung der Gewichte abwechselnd den Nervus laryngeus medius und den Nervus laryngeus superior in bestimmten Zeitintervallen so lange, bis die Belastung eine genügende war, dass der Musculus cricothyreoideus sowohl bei alleiniger Reizung des Nervus laryngeus medius als auch bei alleiniger Reizung des Nervus laryngeus superior eben nicht mehr zuckte. Reizten wir dann beide Nerven gleichzeitig, so verzeichnete der Schreiber wieder eine deutliche Zuckung des Muskels. Um uns zu überzeugen, dass auch jetzt noch die beiden Nerven einzeln für sich erregbar seien und nur die Grösse der Belastung eine Zuckung des Muskels verhindert hatte, reizten wir jetzt wieder bei dem nächst kleineren Gewicht jeden Nerven für sich allein und erhielten jedesmal wieder eine deutliche Zuckung.

Dem sich hier ergebenden Resultat können wir wohl dieselbe Deutung geben wie dem bei den Versuchen mit dem Gad'schen Spannungsmesser gefundenen: Auf maximale Reizung des Nervus laryngeus medius allein erhalten wir keine Zuckung, da der von ihm versorgte Muskelanteil nicht imstande ist, das bestimmte Gewicht zu heben. Das gleiche ist bei alleiniger Reizung des Nervus laryngeus superior der Fall. Wenn wir nun auf gleichzeitige Reizung beider

Nerven wieder eine deutliche Zuckung erhalten, so können wir wohl dieses Ergebnis nur dahin deuten, dass jetzt mehr Muskelfasern zucken, d. h. also, dass weder bei alleiniger Reizung des Nervus laryngeus medius noch bei alleiniger Reizung des Nervus laryngeus superior der ganze Muskelquerschnitt innerviert wird, und dass bei isolierter Reizung eines Nerven nur immer eine bestimmte Anzahl von Muskelfasern, die eben von dem betreffenden Nerven ausschliesslich versorgt wird, zuckt. Es zerfällt also der ganze Muskelquerschnitt in zwei Anteile, von welchen der eine ausschliesslich vom Nervus laryngeus superior, der andere ausschliesslich vom Nervus laryngeus medius innerviert wird.

So sehen wir also, dass alle von uns am Musculus cricothyreoideus des Kaninchens angestellten Versuche das Ergebnis liefern, zu dem seinerzeit Gad für den Musculus gastrocnemius des Frosches gelangte.

Es sei noch bemerkt, dass mit wenigen Ausnahmen bei Einzelreizung der beiden Nerven die Spannung desjenigen Muskelanteiles, der vom Nervus laryngeus medius versorgt wird, eine grössere ist als die Spannung des vom Nervus laryngeus superior innervierten Muskelteiles. Bei allmählicher Steigerung des Gewichtes stellt der vom Nervus laryngeus superior versorgte Anteil des Muskelquerschnittes zuerst seine Zuckungen ein, während die vom Nervus laryngeus medius versorgten Fasern noch imstande sind, das betreffende Gewicht zu heben. Wir glauben wohl aus diesen Erscheinungen schliessen zu dürfen, dass sich die beiden Nerven nicht gleichmässig an der Versorgung des Musculus cricothyreoideus beteiligen, sondern dass der Nervus laryngeus medius eine grössere Anzahl von Muskelfasern versorgt als der Nervus laryngeus superior. Es stände diese Tatsache im Gegensatz zu der Angabe Livon's¹⁾: „De ces expériences, il résulte donc, que le muscle cricothyroïdien reçoit une double innervation, l'une plus énergique du laryngé supérieur, l'autre moins intense du plexus pharyngien, pouvant peu à peu suppléer la première.“

Die Tatsache, dass Exner nach Durchschneidung eines dieser beiden Nerven keine Degeneration im Muskel finden, während er eine solche nach Durchtrennung beider Nerven nachweisen konnte, bleibt also nach unseren Versuchen weiterhin als Rätsel bestehen, das seiner Lösung noch harret.

1) C. Livon, Innervation du muscle cricothyroïdien. Marseille médicale t. 28 p. 325. Arch. de Physiol. (5) t. 3 (1) p. 198.

Wir gingen nun darauf aus, noch einen anderen Muskel eines Warmblüters zu finden, der doppelte Innervation besitzt. In der Krause'schen „Anatomie des Kaninchens“ ist eine Reihe solcher Muskeln genannt. Unter diesen konnten wir nur zwei wählen, weil deren versorgende Nervenstämmе leicht zu reizen sind. Es sind dies: der *Musculus flexor digitorum communis profundus* und der *Musculus flexor digitorum communis sublimis*, die beide Fasern sowohl vom *Nervus cervicalis VIII* als auch vom *Nervus thoracalis I* erhalten.

Wir haben bei der Untersuchung dieselbe Narkose und dieselben Methoden wie bei den Versuchen am *Musculus cricothyreoideus* angewendet; nur mussten letztere natürlich entsprechend modifiziert werden. Nach eingetretener Narkose wurde das Tier in Rückenlage auf einem Kaninchenbrett fixiert; dann legten wir einen medianen Hautschnitt an, der in der Höhe der ersten Trachealringe begann und sich näherungsweise bis zum Ansatz der zweiten Rippe am Sternum erstreckte. Am Brustende dieses Medianschnittes schlossen wir einen auf demselben senkrecht stehenden Hautschnitt an und präparierten den dadurch entstehenden dreieckigen Hautlappen lateralwärts zurück. Nun wurde die *Clavicula* mit der *Vena cephalica* doppelt unterbunden und durchtrennt, ebenso die *Musculi pectoral. maior. und minor.* und der *Musculus subclavius*. Dann lag der ganze Nervenplexus sowie die *Arteria* und *Vena subclavia* vor uns. Die in Frage kommenden beiden Stämme, der achte Cervicalnerv und der erste Thoracalnerv liegen gerade zwischen den beiden grossen Gefässen, und zwar nur in dem proximalsten Anteil des Verlaufes deutlich voneinander getrennt, während sie in ihrem weitaus grösseren distalen Anteil sich bereits zu einem Nervenstamm vereinigt haben. Der isoliert verlaufende Teil der beiden Nerven beträgt bei mittelgrossen Tieren ca. 1,5 cm.

Wir präparierten nun die Nerven, ohne sie irgendwie zu verletzen, vorsichtig von dem sie umgebenden Bindegewebe frei, bedeckten das ganze Operationsfeld mit in warme Locke'sche Lösung getauchter Watte und verschlossen temporär die Hautwunde. Die Präparation ist linkerseits leichter durchzuführen als rechts, weil rechts die grossen Venen des Halses (*Vena jugularis* und *Vena anonyma*) das Operationsfeld einschränken. Es musste selbstverständlich jede Verletzung der Armgefässe vermieden werden, um nicht die Blutzirkulation im Muskel zu gefährden.

Nun wurde an der Pfote der betreffenden Seite die Haut, die Fascia palmaris und das Ligamentum carpi volare proprium und transversum¹⁾ gespalten und die beiden Muskeln freigelegt. Nachdem dieselben voneinander und von der Umgebung getrennt waren, haben wir die Sehne eines jeden mit einem starken Seidenfaden umschnürt und dieselbe hierauf distal von der Ligatur durchtrennt. Ausserdem wurden auch die Mm. flexores carpi radiales und ulnares durchschnitten, um ein eventuelles Mitwirken derselben bei der Reizung zu verhindern. Die Pfote haben wir an einem mit dem Kaninchenbrett in starrer Verbindung stehenden Brettchen fixiert, indem wir einen starken Stift durch den Humerus knapp oberhalb des Ellenbogens, einen zweiten durch den Carpus trieben, ohne Nerven oder Gefässe zu verletzen. Die zurückpräparierte Haut war ausserdem an einigen Stellen mit Stiften fixiert.

Zunächst haben wir den Versuch am Musculus flexor digitorum communis profundus durchgeführt. Zu diesem Behufe wurde die vorher verschlossene Hautwunde am Thorax wieder eröffnet, der Wattebausch entfernt und die Nerven auf Platinelektroden gelegt. Der um die Sehne des Muskels geschlungene Seidenfaden war über eine Rolle geleitet und mit dem Gad'schen Spannungsmesser verbunden, dessen Schreiber an einer vertikal stehenden Kymographiontrommel die Ausschläge mit der schon früher angegebenen Vergrösserung verzeichnete.

Wir gingen in derselben Weise vor wie bei den Versuchen am Musculus cricothyreoideus, bestimmten die maximale Reizstärke für jeden der beiden Nerven und reizten nun dieselben zuerst einzeln und dann gleichzeitig.

Hier ergab sich nun auffallenderweise durchwegs das entgegengesetzte Resultat wie bei den Versuchen am Kehlkopfmuskel. Reizten wir den Nervus cervicalis VIII allein, so erhielten wir als Ausdruck der Spannung der Muskelfasern einen gewissen Ausschlag; das gleiche trat bei Reizung des Nervus thoracalis I ein. Waren die Ausschläge hierbei gleich, so erhielten wir dann bei gleichzeitiger Reizung beider Nerven einen Ausschlag, der ebenso gross war wie jeder der beiden früheren. Waren bei Einzelreizung die Zuckungshöhen verschieden gross, so erhielten wir bei gleichzeitiger Reizung beider Nerven einen

1) W. Krause, l. c.

Ausschlag, welcher dem grösseren der beiden früheren Ausschläge gleich war. Niemals erhielten wir eine Summation der Ausschläge.

Die Deutung der Versuchsergebnisse ist eine einfache in jenen Fällen, in welchen die drei Spannungszuckungen, die wir bei Einzelreizung der beiden Nerven und bei gleichzeitiger Reizung derselben

M.flex.prof.

R.A.-6

8. 1. 8+1.



Fig. 6. Versuch am Musculus flexor digitorum comm. profundus vom 5. Dezember 1906. Kaninchen, 2,40 kg. Maximale Reizstärke bei R.-A. = 6. 8 = Zuckung bei alleiniger Reizung des Nervus cervicalis VIII. 1 = Zuckung bei alleiniger Reizung des Nervus thoracalis I. 8 + 1 = Zuckung bei gleichzeitiger Reizung beider Nerven. Die in Pausen von je $\frac{1}{2}$ Minute verwendeten Reize waren Öffnungsschläge.

erhalten, untereinander gleich gross sind. Diese Versuche weisen darauf hin, dass die Verteilung der Nn. cervicalis VIII und thoracalis I im M. flexor digitorum communis profundus nach dem zweiten von Gad angegebenen Schema stattfindet, dass nämlich „von den Nervenendigungen jeder Muskelfaser ein Teil der Gruppe *a*, ein anderer Teil der Gruppe *b* angehört“. Auf unseren speziellen Fall angewendet heisst dies, dass jede Faser des M. flexor dig. comm. profundus sowohl mit einer Nervenfasern des achten Cervicalnerven als auch mit einer des ersten Thoracalnerven in Verbindung tritt. Bedingung für das Gelingen des Versuches ist es

natürlich, die Nerven bei maximaler Reizstärke zu erregen, damit alle Muskelfasern auch bei Reizung eines Nerven für sich allein mit maximaler Kontraktion antworten.

Musc.flex.prof.

R.A.-8

8. 1. 8+1.



Fig. 7. Versuch am M. flexor dig. comm. profundus vom 10. Januar 1907. Kaninchen, 2,10 kg. Maximale Reizstärke bei R.-A. = 8. Bezeichnung und Reizintervalle wie oben.

R.A.-8.

8. 1. 8+1. 8. 1. 8+1.



Musc.flex.subl.

Fig. 8. Versuch am M. flexor digitorum comm. sublimis vom 10. Januar 1907. Kaninchen, 2,10 kg. Maximale Reizstärke bei R.-A. = 8. Bezeichnung und Reizintervalle wie oben.

Etwas komplizierter, aber doch auch ganz klar ist die Deutung jener Versuche, bei welchen die Spannungszuckung nach Reizung des ersten Thoracalis grösser ist als nach Reizung des achten Cervi-

calis, und die Zuckung bei gleichzeitiger Reizung beider Nerven ebenso gross ist wie bei der des Nervus thoracalis I für sich allein. Man kann dieses Resultat nur dahin deuten, dass alle Muskelfasern vom N. thor. I und ein Teil derselben ausserdem noch vom N. cerv. VIII innerviert werden.

Die Versuche am *Musculus flexor digitorum communis sublimis* lieferten stets dieselben Resultate wie die eben vom *M. profundus* geschilderten, so dass auch für diesen Muskel das Erwähnte volle Giltigkeit hat.

Um auch diese Versuchsergebnisse — sowie wir es beim *Musculus cricothyreoideus* getan hatten — noch anderweitig zu kontrollieren, gingen wir nun zu der Methode der Belastungszuckungen über. Die Versuchsanordnung blieb die gleiche; nur wurde der Seidenfaden, der um die Sehne des betreffenden Muskels geschlungen war, über eine Rolle geleitet, durch ein Gewicht gespannt und mit dem Schreiber verbunden, der am horizontal rotierenden Kymographion schrieb; die Anordnung war also wieder eine isotonische.

Nach Aufsuchung der maximalen Reizstärke erregten wir wieder jeden der beiden Nerven einzeln so lange, bis bei allmählicher Steigerung der Gewichte keine Zuckung mehr erfolgte; auch bei gleichzeitiger Reizung der beiden Nerven blieb jetzt die Zuckung aus, ob wir den einen oder den anderen Muskel zum Versuch verwendeten. Es ist also dieses Resultat mit dem bei den Versuchen mit isotonischer Zuckung gefundenen vollständig übereinstimmend. Um uns zu überzeugen, dass die Nerven noch erregbar seien, verminderten wir die Belastung, wobei wir bei Einzelreizung wieder deutliche Zuckung erhielten.

In den 14 Versuchen, die am *Musc. flexor digitorum communis profundus* angestellt wurden, erhielten wir zehnmal das Resultat, dass die Ausschläge, welche wir bei Einzelreizung der beiden Nerven und bei gleichzeitiger Reizung derselben erhielten, untereinander vollkommen gleich waren. Viermal war der Ausschlag bei Reizung des ersten Thoracalnerven grösser als der bei Reizung des achten Cervicalnerven; der auf gemeinsame Reizung beider Nerven erfolgende Ausschlag war dem bei alleiniger Reizung des ersten Thoracalnerven erhaltenen gleich. Der *Musc. flexor digitorum communis sublimis* wurde erst später in den Bereich unserer Betrachtungen gezogen; bei den vier Versuchen, die wir an demselben anstellten, erhielten wir stets bei Reizung des ersten Thoracalnerven einen

grösseren Ausschlag als bei Reizung des achten Cervicalnerven; bei gemeinsamer Reizung beider Nerven entsprach die Zuckung der grösseren der beiden Einzelzuckungen.

Um die Wirkung von Stromschleifen auszuschliessen, die entweder durch den gemeinsamen Stamm oder durch das Rückenmark verlaufen könnten, stellten wir zwei Arten von Kontrollversuchen an.

Wir legten an einen der Nerven peripher von den Platinelektroden eine Kälteelektrode an und machten diesen Nerven hierdurch vorübergehend unerregbar. Die Kälteelektrode bestand aus einem Kupferdraht, der in eine Kältemischung tauchte. Wir reizten nun die beiden Nerven einzeln in gewissen Zeitintervallen und überzeugten uns dadurch von dem Fortschreiten der Durchfrierung. Auf der Höhe derselben reagierte der durchgefrorene Nerv gar nicht mehr, während der andere bei Reizung eine Zuckung des Muskels verursachte. Dann hoben wir die Kälteeinwirkung wieder auf und konnten sehen, dass der durchgefrorene Nerv seine frühere Reaktionsfähigkeit wieder annahm. Stromschleifen wären auch durch die Durchfrierung nicht gehindert worden, auf den andern Nerven überzugehen.

Stromschleifen durch das Rückenmark schlossen wir durch folgenden einfachen Versuch aus. Wir reizten den Nervus cervicalis VIII und den Nervus thoracalis I auf die gewöhnliche Weise zuerst einzeln und dann gleichzeitig und erhielten Zuckungen von bestimmter Höhe. Hierauf durchschnitten wir die beiden Nerven möglichst weit zentral und reizten die peripheren Stümpfe. Die dabei erhaltenen Zuckungen waren mit den früheren vollständig übereinstimmend.

Alle Versuchsergebnisse — sowohl die durch isotonische Zuckung als auch die durch das isometrische Verfahren erzielten — weisen also darauf hin, dass das Schema der Nervenverteilung beim *Musculus flexor digitorum communis profundus* und *sublimis* des Kaninchens ein anderes ist als das für den *Musculus cricothyreoideus* nachgewiesene. Während die Faserverteilung der beiden Nerven in dem letzteren Muskel nach demselben Schema stattfindet, wie es Gad für den *Gastrocnemius* des Frosches nachgewiesen hat, finden wir bei der Innervation der beiden Fingerbeuger das gegenteilige Verhalten in der Verteilung der Nervenfasern. Der *Musculus cricothyreoideus* des Kaninchens zerfällt gleichsam in zwei Teile, von welchen der eine ausschliesslich vom Nervus laryngeus medius, der andere ausschliesslich vom Nervus laryngeus superior versorgt wird.

Die Innervation der beiden gemeinsamen Fingerbeuger beim Kaninchen können wir uns hingegen nach den erhaltenen Versuchsergebnissen nur so vorstellen, dass der eine der beteiligten Nerven sämtliche Muskelfasern innerviert und der andere dieses entweder auch tut oder, wenigstens in gewissen Fällen, einen grossen Teil der schon vom ersten Nerven mit Endplatten versorgten Muskelfasern auch mit solchen versieht. Die doppelt innervierten Muskeln des Warmblüters werden nicht alle nach dem Schema innerviert, wie es seinerzeit Gad für den *Musc. gastrocnemius* des Frosches festgestellt hat. Wir haben vielmehr beim Warmblüter auch doppelt innervierte Muskeln gefunden, deren Innervation nach dem zweiten Schema erfolgt.

Zum Schlusse sei es uns noch gestattet, Herrn Hofrat Exner, der uns die Anregung zu dieser Arbeit gab und dieselbe förderte, unsern wärmsten Dank auszusprechen, ebenso dem Assistenten am Institute, Herrn Dr. Carl Schwarz, der uns sowohl bei der Zusammenstellung der Versuchsanordnung als auch während der Ausführung der Versuche in liebenswürdigster Weise unterstützte.
