XXIII.

Über die Lokalisationen motorischer Funktionen im Rückenmark. *)

Von

Michael Lapinsky,

Professor an der St. Wladimir-Universität zu Kiew.

(Mit 4 Abbildungen.)

M. H.! In der letzten Zeit sind einige Versuche unternommen worden, die Zentren für motorische Funktionen im Rückenmark zu bestimmen.

Ein Teil der Autoren löst diese Aufgabe in der Weise, dass sie im Rückenmark denjenigen Abschnitt bezeichnen, an dem sich nach Entfernung einer ganzen Extremität gewisse Veränderungen bemerkbar machen. Dem Herd der dabei veränderten Zellen wird die Bedeutung eines allgemeinen Zentrums für die ganze Muskulatur der betreffenden Extremität und für alle ihre Funktionen zugeschrieben.

Derartige Arbeiten wurden von Vulpian⁹¹), Clarke¹³) Prevost-David⁵⁹), Kahler-Pick³⁶), Edinger¹⁹), Sahli⁹⁹), Hayem-Gilbert³¹), Ballet²), Menakon⁵²), Erlitzky²⁰), Flatau^{24, 25}), Dejerine-Major^{15b}), Campbell¹²), Marinesco⁴³), Dreschfeld¹⁷), Reynolds⁶⁴), Friedländer-Krause²⁶), Gentzmer²⁹), Homen³⁵), Pelizzi⁵⁸), Redlich^{61, 62}), Sibelius⁷⁷), Souques-Marinesco⁷⁹), Strohmayer⁸³), Vassale et Donaggio⁹⁰) und Wille⁹⁴) ausgeführt.

Andere Forscher, die sich mit einer solchen allgemeinen Bestimmung nicht begnügen wollen und die bestrebt waren, die Lokalisation detaillierter darzustellen, fanden in diesem allgemeinen Zentrum einige sekundäre, isoliert liegende Zellkonglomerate, von denen jedes ein besonderes Segment der betreffenden Extremität — die Hand, Vorderarm, Arm, Schultergürtel, oder Fuss, Unterschenkel u. s. w. versorgt.

Jedes dieser sekundären Segmentzentren besitzt die Form einer senkrechten Säule und leitet nur alle Funktionen des betreffenden Körpersegments.

Die Anordnung dieser Säulen im Rückenmark hängt von ihrer Funktion ab und geschieht nach einem bestimmten Gesetze, nach dem die am meisten distal gelegenen Segmente der betreffenden Extremität ihre Zentren in derjenigen Säule haben, welche sich in den hin-

*) Vorgetragen in der Kiewer Physico-mediz. Gesellsch. am 20. XI. 1903.

tersten und lateralsten Abschnitten des Vorderhorns befindet, während die Zentren der proximalen Segmente derselben Körperteile in den medialen Säulen liegen. Jede dieser Säulen ist von den benachbarten getrennt und bildet eine selbständige Einheit.

Die Isoliertheit der segmentären Zentren äussert sich nach der Meinung der Autoren beim Menschen am krassesten im Verlauf pathologischer Prozesse im Rückenmark. Die Erkrankung derartiger grauer Rückenmarkssäulen äussert sich klinisch in Form von Lähmung, Ausschlag oder Muskelatrophie, welche dann nur das bestimmte Segment der Extremität betrifft. Die normalen Gewebe der benachbarten Segmente sind dann von den kranken Teilen durch eine mehr oder minder zirkuläre Linie getrennt, welche die Axe des betreffenden Segments unter einem rechten Winkel kreuzt.

Dieses von Brissaud^{7,8,9,10)} vorgeschlagene System der spinalen Lokalisationen wurde auch von anderen Autoren unterstützt und auf verschiedene Weise illustriert. Zu diesen Forschern zählen u. A. Collins¹⁴⁾, Hammond³²⁾, van Gehuchten^{87,88,89)}, Drouin¹⁸⁾, de Buck^{87,88)}, de Neeff¹⁶⁾, Marinesco⁴⁸⁾.

Das Bedürfnis, Zentren für speziellere Bewegungen aufzustellen, veranlasste wiederum die Autoren, aus den allgemeinen Zentren für die Extremitäten, resp. für einzelne Segmente derselben weitere Kerne auszuscheiden, welche nur einige funktionell abgesonderte Muskelgruppen des betreffenden Segments innervieren.

Entsprechend dieser Auffassung behaupteten einige Autoren, dass es spezielle Zentren für Beuger oder Strecker des Vorderarms u. s. w. gibt, wobei sie die Beuger nach innen von den Streckern lokalisierten.

Hierher gehören die Beobachtungen von Marinesco⁶⁸⁾, Sano⁹⁹⁾ und Collins¹⁷⁾.

Wir stossen ferner auf einen Versuch, im Rückenmark noch detailliertere Innervationspunkte, nämlich Zentren für einzelne Muskeln zu finden.

Nach dieser Auffassung besitzt jeder einzelne Muskel ein besonderes Zentrum, das in einer Zellgruppe zu liegen kommt.

Diese Lehre wurde von Sano^{68,70)} geschaffen.

Es existieren endlich auch solche Arbeiten, in denen die Autoren bestrebt sind, im Rückenmark Zentren für einzelne Nervenstämmen zu bestimmen und auf diese Weise die Frage der spinalen Lokalisationen motorischer Funktionen zu lösen.

Hierher gehören die Untersuchungen von Knappe^{37,38)} Marinesco⁴⁵⁾, Goldstein-Pahron⁵⁶⁾, Popesco⁵⁵⁾, Biedl⁶⁾, Sano⁶⁹⁾, Souques⁷⁹⁾ und Sträussler⁸²⁾.

Bei dem Studium der hier zitierten Literatur gewinnt man allmählich die Überzeugung, dass es im Rückenmark verschiedene Zentren gibt, von denen ein Teil einzelne Segmente der Extremitäten, ein anderer Teil Gruppen funktionell abgesonderter Muskeln, ein dritter Teil einzelne Nervenstämme oder Muskeln u. s. w. versieht.

Von dieser Überzeugung durchdrungen, gewöhnt man sich an den Gedanken, dass jede grössere oder kleinere anatomische Einheit des betreffenden Körperteils, sei es ein ganzes Segment der Extremität oder nur eine bestimmte Muskelgruppe dieses Segments oder ein dort verlaufender Nerv, kurz jedes von seinen Nachbarn anatomisch isolierte Organ ein besonderes, ebenfalls anatomisch isoliertes Zentrum im Rückenmark besitzt.

Nach Analogie mit der Anordnung vieler cerebraler Zentren, zum Teil auch mit Rücksicht auf den Bau der Kerne für die Hirnnerven stellen wir uns die geschilderten Zentren als Konglomerate eng zusammengefügtter Zellen vor, die eine bestimmte Form besitzen und überall leicht von den benachbarten Zentren, resp. von den anderen Zellkonglomeraten zu trennen sind.

Das Rückenmark denken wir uns nun auf Grund der Untersuchungen Brissaud's und seiner Anhänger dementsprechend aus vielen abgesonderten und von einander getrennten Säulen oder Zentren bestehend, wobei jede dieser Säulen alle Funktionen der betreffenden anatomischen Einheit des Körpers leitet.

Bei experimenteller^{38a, 38b}) Prüfung der Richtigkeit dieser Vorstellung, die auf Grund der zitierten Literatur entsteht, finden wir anstatt der erwarteten Zellkonglomerate in Gestalt senkrechter Säulen Zellgruppen, die in verschiedenen Ebenen liegen und deren lange Durchmesser sich in verschiedenen Richtungen erstrecken. Schon deshalb erinnern diese Gruppen keineswegs an Säulen.

Durchschneidet man Nervenstämme in verschiedenen Höhen der betreffenden Extremität und sucht man dann im Rückenmark nach Zellen, die auf diese Operation reagieren, so ist es möglich, die Beziehungen dieser Zellen zu diesem oder jenem anatomischen Teil der betreffenden Extremität sehr genau zu bestimmen. Doch befinden sich die Resultate, die man dabei erhält, in auffallendem Widerspruch zu den angeführten Konstruktionen anderer Autoren.

Jedenfalls finden wir in der grauen Rückenmarkssubstanz keine jener besonderen Zellsäulen, von denen die im lateralen Winkel des Vorderhorns liegende nur die Funktion der Hand, die daneben liegende hingegen nur die Funktion des Oberarms oder die des Schultergürtels oder die des Unterarms leiten sollte.

Wir sehen im Gegenteil, dass diejenigen zahlreichen Gruppen —

nicht Säulen —, denen z. B. die Funktion der Innervation der Hand zugeschrieben wird, auch an der Innervation des Oberarms beteiligt sind, während umgekehrt die Zellanhäufungen, welche den Schultergürtel innervieren, gleichzeitig auch die Handmuskeln versehen.

Wir finden demnach die segmentären Zentren nicht, die wir auf Grund der Arbeiten von Brissaud, de Neeff, van Gehuchten und anderen zu finden erwarteten.

Ebenso vergeblich suchen wir nach einem besonderen Kern für die Beuger oder Strecker des Oberarms.

Kerne, die z. B. nur für die Extensoren des Unterarms bestimmt wären und die an der Innervation von Muskeln, denen andere Funktionen obliegen, oder an der Innervation von Extensoren aus anderen Abschnitten der Extremität nicht teilgenommen hätten —, solche spezielle und abgesonderte Kerne finden wir nicht. Die nach dieser Untersuchungsmethode auffindbaren Nervenzellkerne erfüllen mehrere Aufgaben und können zu gleicher Zeit mehrere Muskelgruppen verschiedener Funktion versorgen.

Ebensowenig sind solche isolierte Kerne vorhanden, welche ausschliesslich einen bestimmten Nervenstamm versorgen, nur zu diesem in speziellen Beziehungen stehen und mit ihren zelligen Elementen an der Innervation anderer benachbarter oder entfernter Stämme nicht beteiligt sind. Wir sehen im Gegenteil, dass eine und dieselbe Zellgruppe gleichzeitig vielen peripheren Nerven gehört.

Wir finden auch keine Tatsachen, welche die Auffassung von Sano bestätigen könnten, wonach jeder Muskel ein besonderes Zentrum besitzt.

Was die kleinen Muskeln, wie die Hand- oder die Fuss-, oder die kleinen Rückenmuskeln betrifft, so sind bis jetzt darüber keine Arbeiten veröffentlicht worden, welche bestrebt wären, das Vorhandensein besonderer Zentren für jeden einzelnen Muskel zu beweisen; die grösseren Muskeln, wie z. B. die *Mm. latissimus dorsi*, *serratus anticus major*, *quadrices* und andere mehr werden von mehreren Zellgruppen zugleich innerviert, doch versorgt jede dieser Zellgruppen daneben auch andere Muskelmassen.

Kontrollversuche zeigen also, dass es keine isolierten Zentren für verschiedene anatomische Einheiten des Körpers gibt.

Alle diese Zentren von verschiedener Grösse und verschiedener Form, die auf Grund der Reaktionsveränderungen der Rückenmarkszellen nach Durchschneidung der Nervenstämmen, oder nach Exstirpation einzelner Muskeln, oder nach Amputation oder Exartikulation

ganzer Extremitäten oder gewisser Teile derselben bestimmt werden, besitzen keine festen Grenzen.

Sie bestehen aus einzelnen Zellen, welche zu vielen in verschiedenen Höhen des Rückenmarks liegenden Vorderhorngruppen gehören. Daher kommt es, dass man in beliebigen Abschnitten des Rückenmarks mehrere verschieden benannte Zentren finden kann, die mit den benachbarten Zentren verschmelzen, sich in sie versenken und dadurch ihre Individualität vollständig verlieren.

Die Zentren für einzelne Segmente oder für funktionell abgesonderte Muskelgruppen, oder für einzelne Nervenstämmen sind daher von einander gar nicht zu unterscheiden. Sie beginnen in denselben Zellgruppen und unterscheiden sich von einander nur durch die Zahl und die Art der Kombination der letzteren.

Eine und dieselbe Gruppe kann in neuen Kombinationen mit einigen anderen Gruppen gleichzeitig an vielen Zentren beteiligt sein. Finden wir in der grauen Substanz des Rückenmarks diese oder jene Gruppe, so dürfen wir sie nicht als Zentrum irgend einer anatomischen Einheit des Körpers betrachten, denn sie gehört nicht ausschliesslich einer dieser Einheiten, sondern nimmt gleichzeitig an der Innervation mehrerer derselben teil.

Nach den Kontrolluntersuchungen kann man nur das Vorhandensein der Zentren für grössere anatomische Einheiten als bewiesen betrachten, wenn man jene umfangreichen Herde veränderter Zellen der grauen Rückenmarkssubstanz, welche nach hohen Amputationen oder Exartikulationen von Beinen oder Armen entstehen, als Zentren ansehen darf.

Aber auch die Herde leiden — so wie sie von Flatau, Sibelius, Prevost-David und anderen beschrieben worden sind — an denselben Mängeln, wie die kleineren Zentren.

Auch ihre Grenzen sind sehr unbestimmt, da einerseits in die Randteile dieser Zentren die benachbarten Kerne für die Muskeln des Beckens, des Halses und des Rumpfes hineinwachsen, andererseits auch diese Zentren für die Extremitäten sehr unebene Ränder besitzen, von denen sich viele Ausläufer und Sprossen absondern, welche über das Gebiet ihrer Kerne hinausgehen und in die benachbarten Kerne eindringen.

Die vorhandenen Systeme der Lokalisationen entsprechen demnach keineswegs den an sie gestellten Anforderungen.

Und doch macht es eine Reihe von mit Hilfe der Physiologie, Anatomie und durch klinische Beobachtungen gewonnenen Tatsachen im höchsten Grade wahrscheinlich, dass im Rückenmark Zentren vor-

handen sein müssen, welche die Muskeln des Körpers versorgen und ihre Ernährung und Bewegungen regulieren.

Dieselben Tatsachen rufen in uns die Überzeugung wach, dass es im Rückenmark eine gewisse und zwar sehr vollkommene Lokalisation gibt, deren Grundlage von der Natur nach besonderen Prinzipien geschaffen ist, vielleicht nach denselben, durch welche nach Ramon y Cajal solche materielle Vorteile für den Organismus erreicht werden können, wie Ersparnis an Zeit, Material und Utilisierung des Raumes.

Wir unsererseits vermuten, dass diese allgemeinen Aufgaben der Anordnung von Zentren im Rückenmark, die Ramon y Cajal der Natur zuschreibt, für die Extremitäten am besten dann verwirklicht werden können, wenn als Grundlage der Zentralisation nicht eine anatomische Einheit des Körpers, nicht ein Segment der Extremität, nicht ein Nervenstamm oder ein einzelner Muskel, sondern die Funktion dienen wird, welche die betreffenden Muskeln auszuüben haben.

Dieses Prinzip spinaler Lokalisation nach Funktionen ist von den Prinzipien, zu denen die Autoren bis jetzt ihre Zuflucht nahmen, insofern verschieden, als es eine Teilung des Rückenmarks in eine grosse Zahl von Punkten zur Grundlage hat, die den vorhandenen Verrichtungen des Organismus entsprechen. Und da schon allein die motorischen Verrichtungen z. B. eine grosse Verschiedenheit bieten, so müssen auch die sie versorgenden Rückenmarkszentren multiple sein.

Zu diesem Schlusse führen auch verschiedene Betrachtungen, denen die folgenden Ausführungen gewidmet sind.

I.

Sowohl unsere eigenen Untersuchungen, als auch die von anderen Autoren gewonnenen Resultate berechtigen uns zu der Annahme, dass jede Zellgruppe der Hals- und Lendenanschwellung ein besonderes Zentrum für sich bildet, von dem aus viele in verschiedenen Abschnitten der betreffenden Extremität liegende Muskeln verwaltet werden.

An anderer Stelle beschrieben wir eine Reihe von Versuchen^{38b, 38c}) an Hunden, bei denen wir einzelne Nervenstämmen der vorderen und hinteren Extremitäten in verschiedenen Höhen durchschnitten hatten, um nachher darüber Auskunft zu gewinnen, wie sich die einzelnen Zellgruppen der Vorderhörner zu jedem dieser Nervenstämmen verhalten.

Bei der Bearbeitung der Präparate nach Nissl überzeugten wir uns damals, dass in den meisten Fällen jede Zellgruppe der Hals- oder Lendenanschwellung mit mehreren Nervenstämmen zusammenhängt.

Ohne den Leser mit Einzelheiten*) ermüden zu wollen, bringen wir hier nur eine allgemeine Übersicht der Tatsachen, welche während dieser Versuche an Hunden gewonnen sind.

Indem wir unsere Aufgabe auf die 6., 7. und 8. Cervikalsegmente, auf das 1. Dorsalsegment und die 4., 5., 6. u. 7. Lumbalsegmente beschränken, sehen wir folgendes.

6. Cervikalsegment.

Zellgruppen des 6., 7. und 8. Segments der Halsanschwellung und des 1. Dorsalsegments

Nucleus anterior medianus versorgt gleichzeitig die Nerven	<div> <div>N. phrenicus.</div> <div>N. thoracicus anterior.</div> <div>N. musculo-cutaneus.</div> </div>
Nucleus intermedius hängt zusammen mit	<div> <div>Nn. subscapulares.</div> <div>N. axillaris.</div> <div>N. musculo-cutaneus.</div> <div>N. radialis.</div> </div>
Nucleus anterior externus hängt zusammen mit	<div> <div>Nn. subscapulares.</div> <div>N. axillaris.</div> </div>
Nucl. posterior internus	<div> <div>N. musculo-cutaneus.</div> </div>
Nucleus externus	<div> <div>N. radialis.</div> </div>

7. Cervikalsegment.

Nucleus anterior medianus	<div> <div>Nn. subscapulares.</div> <div>N. thoracicus longus.</div> <div>N. musculo-cutaneus.</div> </div>
Nucleus centralis	<div> <div>Nn. subscapulares.</div> <div>N. thoracicus anterior.</div> <div>N. axillaris.</div> <div>N. musculo-cutaneus.</div> <div>N. medianus.</div> <div>N. radialis.</div> </div>

*) Diese Details sind in unseren Arbeiten „Über die spinalen Zentren für die einzelnen Segmente der Extremitäten“ (Archiv f. Physiologie, redigiert von Engellman 1903) und „Die spinalen Zentren einzelner Nervenstämm“ (Monatschrift f. Neurologie 1903) nachzulesen. Indem wir einzelne Zellgruppen der Vorderhörner Kerne (Nucleus) nennen, unterscheiden wir mit anderen Autoren zusammen am vorderen Rande des Vorderhorns — je nach der Höhe desselben — Nucl. anterior, medianus und externus, am lateralen Rande: Nucleus externus und intermedius, am hinteren: Nucl. posterior internus und Nucl. post. externus s. lateralis, im Zentrum des Vorderhorns: den Nucl. centralis.

Nucleus anterior externus	{ Nn. subscapulares.
	{ N. axillaris.
	{ N. radialis.
Nucleus posterior internus	{ N. musculo-cutaneus.
	{ N. medianus.
Nucleus posterior lateralis	{ N. radialis.
	{ N. ulnaris.
Nucleus intermedius	{ N. thoracicus anterior.
	{ N. axillaris.
	{ N. radialis.
	{ N. medianus.

8. Cervikalsegment.

Nucleus centralis	{ N. thorac. anterior.
	{ N. axillaris.
	{ N. radialis.
	{ N. ulnaris.
	{ N. medianus.
Nucleus posterior internus	{ N. medianus.
Nucleus anterior externus	{ N. axillaris.
Nucleus posterior externus	{ N. radialis.
	{ N. ulnaris.
	{ N. medianus.
Nucleus intermedius	{ N. axillaris.
	{ N. ulnaris.
	{ N. medianus.
	{ N. radialis.

1. Dorsalsegment.

Nucleus centralis	{ N. radialis.
	{ N. ulnaris.
	{ N. medianus.
Nucleus posterior lateralis	{ N. radialis.
	{ N. ulnaris.
	{ N. medianus.
	{ N. thoracicus anterior.
Nucleus posterior internus	{ N. medianus.
Nucleus intermedius	{ N. ulnaris.

4. Segment der Lendenanschwellung.

Zellgruppen des 4., 5., 6 und 7. Segments der Lendenanschwellung

Nucl. centr. hängt zusammen mit	{ N. curalis.
	{ N. glut. superior.
	{ N. glutaenus inferior.
Nucleus anterior externus	{ Äste zu den Mm. bice.
	{ femoris, semitendinosus,
	{ semimembranosus.
	{ N. curalis.
	{ N. obturatorius.
	{ N. glutaenus superior.
	{ N. glutaenus inferior.
Nucleus posterior lateralis	{ Äste zu den Mm. biceps
	{ femoris, semitendinosus,
	{ semimembranosus.
	{ N. obturatorius.
	{ N. tibialis.
	{ N. cruralis.

5. Lumbalsegment.

Nucleus centralis	{ N. cruralis.
	{ N. obturatorius.
	{ N. tibialis.
	{ N. glutaenus superior.
	{ N. glutaenus inferior.
Nucleus anterior externus	{ Äste zu den Mm. biceps
	{ fem., semitendinosus,
	{ semimembranosus.
	{ N. obturatorius.
	{ N. peroneus.
	{ N. glutaenus superior.
	{ N. glutaenus inferior.
Nucleus posterior externus	{ Äste zu den Mm. biceps
	{ femoris, semitendinosus,
	{ semimembranosus.
	{ N. cruralis.
	{ N. obturatorius.
	{ N. tibialis.
	{ N. peroneus.

6. Lumbalsegment.

Zellgruppen des 4., 5., 6. und 7. Segments der Lendenanschwellung.

Nucleus anterior internus	{ N. glutaesus superior. N. glutaesus inferior. Äste zu den Mm. biceps femoris, semitendinosus und semimembrosus. N. obturatorius.
Nucleus centralis	{ N. tibialis. N. peroneus.
Nucleus anterior medianus	{ N. glutaesus superior. N. glutaesus inferior. Äste zu den Mm. biceps femoris, semitendinosus und semimembranosus. N. obturatorius. N. peroneus.
Nucleus anterior externus	{ N. glutaesus superior. N. glutaesus inferior. Äste zu den Mm. biceps femoris, semitendinosus und semimembranosus. N. tibialis. N. peroneus.
Nucleus intermedialis	{ N. peroneus. Obere Äste des N. ischia- dicus.
Nucleus posterior externus	{ N. glutaesus superior. N. glutaesus inferior. Äste zu den Mm. biceps femoris, semimembrano- sus und semitendinosus. N. obturatorius. N. tibialis. N. peroneus.

7. Lumbalsegment.

Zellgruppen des 4., 5., 6. und 7. Segments der Lendenanschwellung.	Nucleus centralis	N. gluteus superior.
		N. gluteus inferior.
		Äste zu den Mm. biceps femoris, semitendinosus und semimembranosus.
		N. peroneus.
	Nucleus anterior externus	N. gluteus superior.
		N. gluteus inferior.
		Äste zu den Mm. biceps femoris, semimembranosus, semitendinosus.
		N. tibialis.
	Nucleus externus	N. peroneus.
		N. gluteus superior.
		N. gluteus inferior.
		Äste zu den Mm. biceps femoris, semitendinosus und semimembranosus.
		N. tibialis.
		N. peroneus.

Die angeführten Resultate unserer Untersuchungen können — soweit sie die Beziehungen verschiedener Kombinationen von Zellgruppen der Halsanschwellung zu den peripheren Nerven betreffen — der leichteren Übersicht wegen in einem Schema (Nr. 1) dargestellt werden.

Der grösseren Vollständigkeit halber, hauptsächlich aber um die Verhältnisse der Wurzeln der Nn. subscapulares und des N. thoracicus longus darzustellen, sind in dieses Schema auch die Beziehungen der Kerne des 5. Cervikalsegments zu den erwähnten Nerven eingetragen.

Die entsprechenden Verhältnisse der Zellgruppen der lumbosakralen Anschwellung sind in dem folgenden Schema (Nr. 2) zusammenfasst, das eigentlich nur die 4.—7. lumbalen Abschnitte des Rückenmarks darstellt und in welches nur der Vollständigkeit halber das 2. und 3. Lumbal- und das 1. u. 2. Sakralsegment einigermaßen eingetragen sind.

Wir erschen daraus, dass, abgesehen von je zwei Zellgruppen des Vorderhorns im 6., 8. Cervikal- und 1. Dorsalsegment und je einer Gruppe im 4. und 6. Lumbalsegment, alle*) hier aufgezählten

*) Die in unserer Übersicht verzeichneten verbindungsarmen Zellgruppen, deren

Schema Nr. 1.

Gruppen gleichzeitig mit 2, 3, oder 4 Nervenstämmen zusammenhängen und dass die Nuclei posterior externus des 5. Lumbalsegments

Energie nur durch je einen Nervenstamm entladen wird (wie z. B. der Nucleus intermedius des 6. Lumbalsegments oder der Nucl. anterior externus des 8. Cervikalsegments), bedürfen einer gewissen Erklärung. Wir haben nämlich Grund, an der realen Existenz solcher nur wenig tätiger Zellgruppen zu zweifeln, weil hier nur die Beziehungen der Hals- und Lendenanschwellung zu den Nerven der oberen und unteren Extremitäten in Betracht gezogen sind, während die Beteiligung der Zellgruppen dieser Anschwellungen an der Versorgung der Nervenstämmes des Rumpfes, auch seiner nächsten Abschnitte, gänzlich ausser acht gelassen worden ist. Infolge dessen können wir annehmen, dass die Zellgruppen, die nur spärliche Verbindungen zu besitzen scheinen, in Wirklichkeit eine grössere Anzahl von Nervenstämmen versorgen, welche wir aus dem Gebiete unserer Untersuchungen eliminiert haben.

und centralis des 7. Cervikalsegments sogar mit 5 resp. 6 peripheren Nervenstämmen gleichzeitig verbunden sind.

Da aber zu jedem dieser Nerven einige Muskeln gehören, so ist es klar, dass jede Zellgruppe der Lenden- und der Halsanschwellung mit einem gewissen Teil dieser Muskeln, welche vom betreffenden Nervenstamm versorgt werden, in Verbindung steht.

Schema Nr. 2.

Die Zahl der Muskeln, die auf diese Weise mit einem bestimmten Kern des Vorderhorns verbunden werden, kann verschieden sein.

Es kann sich dabei um alle Muskeln, welche von einem bestimmten Nervenstamm versorgt werden, oder nur um einige derselben, oder sogar nur um einen einzelnen dieser Muskeln handeln.

Das erstere wird natürlich bei maximaler Beteiligung der be-

treffenden Gruppe an der Entstehung dieses Nervenstammes der Fall sein; andere Kombinationsformen werden bei weniger energischer Versorgung der Gruppe beobachtet. Aber wenn diese Beteiligung auch minimal ausfällt, so ist diese Gruppe doch mit einigen Muskeln verbunden.

So versorgt z. B. der Nucl. posterior extern. des 5. Lumbalsegments gleichzeitig alle motorischen Nerven der unteren Extremität.

Die Verbindungen des Nucleus posterior externus des 5. Lumbalsegments mit den Nervenstämmen und — durch Vermittlung der letzteren — auch mit den Muskeln des Beins.

Die oberen Äste des
Ischiadicus

M. glutaenus medius.
M. glutaenus minimus.
M. glutaenus magnus.
M. tensor fasciae latae.
Mm. gemelli.
M. obturator internus.
M. semitendinosus.
M. semimembranosus.
M. biceps femoris.

N. cruralis

M. sartorius.
M. quadriceps.
M. subcruralis.
(Da die Durchscheidung des Nerven unterhalb des Ligament. Poupartii stattfand, so sind die Mm. psoas, iliacus und pectineus hier nicht berücksichtigt.)

N. obturatorius

Mm. adductores longus, brevis et magnus.
M. gracilis.
(Da der N. obturatorius unterhalb des Foramen obturatorium reseziert worden ist, so ist hier der M. obturator externus nicht verzeichnet.)
M. pectineus.

N. tibialis

Mm. gastrocnemius, soleus, plantaris.
M. popliteus.
M. tibialis posticus.
M. flexor digit com. longus.

Die Verbindungen des Nucl. post. ext. des 5. Lumbalsegments mit den Nervenstämmen u. durch Vermittlung der letzteren auch mit d. Muskeln d. Beins.

N. tibialis

M. flexor halluc. longus.
M. abductor halluc.
M. flexor hallucis brevis.
M. adductor hallucis.
M. abductor quinti.
M. flexor quinti.
M. flexor digit. com. brevis.

N. peroneus

M. tibialis anticus.
M. extensor hallucis longus.
M. extensor digit. com. longus.
Mm. peroneus longus et brevis.
M. extensor digit. com. brevis.
Mm. interossei externi.

In derselben Weise ist auch der Nucleus centralis des 7. Cervikalsegments mit allen Nervenstämmen der oberen Extremität — mit Ausnahme des N. ulnaris — verbunden.

Die Verbindungen des Nucleus centralis des 7. Cervikalsegments mit den Nervenstämmen und — durch deren Vermittlung — mit der Muskulatur des Arms.

Nn. subscapulares

M. teres minor.
M. teres major.
M. infraspinatus.
M. supraspinatus.
M. subscapularis.
M. latissimus dorsi.

Nn. thoracici

M. pectoralis major.
M. pectoralis minor.
M. serratus anticus major.

N. axillaris

M. triceps
M. deltoideus.
M. anconaeus quartus.

N. musculo-cutaneus

M. biceps brachii.
M. coraco-brachialis.
M. brachialis internus.
M. extensor carpi ulnaris.
M. supinator longus.
M. radialis externus primus.
M. radialis externus secundus.
M. abductor pollicis longus.
M. extensor digit. communis.
M. extensor pollicis longus.
M. extensor digiti minimi.
M. extensor pollicis brevis.
M. extensor indicis.

N. radialis

Die Verbindungen des Nuel.
des 7. Cervikal-
segments usw. mit d. Mus-
kulatur des Arms.

N. medianus

M. pronator quadratus.
M. flexor digitorum profundus.
M. flex. pollic. longus.
M. flexor digit. com. sublimis.
M. palmaris longus.
M. pronator teres.
M. flexor pollicis brevis caput
superficiale.
M. opponens pollicis.
Mm. I u. II lumbricales.
M. abductor pollicis brevis.

Wie wir aus diesen Tabellen ersehen, kann jede dieser beiden Zellgruppen durch Vermittlung ihrer Nervenstämmen mit 40 einzelnen Muskeln verbunden sein. Diese mächtige Verbindung der Vorderhornkerne ist möglich — und muss sogar stattfinden — in dem Falle, wenn die Fasern, die diese Gruppen in die Nerven senden, sich in allen von den letzteren versorgten Muskeln verbreiten.

Sollte aber die Beteiligung dieser beiden Gruppen an der Versorgung der Nervenstämmen auch keine maximale sein, sollten sie z. B. an der Innervation nur zu einem Viertel teilnehmen, so wird auch dann jede dieser Gruppen mit zehn Muskeln verbunden sein, die an vielen Segmenten der Extremität gelegen, aber sämtlich dem betreffenden Nerven untergeordnet sind.

Alles, was hier über die beiden Zellkerne der grauen Rückenmarksubstanz gesagt ist, trifft auch für die anderen in unserer Übersicht erwähnten Gruppen zu, wobei die nur mit je einem Nervenstamm verbundenen nicht ausgenommen zu werden brauchen.

Der Unterschied ist hier nur ein quantitativer.

Während die ersteren Gruppen mit zahlreichen Muskeln verbunden sind, welche in mehreren Abschnitten der Extremität gelegen sind, stehen die letzteren mit einer geringen Zahl von Muskeln in Zusammenhang, und zwar handelt es sich hier um solche Muskeln, die auf eine geringere Zahl von Extremitätsegmenten konzentriert sind.

Wir kommen also zu dem Schluss, dass jede Zellgruppe des Rückenmarks, welche mehrere Nervenstämmen gleichzeitig versorgt, durch die letzteren mit mehreren Muskeln zu gleicher Zeit in Verbindung tritt, und zwar handelt es sich dabei um solche Muskeln, welche in verschiedenen Körper- resp. Extremitätsegmenten liegen.

Diese Schlussfolgerung entspricht vollständig den Tatsachen, die uns die Anatomie und Physiologie über die multiplen Verbindungen der Muskeln mit den Rückenmarkswurzeln geliefert hat, und findet

ihre Bestätigung in dem Umstande, dass jeder Muskel von mehreren vorderen Wurzeln innerviert wird.

Wir besitzen höchst glaubwürdige Beobachtungen vieler Autoren, denen zu entnehmen ist, dass einzelne Muskeln gleichzeitig von mehreren Rückenmarkssegmenten innerviert werden.

Schwalbe, Hasse, Ferrier, Bolk, Dufour, Renz, Thorburn, Sherrington, Risien-Russel, Gad, Bernhardt und Martin-Hartwell haben bewiesen, dass nur die kleinsten Rückenmuskeln von je einer vorderen Wurzel innerviert werden, während jeder der meisten anderen Muskeln von vielen solchen Wurzeln versorgt wird.

Die Zahl dieser an der Innervation des einen oder des anderen Muskels beteiligten Wurzeln scheint von der Bestimmung dieses Muskels abzuhängen. Je komplizierter seine Funktion ist und je mehr Faserbündel er erhält (wie z. B. *M. rectus abdominis*), um so mehr Vorderwurzeln sind an seiner Innervation beteiligt.

Diese Verhältnisse sind in der folgenden Tabelle sehr anschaulich geschildert.*)

<i>M. longus colli</i>	wird innerviert von	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. c.
<i>M. longus capitis</i>	" " "	1, 2, 3, 4. c.
<i>M. diaphragma</i>	" " "	3, 4, 5. c.
<i>M. scalenus anterior</i>	" " "	4, 5, 6, 7. c.
<i>M. scalenus posterior</i>	" " "	6, 7, 8. c.
<i>M. scalenus medius</i>	" " "	3, 4, 5, 6, 7, 8. c.
<i>M. genio-hyoideus</i>	" " "	1, 2, 3. c.
<i>M. omo-hyoideus</i>	" " "	1, 2, 3. c.
<i>M. sterno-hyoideus</i>	" " "	1, 2, 3. c.
<i>M. sterno-thyreoideus</i>	" " "	1, 2, 3, 4. c.
<i>M. splenius capitis et cervicis</i>	" " "	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8. c.
<i>M. sterno-cleidomastoideus</i>	" " "	2, 3. c.
<i>M. trapezius</i>	" " "	2, 3, 4. c.
<i>M. levator scapulae</i>	" " "	3, 4, 5. c.
<i>M. rhomboideus major et minor</i>	" " "	4, 5, 6, 7. c.
<i>M. biceps brachii</i>	" " "	4, 5, 6. c.
<i>M. supinator brevis</i>	" " "	4, 5, 6. c.
<i>M. supinator longus</i>	" " "	4, 5. c.
<i>M. teres minor</i>	" " "	4, 5, 6. c.
<i>M. deltoideus</i>	" " "	4, 5, 6. c.
<i>M. serratus posterior</i>	" " "	5, 6, 7. c.

*) Die in dieser Tabelle vorkommenden Buchstaben c, Th., L. S. bedeuten folgendes: c. = cervical, Th. = dorsal, L. = lumbal, S. = sakral.

M. serratus anticus	wird innerviert von	4, 5, 6. c.
M. supraspinatus	" "	4, 5. c.
M. infraspinatus	" "	4, 5. c.
M. pectoralis major	" "	5, 6. c.
M. brachialis internus	" "	5, 6. c.
M. extensor carpi radialis longus	" "	5, 6, 7. c.
M. extensor carpi radialis brevis	" "	5, 6, 7. c.
M. pronator teres	" "	6, 7. c.
M. triceps caput laterale	" "	6, 7, 8. c.
M. triceps caput mediale	" "	7, 8. c.
M. extensor digit. communis . .	" "	6, 7, 8. c.
M. flexor digitorum longus . .	" "	6, 7. c.
M. adductor pollicis	" "	6, 7. c.
M. flexor carpi radialis	" "	6, 7. c.
M. flexor pollicis brevis	" "	0, 7. c.
M. flexor pollicis longus	" "	6, 7. c.
M. adductor pollicis brevis . .	" "	6, 7. c.
M. flexor pollicis brevis	" "	6, 7. c.
M. opponens pollicis	" "	6, 7. c.
M. coraco-brachialis	" "	6, 7. c.
M. extensor pollicis brevis . . .	" "	6, 7. c.
M. abductor pollicis longus . .	" "	6, 7. c.
M. extensor pollicis longus . .	" "	6, 7. c.
M. " indicis proprius . .	" "	6, 7, 8. c.
M. " digit. communis . .	" "	6, 7, 8. c.
M. " carpi ulnaris	" "	6, 7, 8. c.
M. teres major	" "	5, 6, 7. c.
M. subscapularis	" "	5, 6. c.
M. latissimus dorsi	" "	6, 7, 8. c.

M. serratus posterior superior wird innerviert von 1.—4. Th.

M. flexor digitorum profundus	" "	7. 8. c. und I Th.
M. abductor digit. quinti	" "	8. c. und 1. Th.
M. interosseus dorsal. 1, 2, 3, 4	" "	8. c. und 1. Th.
M. " volaris 1, 2, 3 . .	" "	8. c. und 1. Th.
M. lumbricalis 3, 4	" "	8. c. und 1. Th.
M. palmaris brevis	" "	8. c. und 1. Th.
M. pronator quadratus	" "	7, 8. c. und 1. Th.
Mm. intercostales interni	" "	2.—11. Th.
Mm. intercostales externi	" "	2.—11. Th.
M. transversus abdominis	" "	7. Th. und L. 1.

M. obliquus abdominis internus	wird innerviert von	8. Th. und L. 1.
M. obliquus abdominis externus	„ „ „	5.—12. Th.
M. rectus abdominis	„ „ „	5.—12. Th.
M. „ pyramidalis	„ „ „	12. Th. und L. 1.

M. quadratus lumborum	wird innerviert von	L. 1.
M. psoas major	„ „ „	L. 1, 2, 3.
M. sartorius	„ „ „	L. 1, 2, 3.
M. quadriceps	„ „ „	L. 2, 3, 4.
M. adductor longus	„ „ „	L. 2, 3.
M. cremaster	„ „ „	L. 2.
M. adductor brevis	„ „ „	L. 2, 3, 4.
M. gracilis	„ „ „	L. 2, 3, 4.
M. pectineus	„ „ „	L. 2, 3.
M. psoas major et minor	„ „ „	12. Th. 1. 2. 3. 4 L.
M. iliacus	„ „ „	L. 2, 3, 4.
M. tensor fasciae latae	„ „ „	L. 4, 5.
M. biceps femoris	„ „ „	L. 4, 5. S. 1.
M. semimembran. et semitend..	„ „ „	L. 5.
M. tibialis anticus	„ „ „	L. 4, 5. S. 1.
M. gastrocnemius	„ „ „	} L. 4, 5. S. 1, 2.
M. plantaris	„ „ „	
M. soleus	„ „ „	
M. popliteus	„ „ „	} L. 4, 5. S. 1.
M. extens. digit. long. et brevis	„ „ „	
M. „ hallucis long. et brevis	„ „ „	L. 4, 5. S. 1.
M. peroneus longus	„ „ „	L. 4, 5. S. 1.
Mm. peroneus tertius et brevis	„ „ „	L. 4, 5. S. 1.
M. flexor digitorum brevis . . .	„ „ „	} L. 5. S. 1, 2.
M. abductor hallucis	„ „ „	
M. caro-quadrata Sylvii	„ „ „	S. 1, 2.
Mm. 1, 2, 3 interossei extern.		
dorsal	„ „ „	S. 1, 2.
Mm. 1, 2 inteross. intern. plantar.	„ „ „	S. 1, 2.
M. flexor hallucis (lateralis) . .	„ „ „	S. 1, 2.
M. adductor hallucis	„ „ „	S. 1, 2.
M. transversalis plantaris	„ „ „	S. 1, 2.
M. flexor hallucis longus	„ „ „	L. 5. S. 1, 2.
M. flexor digit. comm. longus .	„ „ „	L. 5. S. 1, 2.
Mm. 3, 4 lumbricales	„ „ „	S. 1, 2.
Mm. interossei dorsales	„ „ „	S. 1, 2.

Mm. interossei plantares	wird innerviert von S. 1, 2.
M. abductor digit. quinti	" " " S. 1, 2.
M. opponens	" " " S. 1, 2.
Mm. I, II lumbricales	" " " L. 5. S. 1.
M. transversus perinei profund. "	" " " S. 3.
M. sphincter urethrae	" " " S. 3.
M. levator ani	" " " S. 3, 4.
M. bulbo-cavernosus	" " " S. 3.
M. transversus perinei super- ficialis	" " " S. 3.
M. ischio-cavernosus	" " " S. 3.
M. sphincter ani externus . . .	" " " S. 3, 4.

Aus dieser Tabelle, die ja die Beteiligung der vorderen Wurzeln an der Innervation einzelner Muskeln zeigt, sehen wir auch andererseits, dass jede dieser Wurzeln gleichzeitig mit mehreren Muskeln verbunden ist, deren Lokalisation und Funktion ganz verschieden sein können.

Da aber jede vordere Wurzel als Repräsentantin einiger Zellgruppen des Vorderhorns erscheint, so ist es klar, dass die betreffenden Muskeln auch mit denjenigen Nervenzellkernen verbunden sind, denen die entsprechende Wurzel gehört, wobei auf jeden Kern — je nach der Einteilung — eine grössere oder geringere Zahl von Muskeln kommt.

So versorgt z. B. die 5. Cervikalwurzel 23 Muskeln.

	M. longus colli,
	M. diaphragma,
	M. scalenus anterior,
	M. scalenus medius,
	Mm. splenius capitis et cervicis,
	M. levator scapulae,
	M. rhomboideus,
	M. biceps brachii,
5. Cervikalwurzel	M. supinator brevis,
	M. " longus,
	M. teres major,
	M. " minor,
	M. deltoideus,
	M. serratus posterior,
	M. " anticus,
	M. supraspinatus,
	M. infraspinatus,
	M. pectoralis major,

5. Cervikalwurzel {
 M. brachialis internus,
 M. extensor carpi radialis longus,
 M. extensor carpi radialis brevis,
 M. subscapularis.

Da das 5. Cervikalsegment sehr zellarm ist und nur drei deutlich ausgeprägte Zellgruppen besitzt, so ist es klar, dass jede einzelne der selben mit mindestens 8 Muskeln verbunden ist.

Ähnliche Erscheinungen bieten auch andere vordere Wurzeln sowohl der Hals- als auch der Lendenanschwellung.

So versieht die vierte Lumbalwurzel z. B. 30 Muskeln, die in verschiedenen Segmenten der unteren Extremität liegen, und da das 4. Lumbalsegment nur drei gut ausgeprägte Zellgruppen besitzt, so kommen auf jede Gruppe gegen 10 Muskeln.

4. Lumbalwurzel {
 M. tensor fasciae latae,
 M. psoas minor,
 M. „ major,
 M. iliacus,
 M. glutaesus maximus,
 M. glutaesus medius,
 M. glutaesus minimus,
 M. rectus femoris,
 M. vastus lateralis,
 M. vastus intermedius,
 M. subfemoralis,
 M. gracilis,
 M. gemellus superior,
 M. quadratus femoris,
 M. semimembranosus,
 M. semitendinosus,
 M. obturator externus,
 Mm. adductor magnus, medius et minimus,
 M. abductor brevis,
 M. biceps caput breve,
 M. tibialis anterior,
 M. extensor hallucis longus,
 M. extensor digitorum longus,
 M. extensor hallucis brevis,
 M. extensor digitorum brevis,

4. Lumbalwurzel { *M. soleus*,
 M. popliteus,
 M. plantaris,
 M. gastrocnemius.

Mit diesen Muskeln sind die Vorderhornzellgruppen der betreffenden Rückenmarkssegmente durch ihre Axenzylinder verbunden, welche sich dahin durch die vorderen Wurzeln begeben.

Dasselbe trifft auch für die anderen Segmente beider Rückenmarksanschwellungen zu.

Auch dort schwankt die Zahl der Gruppen in jedem Segment zwischen 5—8, während die Zahl der mit der betreffenden vorderen Wurzel verbundenen Muskeln zwischen zwanzig und dreissig schwankt.

Es stellt sich also heraus, dass jede Zellgruppe des betreffenden Segments gleichzeitig mit vielen Muskeln, die an verschiedenen Abschnitten des Rumpfes und einer bestimmten Extremität befestigt sind, verbunden ist.

Da die Zellgruppen in den Rückenmarksanschwellungen nach Dutzenden zählen, so kann eine Verbindung jeder derselben mit vielen Muskeln nur nach vorheriger Teilung jedes einzelnen Muskels in mehrere Teile zustande kommen.

Diese Muskelteile sind es, welche mit verschiedenen Zellgruppen in Verbindung treten.

Diese Betrachtung stützt sich auf die oben (S. 473—476) angeführte Tabelle der Wurzelinnervation einzelner Muskeln.

Aus dieser Tabelle folgt eben, dass jeder Muskel sich in gleichzeitiger Verbindung mit mehreren Segmenten befindet.

Diese bedeutende Zahl der den einzelnen Muskel versorgenden Wurzeln, die zuweilen 5—7 beträgt, kann zu verschiedenen Betrachtungen über das Wesen spinaler Muskelinnervation Anlass geben.

So könnte man erstens denken, dass jede der zahlreichen Vorderwurzelfasern, welche für einen Muskel bestimmt sind, in einem kleinen, innerhalb der Grenzen eines Segments liegenden Zellkern beginnt, dass sie dann aber aus dem Rückenmark nicht auf dem nächsten Wege austritt und dazu nicht die nächste vordere Wurzel des eigenen Rückenmarksegments benutzt, sondern innerhalb des Rückenmarks auf- oder absteigt, um nachher an der Oberfläche derselben 2—5 Segmente oberhalb oder unterhalb ihres Segments zu erscheinen.

Wäre diese Annahme wirklich für alle Muskeln des Körpers

zutreffend, so müsste der Verlauf der vorderen Wurzeln in den intramedullären Abschnitten ein höchst komplizierter sein.

Das Auf- und Absteigen der Fasern müsste in allen Wurzeln stattfinden, und diese Fasern könnten aus dem Rückenmark nur nach einer steilen Biegung austreten, deren Winkel ungefähr 90° betragen dürfte.

Unsere Kenntnisse über den Verlauf des intramedullären Teiles der vorderen Wurzeln widersprechen jedoch einer solchen Annahme.

Wir wissen, dass der zentrale Abschnitt der vorderen Wurzel innerhalb des Rückenmarks eine vollständig horizontale Richtung einhält; die oberen und die unteren Abschnitte zeigen eine gewisse, wenn auch sehr geringe Abweichung nach oben oder unten und sammeln sich fächerartig zu einem Bündel, wobei diejenigen Fasern, welche in den neben der imaginären Grenze zweier benachbarter Segmente liegenden Zellen entstehen, gewöhnlich die maximale Neigung aufweisen, die jedoch in den meisten Fällen $40-50^{\circ}$ nicht übersteigt. Jedenfalls konnten wir sowohl aus den Literaturangaben, als auch aus eigenen histologischen Untersuchungen die Überzeugung gewinnen, dass die Vorderwurzelfaser nach Austritt aus der motorischen Vorderhornzelle gewöhnlich in die vordere Wurzel des eigenen Segments eindringt und dazu die kürzeste Richtung wählt. Nur einige an der Grenze zweier Segmente liegende Zellen liefern Vorderwurzelfasern vom Typus „postfixus“ oder „praefixus“, und nur diese Wurzelfasern verlassen das Rückenmark durch die unmittelbar folgende obere oder untere vordere Wurzel.

Diese Gründe sprechen also gegen die Annahme, dass die zahlreichen Wurzeln, die einen Muskel versorgen, in einem kleinen Rückenmarkskern entstehen können.

Es könnte aber auch eine andere Ansicht Platz greifen, wonach jeder Muskel nur einen, dafür aber um so grösseren Kern besitzt, der in Gestalt eines sehr schmalen Zellkonglomerats sich über einige Rückenmarkssegmente erstreckt und der an vielen Stellen seine zentrifugalen Bahnen an die Oberfläche des Rückenmarks sendet, indem er dazu die vielen zunächst liegenden Wurzeln benutzt. Dadurch könnte der Umstand erklärt werden, dass ein Muskel durch so viele vordere Wurzeln versorgt wird.

Aber auch diese Vermutung hält der Kritik nicht stand, da es in den Rückenmarksvorderhörnern in Wirklichkeit keine derartige grosse und lange Kerne gibt.

Eine dritte Erklärung dieser Multiplizität der jeden einzelnen Muskel versorgenden vorderen Wurzeln geht auf die Annahme hinaus, dass jeder Muskel in mehrere Abschnitte zerfällt, und dass jeder dieser Abschnitte mit einer bestimmten Zellgruppe des Vorderhorns verbunden ist.

Gegen diese Annahme ist — wie das aus den folgenden Darlegungen hervorgehen wird — nichts einzuwenden.

Aus der oben (S. 473—476) angeführten Tabelle der radikulären Innervation sehen wir nämlich, dass viele Muskeln, die in verschiedener Höhe der Extremität liegen und verschiedenen Abschnitten derselben angehören, von einer und derselben Wurzel innerviert werden oder mit anderen Worten ihre Innervation von einem und demselben Segment erhalten.

Betrachten wir z. B. nur die radikuläre Innervation der oberen Extremität (mit Einschluss des Schultergürtels), so überzeugen wir uns unschwer davon, dass — wie das auch sehr gut aus dem folgenden Schema Nr. 3 zu ersehen ist — von den fünf am meisten an der Innervation dieses Körperteils beteiligten Wurzeln der dorso-cervikalen Anschwellung nur eine, die fünfte, spärliche Verbindungen mit den von anderen Wurzeln innervierten Muskeln besitzt, während die übrigen Wurzeln ihre Fasern den Verbindungen nicht allein ihrer nächsten, sondern auch der entfernteren Nachbarn sehr freigebig beimischen.

So sendet z. B. die erste dorsale Wurzel ihre Fasern nicht allein zu den Muskeln, welche mit der — von oben her — benachbarten 8. cervikalen Wurzel in Verbindung stehen, also zu den Hand- und Vorderarmmuskeln, sie versorgt auch — wie sich das in unseren Fällen bei der Durchschneidung der *Mm. pectoralis major et minor* herausgestellt hat — den Schultergürtel.

Andererseits sehen wir auf demselben Schema Nr. 3, dass viele Muskeln, wie z. B. die *Mm. triceps, supinator longus, extensor digitorum communis, extensor pollicis longus, adductor pollicis* und andere mehr, motorische Impulse durch Vermittlung von drei Wurzeln erhalten und dass die *Mm. serratus anticus major* und *pectoralis* sogar zugleich durch vier vordere Wurzeln innerviert werden.

Wenn wir annehmen, dass auf jede Wurzel ein besonderer Muskelabschnitt kommt, so müssen wir uns vorstellen, dass der betreffende Muskel in — wenn auch nicht gleiche — Teile zerteilt ist, deren Zahl der mit diesem Muskel verbundenen Wurzeln entspricht.

Da aber jeder vorderen Wurzel ein ganzes Rückenmarkssegment mit vielen Zellgruppen entspricht, so müssen sich die betreffenden Verhältnisse noch viel komplizierter gestalten.

Da viele Zellgruppen dieses Segments gleichzeitig einem Muskel Fasern durch die Vermittlung einer und derselben vorderen Wurzel senden können, so muss dieser Muskel in eine Anzahl von Teilen zergliedert werden, die nicht nur der Zahl der mit dem Muskel verbundenen vorderen Wurzeln, sondern auch der Zahl der Zellkerne jener Segmente, denen diese Wurzeln angehören, entspricht.

Schema Nr. 3.

Jeder Muskel der oberen Extremität (mit Einschluss des Schultergürtels) wird demnach zweimal zergliedert, und die Zahl der daraus resultierenden Muskelabschnitten ist gross genug, um mit den Verbindungsbedürfnissen der zahlreichen Gruppen der dorso-cervikalen Anschwellung in Einklang gebracht werden zu können.

Ähnliche Verhältnisse finden wir auch bei Betrachtung der Wurzelverbindungen der Hals- und Oberarmmuskeln.

Auch hier sehen wir eine ganze Reihe von Muskeln, die vielfach geteilt werden und jedesmal eine neue Verbindung eingehen und eine neue radikuläre Innervation erhalten.

So sehen wir z. B., dass die Mm. adductor pollicis brevis et longus, flexor carpi radialis, flexor pollicis brevis et longus, opponens pollicis brevis, extensor indicis proprius, brachialis internus, deltoideus,

triceps, subscapularis, extensor carpi radialis longus et brevis, pronator teres, flexor digitorum longus, latissimus dorsi, serratus anticus major, extensor digitorum communis, rhomboideus, biceps brachii, supinator brevis, teres minor, serratus posterior, pectoralis major, coracobrachialis, longus colli, scalenus medius, splenius capitis et cervicis — alle gleichzeitig von der sechsten vorderen Wurzel innerviert werden.

Das bedeutet aber, dass alle diese Muskeln mit einer Zellgruppe oder mit einigen Zellgruppen verbunden sind, welche im sechsten Cervikalsegment liegen.

Sollen wir uns diese Verhältnisse am einfachsten vorstellen, so müssen wir annehmen, dass die hier aufgezählten 27 Muskeln zu gleichen Teilen unter die verschiedenen Zellgruppen des 6. Cervikalsegments so verteilt sind, dass auf jede dieser Gruppen eine bestimmte Anzahl von Muskeln entfällt, welche mit ihnen durch die Axenzylinder der 6. vorderen Wurzel verbunden werden.

Aus demselben Schema (S. 473—476) der radikulären Innervation ersehen wir jedoch, dass jeder dieser Muskeln auch noch von zwei oder drei anderen vorderen Wurzeln versorgt wird, d. h. neben seiner Verbindung mit den Zellkonglomeraten des 6. Cervikalsegments noch mit den Zellgruppen anderer Segmente verbunden ist.

Einige der eben erwähnten Muskeln, und zwar die *Mm. extensor indicis, latissimus dorsi, triceps, extensor carpi ulnaris, extensor digitorum communis, splenius capitis et cervicis, scalenus und longus colli* werden mit der Gruppe oder mit den Gruppen, welche im 8. Cervikalsegment liegen, verbunden.

Das geht daraus hervor, dass alle diese Muskeln von der 8. vorderen Wurzel versorgt werden.

Sie müssen daher einen Teil ihrer Bündel absondern und sie in den Dienst der Zellgruppen des 8. Cervikalsegments stellen, welche dann durch ihre Axenzylinder mit einigen, von dem 6. Segment nicht in Anspruch genommenen Muskelabschnitten in Verbindung treten.

Zu gleicher Zeit sehen wir, dass die *Mm. serratus, triceps, adductor pollicis brevis, extensor indicis, latissimus dorsi, flexor carpi radialis, coracobrachialis, opponens pollicis, extensor et abductor pollicis longus, longus colli, scalenus anticus, scalenus medius, splenius capitis, extensor carpi radialis longus, pronator teres, extensor digitorum communis, flexor digitorum longus*, welche schon zum Teil mit dem 6., zum Teil mit dem 8. Cervikalsegment verbunden und darum in einige Teile gespalten waren, sich jetzt noch einmal mit den Zellgruppen des 7. Cervikalsegments verbinden und von ihnen durch die Vermittlung der 7. vorderen Cervikalwurzel innerviert werden.

Eine neue, d. i. die vierte, Spaltung derselben Muskulatur — und

also eine Verbindung der Muskelteile mit neuen Nervenzellgruppen — kommt deshalb zustande, weil von den durch die 6. Cervikalwurzel versorgten, oben aufgezählten Muskeln die *Mm. deltoideus, subscapularis, teres major et minor, extensor carpi radialis brevis et longus, pectoralis, supinator brevis, biceps brachii, splenius, scaleni, brachialis internus* und *serratus anticus* durch die Vermittlung der 5. vorderen Wurzel mit der Zellgruppe oder den Zellgruppen, welche im 5. Cervikalsegment liegen, in Verbindung treten.

Diese Tatsachen sind sehr übersichtlich auf dem Schema Nr. 4 dargestellt.

Schema Nr. 4.

Aus diesem Schema ist zu ersehen, dass die Muskeln, welche mit zwei oder mehr Wurzeln verbunden sind, in eine grössere Anzahl von Teilen zerfallen müssen; da aber jeder dieser Teile mit vielen Vorderhornzellgruppen des betreffenden Segments verbunden wird, so muss eine abermalige Spaltung stattfinden.

Man darf die hier geschilderten Verhältnisse nicht als spezifisch für die Muskulatur der vorderen Extremitäten und des Halses ansehen. Genau dasselbe lässt sich an den Muskeln der unteren Extremitäten verfolgen, wovon man sich leicht überzeugen kann, wenn man die oben (S. 473—476) angeführte Tabelle der radikulären Innervation betrachtet.

Unsere Vermutung über die Spaltung der Muskeln bei ihren Verbindungen mit den verschiedenen Wurzeln wird auch durch experimentelle Untersuchungen anderer Autoren bestätigt, die zwar bei ihren Arbeiten andere Zwecke verfolgten, nichtsdestoweniger aber zu Schlüssen kamen, die sich für unsere Aufgaben im höchsten Grade eignen.

Sherrington, Russel und andere Autoren, welche bestätigen, dass einzelne Muskeln von mehreren Wurzeln innerviert werden, haben bemerkt, dass die Reizung einer bestimmten vorderen Wurzel durch den faradischen Strom nicht die Kontraktion eines ganzen Muskels in seinem ganzen Umfange zur Folge hat, sondern dass sich dabei nur ein Teil desselben, sagen wir in diesem Falle der zentrale, zusammenzieht; bei der Reizung der anderen, benachbarten Wurzel erhält man eine Kontraktion des Seitenrandes des Muskels; reizten diese Autoren die nächste, also dritte Wurzel, so sahen sie nur eine Kontraktion der oberflächlichen Bündel desselben Muskels.

Es ist demnach klar, dass jede der gereizten Wurzeln nur mit einem bestimmten funktionierenden Teil des betreffenden Muskels in Verbindung stand.

Nur dieser Teil reagierte auf die Reizung seiner Wurzelfaser, welche in die den Reizen ausgesetzte vordere Wurzel eingeschlossen war.

Ähnliche Resultate erhielten diese Autoren auch bei Versuchen mit Durchschneidung einzelner Wurzeln.

Die Durchschneidung einer einzelnen Wurzel hatte — wie die Autoren bemerkt hatten — keine vollständige Lähmung des betreffenden Muskels zur Folge. Es stellte sich heraus, dass dieser Muskel nur für eine ganz bestimmte Bewegung inaktiv wurde, an der er zugleich mit vielen anderen Muskeln beteiligt war.

In meinen eigenen, bis jetzt noch nicht publizierten Versuchen konnte auch ich unter dem Mikroskop nachweisen, dass die Durchschneidung der 6., 7. oder 8. Cervikalwurzel beim Hunde nicht zur totalen Degeneration der einzelnen Muskeln führt. Der betreffende Muskel bleibt noch drei — vier Monate post. operationem — nur in einigen Teilen lädiert, in anderen aber erscheint er makroskopisch und mikroskopisch vollkommen gesund.

Es ist also klar, dass die Durchschneidung der betreffenden vorderen

Wurzel nur die Lähmung eines der vielen Abschnitte dieses Muskels bewirkt hatte, und zwar handelte es sich hier um den Abschnitt, der mit dem betreffenden Segment zusammenhängt.

Blieben diese Versuche vorläufig auch ohne Erklärung, so müssen sie doch als sehr wertvolle Beobachtungen angesehen werden.

Einerseits bestätigen sie unsere Meinung über die Zergliederung der Muskeln in kleine Teile, andererseits sind wir auf Grund dieser Versuche zu behaupten berechtigt, dass diese Teile miteinander zu verschiedenen Konglomeraten verbunden sind. Jedes der letzteren wird von einer vorderen Wurzel versorgt, der einige Vorderhornzellgruppen entsprechen, und diesen Gruppen sind die verschieden kombinierten Konglomerate der erwähnten Partikel unterworfen.

Bei der Durchschneidung der peripheren Nerven und der Untersuchung der dadurch entstandenen Veränderungen im Rückenmark kamen wir also zu dem Schluss, dass jede Zellgruppe des Rückenmarks mit vielen Muskeln verbunden ist; andererseits geht aus physiologischen und anatomischen Untersuchungen auch anderer Autoren hervor, dass jeder einzelne Muskel gleichzeitig mit vielen vorderen Wurzeln verbunden ist, indem er dabei in eine entsprechende Zahl von Portionen zergliedert wird.

Die dadurch entstehenden Muskelabschnitte sind durch Vorderwurzelfasern mit verschiedenen Vorderhornzellgruppen verbunden, als deren Repräsentanten eben diese Fasern erscheinen.

Diese beiden Arten von Beziehungen, die einander bestätigen, bilden sehr konstante Grössen.

Da die peripheren Nervenstämme einer bestimmten Tierart stets mit denselben bestimmten Muskeln verbunden sind, und da andererseits dieselben Zellgruppen des Rückenmarks stets ihre bestimmten Nervenstämme versorgen, so müssen die Verbindungen der betreffenden Zellgruppen mit einer bestimmten Auslese von Muskeln auch konstant sein, so dass jede der zahlreichen Vorderhorngruppen des Rückenmarks mit einer bestimmten Anzahl von Muskeln fest verbunden erscheint und sich von ihren Nachbarn nur durch die Zahl dieser Muskeln unterscheidet.

Wie haben wir nun diese Zellgruppen aufzufassen?

Da von diesen beiden fest miteinander verbundenen Grössen den Nervenzellen stets das Recht des Herrschens zugeschrieben wird, während der Muskelfaser die Pflicht der Unterwerfung auferlegt wird,

so haben wir auch hier in diesen festen Verbindungen der Vorderhorngruppen des Rückenmarks einerseits und einer bestimmten Auslese von Muskeln andererseits zwei Grössen zu erblicken, von denen die letztere stets der ersteren untergeordnet ist.

Solche Zellgruppen können wir mit vollem Recht als Zentren betrachten, denen eine bestimmte Anzahl von Muskeln untergeordnet ist.

Diesen Zentren kann aber nicht die Bedeutung zukommen, die ihnen von Brissaud, van Gehuchten, Sano und anderen oben zitierten Autoren beigelegt wird.

Bei diesen Autoren ist von einer Repräsentation eines bestimmten, anatomisch isolierten Körperteils im Rückenmark die Rede, einerlei, ob es sich um eine ganze Extremität oder nur um einen Teil derselben, um ein Segment oder um synergische Muskelgruppen etc. handelt.

Die Zentren aber, um die es sich in der vorliegenden Arbeit handelt, repräsentieren einzeln weder ein besonderes Segment der Extremität, noch einen besonderen Nervenstamm, noch sogar einen einzelnen Muskel.

Jede Zellgruppe ist durch Vermittlung eines oder mehrerer Nervenstämmen mit einer bestimmten Auslese von Muskeln verbunden, welche in verschiedenen Segmenten der Extremität liegen.

Diese für jedes Zentrum verschiedene Kombination von Muskeln fällt nicht mit dem Verzweigungsgebiet des betreffenden Nervenstammes zusammen. Eine solche Kombination enthält nicht sämtliche Muskeln eines bestimmten Segments. Jedes Zentrum schliesst mehrere Segmente ein, ohne aber sie alle oder auch nur ein einzelnes Segment ausschliesslich zu repräsentieren. Die von einem solchen Zentrum beherrschte Muskulatur wird von mehreren Nervenstämmen versorgt, wobei jeder der letzteren nur zum Teil von dieser Funktion in Anspruch genommen wird, da er gleichzeitig auch andere Muskeln versieht. Das betreffende Zentrum umfasst einige synergische Muskelgruppen. Stets sind es mehrere Muskeln, die von einem solchen Zentrum beherrscht werden, aber kein einziger Muskel wird in seinem vollen Umfang von diesem Zentrum versorgt.

Wir sehen also, dass weder eine kleinere anatomische Einheit (einzelne Muskeln und Nervenstämmen), noch eine grössere (Komplexe synonymen Muskeln oder Segmente der Extremitäten) das Recht für sich in Anspruch nehmen kann, von diesen Zentren im Rückenmark repräsentiert zu werden.

Die Bedeutung dieser Zentren geht aus der Art ihres Zusammenhangs mit den Muskeln hervor.

Da durch diese Muskeln verschiedene Bewegungen der Extremität oder Veränderungen ihrer Lage im Raum erreicht werden können, so sind wir durchaus berechtigt zu behaupten, dass diesen Zentren zunächst lokomotorische Aufgaben obliegen.

Da wiederum der Bestand der einer Zellgruppe untergeordneten Muskeln von dem Bestande der von den benachbarten Zellgruppen beherrschten Muskeln verschieden ist, so müssen auch die Funktionen der verschiedenen Gruppen, ebenso wie die von den verschiedenen Auslesen von Muskeln hervorgerufenen Bewegungen, von einander verschieden sein.

Von diesem Standpunkt aus haben wir in der Hals- und der Lendenanschwellung eine Reihe von Zentren für verschiedene Funktionen, von denen jedes diese oder jene Bewegung koordiniert.

Dementsprechend sollten wir die Zellgruppen, die wir je nach ihrer Lage — in der Mitte des Vorderhorns, an seiner Frontallinie, in der vorderen, hinteren oder lateralen Ecke — als Nucleus centralis, posterior, anterior u. s. w. benannt hatten, nach ihrer Funktion bezeichnen und sie z. B. als Zentrum für die Streckung des Beines oder für die Beugung im Knie- und im Fussgelenk, oder für die Hebung des Armes, für das Stützen des Armes auf die gestreckte Handfläche, — auf die geballte Faust, für das Stützen des Armes mit gleichzeitiger Anspannung der Bauchpresse u. s. w. definieren.

Auf diese Weise kommen zu den bisher beschriebenen Rückenmarkszentren einige neue hinzu.

Bis jetzt kannten wir Zentren für Defäkation, Exurination, Ejakulation, für Harn- und Kotretention; jetzt kommen noch gleichwertige Zentren für Greifbewegungen, für Streckung im Kniegelenk, für Abwehrbewegungen im Fusse etc. hinzu.

Die Zellgruppen, deren Funktion die Lageveränderung der ganzen Extremität mit allen ihren Gelenken bildet, müssen selbstverständlich mit einer grösseren Zahl von Muskeln verbunden sein, die dazu noch in verschiedenen Segmenten liegen.

Andere Gruppen wiederum, deren Aufgabe in der Innervierung einer geringeren Bewegung besteht, sind auch mit einer kleineren Zahl von Muskeln verbunden, und diese Muskeln erstrecken sich nur über wenige Extremitätssegmente.

Während die ersteren Gruppen imstande sind, sehr komplizierte Bewegungen der Extremität zu bewirken, die sich sowohl durch ihren Umfang, als auch durch Energie und Gleichzeitigkeit der Ausführung in allen Gelenken auszeichnen, vermögen die letzteren nur beschränkte Lageveränderungen hervorzurufen.

So sind dem Nucleus posterior internus des 1. Dorsalsegments,

der den N. medianus*) versorgt, eine nur geringe Zahl von Hand- und Vorderarmmuskeln untergeordnet, deren Kontraktion nur eine Lageveränderung im Radiokarpalgelenk und in den kleinen Phalangealgelenken hervorrufen kann.

Ähnliche beschränkte Bewegungen im Fussgelenk und in den Zehengelenken können durch den Nucleus anterior medianus des 1. Sakralsegments**) bewirkt werden, dem nur einige wenige, vom N. peroneus versorgte Muskeln zur Verfügung stehen.

Liegen übrigens die Muskeln in diesen Beispielen auch nur in wenigen Segmenten der Extremität, so können sich doch die Bewegungen, die eine gewisse Gruppe durch sie entwickelt, durch ausserordentliche Kompliziertheit auszeichnen.

Dagegen ist anzunehmen, dass der Nucl. centralis des 7. Cervikalsegments, dem die Nn. subscapulares, thoracicus anterior, axillaris, musculo-cutaneus, medianus und radialis***) untergeordnet sind, eine sehr beträchtliche Lageveränderung der ganzen oberen Extremität hervorzurufen imstande ist, da ihm alle Muskeln dieser Extremität und des Schultergürtels untergeordnet sind.

Weniger umfangreiche Bewegungen können von dem Nucl. anterior medianus des 6. Cervikalsegments ausgelöst werden, doch versieht dieser Kern ausser den Muskeln der oberen Extremität auch das Diaphragma, so dass die Reizung dieser Gruppe auch eine Beteiligung des Zwerchfells nach sich ziehen muss: der Willensakt, dem diese Gruppe dient, muss von einer Anspannung der Bauchpresse begleitet sein.

Dieser Schluss kann mit gleichem Recht — in grösserem oder geringerem Grade — auf alle Zellgruppen der hier erörterten Rückenmarksabschnitte angewandt werden.

Lokomotorische Verrichtungen bilden ihre Aufgabe, ihre beständige Funktion.

Die hier besprochenen Zentren dürfen also nicht als Repräsentanten einer anatomischen Einheit betrachtet werden, sie sind Repräsentanten der Funktion, in deren Dienst diese Einheit steht.

Da die beschriebenen Zentren aus Nervenzellen bestehen, so muss — ganz im Einklang mit unseren neueren Kenntnissen — diesen Zentren auch eine trophische Funktion in Bezug auf die von ihnen beherrschten Muskeln zugeschrieben werden.

*) s. Schema 1.

**) s. Schema 2.

***) s. Schema 1.

Alles, was wir hier gesagt haben, bezieht sich auf alle Zellgruppen der Hals- und Lendenanschwellung, welche dadurch, dass sie auf die Durchschneidung der Nerven der hinteren und vorderen Extremitäten reagiert hatten, ihre Beteiligung an der Versorgung der letzteren zeigten.

Da diese Zellgruppen in der Hals- und Lendenanschwellung nach Dutzenden zählen, so halten wir unsere Annahme von der Multiplizität der die Extremitäten beherrschenden spinalen Zentren für genügend bekräftigt.

Diese Multiplizität der Zentren können wir uns folgendermaßen vorstellen.

Einerseits hat der Organismus verschiedene Bewegungen des betreffenden Körperteils auszuführen, wozu er mit Hilfe einer zu seiner Verfügung stehenden genügenden Anzahl von Muskeln imstande ist.

Andererseits giebt es im Rückenmark eine gewisse Anzahl von Zellgruppen, die sich entweder mit einander kombinierend oder auch einzeln wirkend die Leitung dieser Muskeln für die koordinierte Bewegung übernehmen.

Die Zahl der Nervenzellgruppen (oder ihrer Kombinationen) zusammen mit ihren stereotypen Muskelverbindungen entspricht der Zahl jener einfachen typischen Bewegungen, die der Organismus auszuführen hat; ebenso garantiert die Zahl und die Lage der sich zergliedernden Muskeln die Möglichkeit dieser Bewegung.

Durch das Zusammenwirken dieser beiden verschiedenen Grössen, der Zellgruppen einer- und der Muskelabschnitte andererseits, wird die Frage nach den verschiedenartigen Bewegungen, die der betreffende Körperteil auszuführen imstande ist, gelöst.

Die Zellgruppen und die Muskelpartikel werden mit einander in verschiedenen Zahlverhältnissen kombiniert, wobei einerseits jedes Zentrum mit einer gewissen Auslese von Muskeln verbunden wird, die der Bestimmung dieses Zentrums entspricht, während andererseits die einzelnen Muskeln — je nach der Funktion, die sie verrichten können — gleichzeitig mit einer grösseren oder geringeren Anzahl von Zentren in Verbindung treten.

Bei einem solchen Kombinationssystem wird jeder einzelne Muskel wiederholt zergliedert und tritt wiederholt mit neuen Muskeln und mit einem neuen Zentrum, oder richtiger gesagt, mit einem anderen Nervenzellkern in neue Kombinationen.

Die für jeden Rückenmarkszellkern vorhandene Möglichkeit, unter seiner Herrschaft so viele Muskeln zu vereinigen, erklärt sich, wie man sieht, durch den reichen Gehalt des Rückenmarks an Zellen, deren Menge der Zahl mit einander kombinierter Muskelteile entspricht.

II.

M. H.! Nachdem wir zur Überzeugung gekommen sind, dass die zahlreichen Zellkerne der Vorderhörner als besondere Zentren zu betrachten sind, denen motorische und trophische Funktionen obliegen, können wir uns in weiterer Verfolgung dieser Auffassung vorstellen, dass jede dieser Zellgruppen ein recht kompaktes Faserbündel entsendet, das beim Austritt aus dem Rückenmarke ein bestimmtes, sein Zentrum charakterisierendes Bewegungsprinzip trägt.

Um seine Bestimmung zu erfüllen, tritt dieses Bündel in ein Nervengeflecht (Plexus supraclavicularis, infraclavicularis, axillaris u. s. w.) ein, zerfällt dort nach der Zahl der mit ihm zusammenhängenden Muskeln in einzelne Äste und begiebt sich dann zu diesen Muskeln, indem es dazu einen entsprechenden Nervenstamm wählt.

Ähnliche Nervenbahnen, die in anderen Zellgruppen entstehen, sich aber zu denselben Muskeln der Extremität begeben, sortieren sich und sondern sich zunächst in der Masse des Geflechts ab, verbinden sich dann mit den ersteren und legen zusammen den gemeinschaftlichen Weg als ein bestimmtes Nervenstämmchen zurück. Diesem letzteren kommt daher nur die Bedeutung des bequemen und nächsten Weges zu; es sammelt alle Nervenfasern, die sich aus verschiedenen Stellen der Rückenmarksvorderhörner zu dem betreffenden Muskel begeben.

Nicht alle Fasern dieses Stämmchens, das seinen Muskel innerviert, sind daher von gleicher Bedeutung. Jede derselben erscheint als Repräsentant eines bestimmten Ziels, d. h. einer bestimmten koordinierten Bewegung oder eines bestimmten Zentrums.

Eine durch eine Faser fortgepflanzte Bewegung ruft eine Kontraktion im vorderen Teile des Muskels hervor, durch andere Fasern geleitete Erregungen können eine Zusammenziehung des hinteren, des mittleren, des Seitenteils u. s. w. des Muskels zur Folge haben. Die einzelnen Nervenfasern des betreffenden, für den ganzen Muskel bestimmten Nervenästchens sind darum sehr spezialisiert, und jede derselben tritt nur zu besonderen Abschnitten dieses Muskels in Beziehung; zu gleicher Zeit kann aber dieses ganze, so verschieden zusammengesetzte Nervenstämmchen, das sich zu dem betreffenden Muskel begiebt und ihn ganz beherrscht, eine gleichzeitige Kontraktion (experimentell) des ganzen Muskels in allen seinen Teilen hervorrufen, da es Fasern enthält, die für alle einzelnen Partikel desselben bestimmt sind.

Von diesem Standpunkte aus kann ein Nervenstämmchen, das an und für sich keine Individualität besitzt, auch kein spezielles Zentrum im Rückenmark haben.

Die Gruppen, die dieses Stämmchen versorgen, sind in verschiedenen Segmenten und Abschnitten des Vorderhorns zerstreut, sie beherbergen in ihren Zwischenräumen Zellkerne, welche andere Nerven versorgen und können daher kein festes Konglomerat mit deutlichen Grenzen bilden.

Die Zentren solcher Nerven müssen einander durchwachsen.

Deshalb ist es begreiflich, warum die Autoren, die nach spinalen isolierten Zentren einzelner Nerven suchten, sie nicht als kompakte Kerne zu finden vermochten.

Ebenso muss es sich mit den Zentren für besondere Segmente der Extremitäten, für den Fuss, den Unterschenkel, für die Hand, den Schultergürtel u. s. w. verhalten.

Da ihre Muskeln, je nach der ihnen obliegenden Funktion, mit verschiedenen Zellgruppen der Vorderhörner verbunden sind, die dazu noch in verschiedener Höhe des Rückenmarks liegen, so muss eine Amputation oder eine Exartikulation des betreffenden Abschnitts der Extremität selbstverständlich Reaktionsveränderungen nicht in einem Segment des Rückenmarks und nicht in einer Gruppe dieses Segments, sondern in vielen Zellanhäufungen bewirken, die in mehreren Rückenmarkssegmenten so zerstreut sind, dass ein Teil der Zellen der reagierenden Gruppen und viele Gruppen in den Zwischenräumen ganz intakt bleiben. Diese Zwischenräume und diese intakten Zellen der betreffenden Gruppen müssen als Sitz der Zentren für die anderen Abschnitte der Extremität betrachtet werden.

Ein solches Zentrum kann kein festes Konglomerat darstellen, es kann auch keine bestimmten Grenzen besitzen, da sich zwischen seinen Gruppen und innerhalb derselben Zentren für andere Extremitäten befinden.

Dasselbe muss auch in Betreff der Zentren für die Flexoren, Extensoren und Pronatoren des Unterarms, der Adduktoren des Oberschenkels und anderer synonymen Muskeln gesagt werden, da diese Muskelgruppen, die verschiedenen Zwecken dienen und an verschiedenen Synergismen teilnehmen, auch gleichzeitig mit verschiedenen Vorderhornzellgruppen verbunden werden.

Unsere Schlussfolgerung über das Vorhandensein einzelner kleiner Rückenmarkskoordinationszentren entspricht demnach vollständig den Tatsachen, die wir bei der gesagten^{38b, 38c}) Prüfung der Ansichten Brissauds, de Neeffs, van Gehuchters und anderer oben zitierter Autoren gewonnen haben, und kann darum der Kritik des histologischen Experiments standhalten.

Haben wir nun angenommen, dass jedes unserer kleinen Zentren sein spezielles, ein besonderes Bewegungsprinzip tragendes Bündel entsendet, so müssen wir auch ferner annehmen, dass dieses Bündel nicht nur auf seinem Wege durch das Rückenmark, sondern auch innerhalb der vorderen Wurzeln als Träger dieses Prinzips erscheint.

Solche Leitungsbündel, die für gewisse einfachste synergische Bewegungen bestimmt sind, sind denn auch in den vorderen Wurzeln zweifellos vorhanden.

Ferrier-Jeo^{22, 23)} reizte beim Affen die 5. cervikale vordere Wurzel und erhielt danach eine gegen das Maul gerichtete Bewegung der vorderen Hand, als ob das Tier etwas in das Maul stecken wollte.

Bei der Reizung der 6. cervikalen Wurzel näherte der Affe seine Hand der Schamgegend, war aber dabei die Hand fixiert, so konnte der ganze Körper an dieser Hand wie an einem Baum oder an einem Trapez in die Höhe schnellen.

Reizten die Autoren die 7. Cervikalwurzel, so sahen sie Bewegungen der Vorderpfote, die an das Kratzen des Anus erinnerten.

Diese Versuche wurden von Paul Bert et Maracacci⁸⁷⁾ und Féré²¹⁾ mit demselben Erfolg wiederholt.

Noch früher als Ferrier nahm Remak auf Grund eigener Versuche^{15a)} (Costensoux S. 99) die Möglichkeit koordinierter Bewegungen nach Reizung der vorderen Wurzeln an.

Sherrington, der die 7. Cervikalwurzel des Affen reizte, erhielt dabei eine Kontraktion der Muskeln, die zu einer Zusammenballung der Faust führte (Hering³³⁾ S. 579).

Das Vorhandensein kleiner spinaler spezifischer Zentren wird also auch von physiologischen Untersuchungen postuliert.

Da diese in der Masse der vorderen Wurzeln liegenden Leiter spezieller Funktionen stets mit einer konstanten Zahl von Muskeln verbunden sind, welche zu der betreffenden synergischen Bewegung erforderlich ist, und da bestimmte Zentren andererseits stets dieselbe Zahl der Wurzelfasern benutzen, so muss der Bestand dieser Wurzeln und die Zahl der mit ihnen verbundenen Muskeln stets gleich sein.

Lannegrace et Forgue⁴¹⁾, die die Verbindung der einzelnen vorderen Wurzeln mit den Muskeln verfolgt hatten, kamen denn auch zu dem Schluss, dass, so kompliziert auch jede Wurzel in Bezug auf die durch ihre Reizung auszulösenden motorischen Funktionen sein mag, die Zahl der von ihr versorgten Muskeln doch stets eine und dieselbe ist.

Zu demselben Schluss kam auch Russel⁶⁷⁾.

Das Vorhandensein dieser in der vorderen Wurzel liegenden

speziellen Bündel bestätigt unsere Annahme von der Existenz kleiner multipler spinaler Zentren, die eine bestimmte Funktion tragen, denn das betreffende spezielle Bündel kann doch nicht als Organ angesehen werden, das selbst gewisse Bewegungen koordiniert. Es erscheint nur als Repräsentant eines bestimmten Zentrums.

Allerdings werden die zitierten Versuche Ferrier-Jeo's von Sherrington⁷⁵⁾ und Hering³³⁾ widerlegt.

Ersterer⁷⁵⁾ kam bei Erörterung der Frage über den Bestand des Plexus lumbosacralis zu dem Schlusse, dass die Reizung der vorderen Wurzeln keine koordinierte Bewegung zur Folge haben kann. In seiner späteren Arbeit über den Plexus brachialis hatte er zwar Gelegenheit, sich vom Gegenteil zu überzeugen, da die Reizung der 7. Cervikalwurzel in seinen Versuchen zu einer koordinierten Zusammenziehung der Handmuskulatur und zu einer Zusammenballung der Hand führte. Nichtsdestoweniger hat Sherrington auch danach seine frühere Meinung nicht geändert, und zwar aus dem Grunde, weil dieselbe Wurzel auch noch andere Muskeln versorgt, die nicht nur an der Koordination der betreffenden Bewegung (Faustbildung) beteiligt, sondern sogar Antagonisten der ersten sind.

Hering³³⁾ (S. 580) kommt bei seinen Entgegnungen ohne Experimente aus. Er begnügt sich mit der einfachen Zusammenstellung der Ferrier-Jeo'schen Schlussfolgerungen, mit der Tatsache, dass die Zahl der koordinierten Bewegungen der betreffenden Extremität grösser als die Zahl der sie versorgenden vorderen Wurzeln ist. („Ich habe mich daher auch nicht der Mühe unterzogen, die einzelnen vorderen Wurzeln zu reizen, denn dieselbe wäre ebenso sicher vergeblich gewesen, als es zweifellos ist, dass es mehr koordinierte Bewegungen einer Extremität gibt, als vordere Wurzeln, welche jene versorgen.“)

Es ist klar, dass Sherrington und Hering die Frage zu einfach auffassen.

Sie nehmen an, dass jede vordere Wurzel nur einer Funktion dienen kann, und lassen den Gedanken nicht zu, dass durch diese Wurzeln wie durch ein dickes Kabel gleichzeitig Leitungsbahnen vieler Kerne gehen und neben den Fasern aus den faustbildenden Zentren Bahnen liegen können, die aus dem Zentrum für das Stützen auf die gestreckte Handfläche oder aus demselben Zentrum, aber mit Beteiligung der Bauchpresse, kommen.

Nehmen wir das Vorhandensein vieler kleiner spezieller Zentren in einem Rückenmarkssegment an, so wird es begreiflich, dass mehrere verschiedene Zentren gleichzeitig eine und dieselbe vordere Wurzel zur Beförderung ihrer Impulse zu den Muskeln benutzen müssen.

Ebenso klar ist es, dass bei der Reizung durch den elektrischen Strom eines in einem gewissen Zentrum entstehenden Bündels dieselbe koordinierte Bewegung entstehen muss, die zustande gekommen wäre, wenn wir das Zentrum selbst, das dieses Bündel entsendet, gereizt hätten.

Es ist auch leicht begreiflich, dass dieses Bündel, welches bei einem Forscher zufällig unter den faradischen Strom geraten ist, bei der Wiederholung des Versuchs leicht verloren gehen kann. Und da wir über die Topographie dieser speziellen Bündel in der Masse der vorderen Wurzeln gar keine Kenntnisse besitzen, so bietet das Aufsuchen solcher Bündel und die Demonstrierung der schon einmal nach seiner Reizung gesehenen Bewegungen grosse Schwierigkeiten. Die Schwierigkeiten werden auch für den früheren, ganz besonders aber für den neuen Forscher gross sein.

Aus diesem Grunde konnten die von Ferrier-Jeo, Maracacci und Paul Bert beschriebenen Versuche, die als sehr gelungene, aber zufällige Befunde betrachtet werden müssen, in den Händen Sherringtons, namentlich aber Herings, leicht misslingen, da letzterer sogar von der Reizung der Wurzeln Abstand genommen hatte. Darum haben auch die Entgegnungen Sherringtons und Herings — von unserem Standpunkte wenigstens — ihren Zweck verfehlt und das um so mehr, als diese Autoren die vordere Wurzel nicht als Bahn, durch die die Impulse geleitet werden, sondern als Organ zu betrachten scheinen, welches selbst instande ist, Bewegungen zu koordinieren.

Durch die Annahme von der Existenz dieser spinalen Zentren, welche den verschiedenen Segmenten der Extremität einzelne Muskelabschnitte für bestimmte Bewegungen koordinieren, erleichtern wir uns das Verständnis für die bis jetzt dunkle Ätiologie der Muskelatrophien, in denen die Erkrankung der Muskeln nach einem bestimmtem Plan, nach einer bestimmten Auslese geschieht (Aran-Duchennescher Typus).

Bei dieser allgemein bekannten Erkrankung entwickelt sich die Atrophie einzelner Muskelteile oder einzelner Muskelgruppen mit einem Mal oder wenigstens mehr oder minder gleichzeitig in verschiedenen Extremitätssegmenten, während andere Muskeln derselben Segmente zunächst intakt bleiben.

Eine solche Auslese könnte man einfach durch eine Affektion eines dieser spinalen Zentren erklären, das mehrere Muskeln beherrscht, die im Dienste einer komplizierten Funktion stehen, und darum in verschiedenen Segmenten der betreffenden Extremität zerstreut sind.

Diese Erklärung ist um so wahrscheinlicher, als wir es im Beginn dieser Atrophie nicht mit einer Affektion des ganzen, dem Untergang

gewidmeten Muskels zu tun haben, sondern nur einige Abschnitte desselben — wie z. B. seinen äusseren Rand, seine oberflächlichen Fasern, sein unteres Ende u. s. w. — erkrankt finden; es handelt sich also um Lähmung und Schwund einzelner Muskelpartikel, welche von besonderen erkrankten Zentren beherrscht werden. Zu gleicher Zeit bemerkt der Patient nur in Bezug auf bestimmte Bewegungen der betreffenden Extremität — und nicht auf alle —, dass sie ungeschickt und schwach ausgeführt werden. Dieselben Muskeln, die für eine Funktion paretisch erscheinen (weil die dazu erforderlichen Partikel gelähmt sind), kontrahieren sich sehr gut im Dienste einer anderen Funktion (weil der betreffende Teil des Muskels noch normal ist).

Dieses pathologische Bild würde sehr einfach dadurch zu erklären sein, dass im Rückenmark einzelne Zentren affiziert sind, die nicht den ganzen Muskel, sondern nur einige seiner Bündel in Anspruch nehmen.

Die Existenz spinaler Zentren, die einzelne Muskelbewegungen koordinieren, befindet sich also in deutlichen Einklang mit den klinischen und pathologo-anatomischen Beobachtungen.

Das Vorhandensein derselben die dauernden Muskelakte koordinierenden Zentren würde auch die Tatsache erklären, dass wir für alle unsere Bewegungen stets Muskelsynergismen benutzen, aus denen es unmöglich ist, irgend einen Muskel auszuschneiden.

So arbeiten stets an einer Flexion im Ellbogengelenk die *Mm. biceps brachii*, *coraco-brachialis* und *brachialis internus* mit.

Diese Muskeln kontrahieren sich stets gleichzeitig nicht nur bei der Unterarmflexion, sondern auch unter anderen gewöhnlichen Bedingungen, so dass es ohne grössere Übung und Willenskraft sehr schwierig ist, aus diesem Komplex eine beliebige Funktion, wie z. B. die des *M. biceps* oder des *M. coraco-brachialis* auszuschneiden.

Ein solcher fester Zusammenhang zwischen diesen Muskeln kann nur dadurch erklärt werden, dass jeder derselben, ohne einen besonderen spinalen Kern zu besitzen, einen festen Bestandteil der einem Zentrum untergeordneten Kombination bildet.

Offenbar gibt es ein bestimmtes Zentrum, das diese Muskeln synergisch beherrscht, das bei Willens- und anderen Erregungen alle mit ihm verbundenen Muskeln in aktiven Zustand versetzt, und das weder imstande ist, seine Kraft auf einen dieser Muskeln zu konzentrieren, noch die anderen zu gleicher Zeit auszuschneiden.

Ein gewisser Widerspruch zu dem Vorhergesagten könnte in einigen unserer Gewohnheitsbewegungen erblickt werden, bei denen

wir einen Muskel und nicht den Komplex derselben kontrahieren, wie z. B. die Bewegungen des Zeigefingers oder der grossen Zehe.

Dieser auf den ersten Blick gewichtige Widerspruch stellt sich aber tatsächlich als ein scheinbarer heraus, und die erwähnten Bewegungen erscheinen bei näherer Bekanntschaft als Akkord einiger Muskeln. So findet z. B. bei den Bewegungen des Zeigefingers stets eine gleichzeitige Kontraktion seiner Antagonisten, der Fingerbeuger, statt.

Dasselbe wird auch bei den Bewegungen der grossen Zehe beobachtet u. s. w.

Die Annahme der Existenz kleiner Koordinationszentren des Rückenmarks befindet sich in vollem Einklange damit, was in der letzten Zeit für die cerebralen Lokalisationen festgestellt worden ist.

Bei der Reizung der Grosshirnrinde erhielten die Autoren eine Kontraktion ganzer Muskelkomplexe und nicht die eines einzelnen Muskels. Ebenso bemerkten sie, dass für die kortikalen Hirnlähmungen ein gleichzeitiger Verlust der Beweglichkeit ganzer Muskelgruppen und nicht eines einzigen Muskels charakteristisch ist.

Offenbar gibt es sowohl im Grosshirn als im Rückenmark Zentren für bestimmte Muskelakkorde und Willenstribe ohne Beziehung zu einem bestimmten Muskel.

Jastrowitz (X. internationaler Kongress) will allerdings kortikale Krämpfe des einen M. extensor hallucis infolge eines Solitärtuberkels der Hirnrinde gesehen haben. Diese Beobachtung erscheint aber wenig überzeugend.

In gleichem Maße beweisend sind die Beobachtungen von Macewen and Keen, Horsley and Keen, welche eine Lähmung der Thenarmuskulatur infolge einer Affektion der Hirnrinde gesehen haben (Oppenheim, Die Geschwülste des Gehirns. 1896. S. 63).

Diese Beobachtungen scheinen um so bedeutungsloser zu sein, als man dann für jeden Muskel der Extremität ein besonderes Zentrum des Kopfhirns annehmen müsste. Für eine solche Annahme fehlen uns aber alle Anhaltspunkte. Im Gegenteil sind jetzt alle Autoren (Munk, Gowers, Anton, Wernicke, Mann und viele andere) darüber einig, dass man es im Grosshirn nicht mit Zentren für Muskeln, sondern mit Zentren für einzelne Bewegungen zu tun hat, so dass eine Affektion des Grosshirns Lähmungen gewisser motorischer Funktionen — wie z. B. der Flexion im Knie oder der Extension im Fussgelenk —, nicht aber Lähmungen des einen oder des anderen im Dienste dieser Funktion stehenden Muskels nach sich zieht.

Die Annahme der Existenz der besprochenen spinalen kleinen

koordinierten Zentren wäre demnach nur die weitere Entwicklung desselben Lokalisationsprinzips, als dessen Grundlage keine anatomische Einheit des Körpers, sondern eine an dieselbe geknüpfte Funktion erscheint.

Dasselbe Prinzip muss — wenn es nach einem gewissen System in verschiedenen anderen Gebieten durchgeführt wird — eine bedeutende Vereinfachung der Auffassung der Willensbewegungen herbeiführen.

Nach dem gegenwärtigen Stande unserer Vorstellungen (Köl liker, Waldeyer, Monakow, Hering u. a.) wissen wir gar nicht, wo die Station liegt, in der verschiedene Muskeln für die betreffende Willensbewegung koordiniert werden. Es ist jedoch allgemein bekannt, dass hierbei die Hauptrolle den Pyramidenbahnen zukommt. Diese letzteren zerfallen bekanntlich im Rückenmark in kollaterale Zweige, enden in verschiedenen Rückenmarkssegmenten und verrichten ihre Aufgaben in der Weise, dass sie nach der Meinung der Autoren diesen oder jenen Muskel — in bestimmter Auswahl — unmittelbar oder durch Vermittlung einer Schaltzelle (nach Monakow) erregen.

Diese Auswahl und diese Koordination mehrerer Muskelakte erklärt Hering³³⁾ durch das Vorhandensein von cerebros spinalen Impulsen dreier Grade.

Bei den Impulsen ersten Grades wird eine Faser der vorderen Wurzel erregt, was eine Kontraktion mindestens zweier Fasern des betreffenden Muskels nach sich zieht.

Der zweite Grad der Koordination äussert sich in einer Kontraktion aller Fasern des betreffenden Muskels oder des grössten Teils desselben.

Bei dem dritten Grade der Koordination werden alle Fasern oder der grösste Teil desselben bei vielen Muskeln gleichzeitig kontrahiert. Diese Einteilung in Grade erklärt aber doch wenig.

Diese Erscheinungen rücken unserem Verständnis jedoch näher, wenn wir der aufgestellten Hypothese gemäss die möglichen Bewegungen unserer Extremitäten in einfachere Akte zerlegen, von denen jeder sein besonderes Zentrum im Rückenmark oder, genauer, in einer seiner Vorderhorngruppen, mit denen die Pyramidenbahnen verbunden sind, besitzt.

Mit der Annahme der Existenz dieser Zentren wird die Aufgabe der Pyramidenbahnen vereinfacht. Sie werden den fertigen Koordinationszentren Willensvorstellungen übermitteln und nur die Funktion der Leitungsbahnen übernehmen, ohne auf eine höhere Rolle des Verstandes oder des Willens, die ausschliesslich den höheren kortikalen Zentren zukommt, Anspruch zu machen. Diese höheren Zentren senden

ihre Befehle den schon fertigen, mit bestimmter Muskelauslese versehenen Rückenmarksstationen zu, indem sie von diesen Stationen jedesmal diejenige wählen, die dem erforderlichen Muskelakkord entspricht.

Auf diesem Wege können die kortikalen Zentren die kompliziertesten Bewegungen ausführen, indem sie mit diesen kleinen spinalen Zentren wie auf einer Klaviatur arbeiten: sie erregen hinter einander verschiedene Zentren mit ihren festen stereotypen Muskelverbindungen (allein oder Kombination einiger Zentren) für die einfachsten Bewegungen und bringen dadurch den gewollten komplizierten Akt zustande.

Von diesem Standpunkte aus wird uns die Geschwindigkeit unserer Willensbewegungen, die stete Bereitschaft unserer motorischen Organe zur Tätigkeit, ihre rasche Erholung bei verschiedenartiger Arbeit und die unangenehme Empfindung der Müdigkeit bei monotoner Tätigkeit begreiflich.

Zur Geschwindigkeit der Willensakte trägt namentlich der Umstand bei, dass der Wille seinen Impuls nach einem bestimmten spinalen Zentrum mit einer fertigen, festen, für den betreffenden Zweck erforderlichen Kombination von Muskeln entsendet, ohne die Auswahl der letzteren für den betreffenden motorischen Akkord zu besorgen, und dadurch die dazu nötige Zeit spart.

Die gegenseitige Ablösung der Bewegungen, die Änderung ihrer Richtung wird dabei nur durch die Erregung bald des einen, bald des anderen oder mehrerer spinaler Zentren zusammen erreicht, deren Dienst dabei erforderlich ist.

Dank dieser Ablösung der arbeitenden Zentren kann jedes derselben mehr oder minder ausruhen, während sein Nachbar arbeitet.

Begreiflich wird auch die Bereitschaft der Muskeln zur Arbeit, da jeder von ihnen an dem betreffenden Willensakt nicht ganz, sondern nur partiell beteiligt ist, und mit der betreffenden Zellgruppe nur durch einen Abschnitt zusammenhängt. Infolge dessen wird ein Muskel auch während der intensivsten Arbeit nur in einem gewissen Teile, nur in einem kleinen Partikel angestrengt, während seine anderen Abschnitte ruhen.

Begreiflich wird auch die Ermüdung der Muskeln und Nerven bei monotoner Tätigkeit (z. B. beim Stehen etc.), bei der die Ablösung der Zentren und Muskeln sehr langsam erfolgt, während die Erregung des betreffenden Zentrums und die Anspannung der gleichen mit ihm kombinierten Muskelpartikel sehr lange anhält.

Eine mannigfaltige Arbeit wird durch Ablösung vieler Rückenmarkszentren bewirkt, von denen jedes während der eintretenden In-

aktivitätsperiode seine Energie wieder herstellen kann. Die monotonen Muskelakte kommen dagegen durch andauernde Erregung derselben grauen Kerne zustande, die unabgelöst bleiben, ohne Pausen arbeiten, und denen darum auch die Möglichkeit genommen ist, die verschwindenden Vorräte der Energie zu ergänzen.

Auch in einer anderen Beziehung vereinfachen wir durch die Einführung der Vorstellung von kleinen spinalen, je einen bestimmten motorischen Akt versiehenden Zentren unsere Auffassung von dem Mechanismus der willkürlichen Bewegungen.

Der Umstand, dass es unter den Muskeln Agonisten und Antagonisten gibt, bot immer grosse Schwierigkeiten für das Verständnis der Geschicklichkeit unserer Bewegungen. Die gleichzeitige Kontraktion beider Muskelarten würde nach der Meinung der Autoren nur sehr langsame und schnell ermüdende willkürliche Bewegungen zulassen. Man meinte daher, dass jeder Muskelakt zur schnelleren und energischeren Ausführung der Bewegung von einer Erschlaffung der Antagonisten begleitet werden müsste.

Von diesem Gedanken ausgehend, kamen Mann, Hering u. a. zu dem Schlusse, dass während die unsere willkürlichen Bewegungen beherrschenden Pyramidenbahnen die aktiven Impulse zu den Muskeln befördern, welche an dem betreffenden koordinierten Akt teilnehmen, sie gleichzeitig die Antagonisten hemmen, deren Kontraktion dem gewollten Akt hinderlich wäre. Diese Aufgabe erfüllen die Pyramidenfasern nach diesen Autoren in der Weise, dass jede derselben zwei ins Gleichgewicht gebrachte Muskeln, einen Agonisten und einen Antagonisten, kombiniert. Die Erregung dieser Pyramidenfaser hat daher nur die Kontraktion eines dieser beiden entgegengesetzte Funktionen ausübenden Muskeln zur Folge, und zwar wird einer kontrahiert, während der andere gehemmt wird und erschlafft.

Diese sehr geistreiche Erklärung leidet an einigen Mängeln.

Vom Standpunkte dieser Autoren müsste man annehmen, dass unsere willkürlichen Bewegungen ohne Beteiligung der Antagonisten ausgeführt werden. Tatsächlich aber sind die letzteren sehr tätig.

Eine unserer einfachsten Bewegungen, wie die Zusammenballung der Hand zur Faust, kommt — wie uns die tägliche klinische Erfahrung bei Verletzung des N. radialis lehrt und wie das durch die Heringschen experimentellen Arbeiten erwiesen ist — nicht nur durch die Kontraktion der Finger- und Handbeuger, sondern auch noch durch die Anspannung der Antagonisten der oben erwähnten Muskeln, nämlich der Mm. ulnaris und radialis externi zustande.

Die Fixierung eines gestreckten Gelenks, wie z. B. des Knie- oder

Ellbogengelenks, geschieht ebenfalls nur durch gleichzeitige Anspannung der Agonisten und der Antagonisten u. s. w.

Wir sehen also, dass die Muskeln, deren Kontraktion von dieser Theorie geleugnet wird, nicht nur unstreitig funktionieren, sondern sogar die Geschicklichkeit derjenigen Bewegungen, die sie erschweren sollten, erhöhen.

Erkennen wir aber an, dass es im Rückenmarke kleine Koordinationszentren giebt, die zur Erreichung eines bestimmten Effekts eine gewisse Auswahl von Muskeln benutzen, so bedürfen wir der Hypothese von der Erschlaffung der Antagonisten bei der Kontraktion der Agonisten und umgekehrt nicht mehr. Die Koordinationszentren können, falls das erforderlich ist, gleichzeitig die Agonisten und Antagonisten zur Kontraktion bringen.

Durch diese Anerkennung befreien wir uns zwar von der Notwendigkeit, mit hemmenden Fasern zu rechnen, ein Verlust kann aber darin nicht erblickt werden, denn in Wirklichkeit hat diese Fasern niemand gesehen.

Obwohl Schrader, Mann, Sherrington, Hering und Sherrington sie als vorhanden betrachten, so finden sie doch für sie kein spezielles Bündel und schreiben die betreffende Funktion denselben Pyramidenfasern zu, welche gleichzeitig die Willensimpulse leiten. Den Pyramidenbahnen werden darum zweierlei Fähigkeiten zugeschrieben, erstens die Fähigkeit, die Agonisten zur Tätigkeit anzuregen, zweitens gleichzeitig die Antagonisten in Untätigkeit zu versetzen. Eine solche Komptabilität reimt sich mit unseren modernen physiologischen Vorstellungen schlecht zusammen.

Seine Hypothese von den hemmenden Pyramidenfasern begründet Mann durch die Verteilung der Lähmungen bei cerebralen Hemiplegien.

Er stützt sich dabei auf die bekannte Tatsache, dass die Strecker bei den Hemiplegien stets stärker betroffen sind als die Beuger und eine viel geringere Tendenz zur Genesung zeigen.

Dieser Umstand, der wohl gegen die Existenz kleiner spinaler Koordinationszentren sprechen könnte, ist aber in Wirklichkeit gar nicht vorhanden.

Die neueren Untersuchungen lehren nämlich, dass bei den cerebralen Hemiplegien alle Muskelarten gleich affiziert sind, nur steht die Schwäche des Muskels in umgekehrtem und seine Restaurationsfähigkeit in direktem Verhältnis zu der Zahl seiner Fasern. Darum erscheinen die kleinen faserarmen Muskeln in höherem Grade geschwächt als die voluminösen, die mehr Kraft behalten.

Gerade so wird diese Frage von Hering und Clavey gelöst, mit denen auch Pierre Marie vollständig einverstanden ist.

Erkennen wir die Existenz niederer motorischer Zentren, die die Muskelakkorde koordinieren, an, so erscheint uns die grössere Regenerationsfähigkeit der Flexoren in einem sehr einfachen Lichte.

Da die Flexoren aktiver sind und in unseren Bewegungen eine grössere Rolle spielen, als die Extensoren, so bilden sie auch einen grösseren Bestandteil der Muskelsynergismen, als die letzteren. Jedes unserer spinalen Zentren beherrscht mehr Beuger, als Strecker. Die ersteren entwickeln bei unseren motorischen Verrichtungen die grösste Kraft, die letzteren verleihen bloss unseren Bewegungen grössere Gleichmässigkeit und Geschicklichkeit.

Derselbe Unterschied zwischen diesen beiden Muskelarten bleibt auch während der zerebralen Hemiplegie bestehen. Infolge dessen entfalten die spinalen Zentren bei den ersten Zeichen der Restauration der affizierten Körperhälfte mehr Flexions- als Extensionskraft, trotzdem sie die mit ihnen verbundenen Muskelpartikel gleichmässig innervieren.

Durch das Vorhandensein solcher Zentren, die stets dieselben festen Kombinationen diverser Muskelabschnitte beherrschen, wird auch das Verständnis vieler unserer Reflexbewegungen, z. B. derjenigen, welche auf einen Stich in die Fusssohle, auf Beklopfen des Ligamentum patellae oder des Processus styloideus radii folgen, erleichtert.

Bei Erörterung dieser Frage geben die Autoren für die Reflexbewegungen eine anatomische Erklärung. Die Möglichkeit dieser Bewegungen werde durch das Zusammentreffen der Kollateralen der hinteren Wurzeln mit den Muskelzentren des Rückenmarks bedingt. Es wird dabei vorausgesetzt, dass jeder besondere Muskel sein Zentrum besitzt, und dass die Kollateralen, die in mehreren Etagen über einander liegen, den Reiz nach diesen Zentren fortpflanzen. Infolge dessen soll z. B. der Schmerz oder die Berührung der Sohle, die nach dem Rückenmark fortgeleitet wird, eine koordinierte Kontraktion hervorrufen.

Diese Erklärung bedarf einer wesentlichen Korrektur.

Neuere Untersuchungen (Bickel⁵⁾, Lapinsky³⁹⁾) haben gezeigt, dass die kollateralen Zweige einer bestimmten hinteren Wurzel verschiedene Länge besitzen. Nur die alleruntersten Äste — und von diesen auch nur die im aufsteigenden Zweige der hinteren Wurzel beginnenden — dringen in das Vorderhorn tief ein und treten mit den Vorderwurzelzellen in Berührung, dagegen sind die anderen Kollateralen, die in höherliegende Segmente eintreten, und auch die, welche im absteigen-

den Zweige beginnen, sehr kurz. Sie reichen nur bis zu den Clarkeschen Säulen und können wenig oder gar nicht zur Übermittlung der Erregungen an die Vorderhörner dienen.

Infolge eines solchen Unterschiedes in der Länge der Kollateralen können an einem Punkte ausgeübte Reize, die also nur eine Faser der hinteren Wurzel erregen, bei der Fortpflanzung auf die Kollateralen derselben nur die Vorderhornzellen einer kleinen horizontalen Etage des Rückenmarks erreichen.

Reflektorische Entladungen sind darum nur in der Ausdehnung einer kleinen Etage, und zwar nur in der Nähe des Eintritts der hinteren Wurzel denkbar.

Nur in dieser Höhe ist eine Berührung zwischen den einen gewissen Reiz tragenden sensiblen Fasern und den motorische Funktionen einschliessenden Zellen möglich.

Unter diesen Umständen ist eine reflektorische Kontraktion nur in denjenigen Muskeln möglich, deren Innervationskerne auf dem Wege der hinteren Kollateralen liegen, also in jener kleinen Etage des Vorderhorns, in die diese Kollateralen eindringen.

Angesichts dieser Sachlage wird die frühere Erklärung der Reflexbewegungen, die von der Voraussetzung ausgeht, dass es im Rückenmark besondere Kerne für jeden Muskel gibt, schwer verständlich.

Ziehen wir sowohl die beschränkte Anzahl der betreffenden Kollateralen, als ihre horizontale Anordnung in einer kleinen Etage in Betracht, so müssten reflektorische Kontraktionen nach dieser Erklärung nur in einem Muskel oder in einer geringen Anzahl derjenigen Muskeln erfolgen, die zusammen in demselben Segmente der Extremität liegen, und deren spinale Zentren sich zufällig auf der Bahn der in Erregung versetzten Kollateralen zusammenfanden.

Tatsächlich aber beobachten wir gewöhnlich in den Reflexbewegungen Kontraktionen mehrerer Muskeln, die nicht in einem beschränkten Territorium liegen, sondern meist an verschiedenen Abschnitten der Extremität befestigt sind, deren spinale Kerne darum in vielen Rückenmarkssegmenten zu suchen sind.

Nehmen wir z. B. einen der einfachsten Reflexe, die Fussbewegung nach Kitzeln der Sohle.

Die an diesem Akte teilnehmenden Muskeln sind recht zahlreich und ihre Kombination kann als die besterforschte betrachtet werden.

Hierher gehören die Fuss- und Zehenstrecker, *Mm. tensor fasciae latae*, *biceps femoris*, *semitendinosus* und *semimembranosus* — im ganzen gegen sieben Muskeln.

Da die in verschiedener Höhe der unteren Extremität liegenden

Muskeln ihre Nervenfasern aus den 4. und 5. vorderen Lumbalwurzeln beziehen, so ist nach der herrschenden Anschauung zur Entstehung der betreffenden Reflexbewegung die Erregung eines grossen Abschnitts des Lumbalmarks erforderlich, der diesen beiden vorderen Wurzeln entspricht.

Eine so ausgedehnte Erregung kann aber nur dann angenommen werden, wenn das Gebiet mehrerer sensibler Nerven oder richtiger das Gebiet der 4. und der 5. hinteren Wurzel erregt wird, denn nur dann werden die Kollateralen den Reiz an die Vorderhörner der betreffenden Segmente übermitteln.

Allein auch durch eine so ausgedehnte Reizung der Extremität und die Erregung zweier oder mehrerer hinterer Wurzeln würde der Mechanismus unseres Reflexes doch nicht verständlich werden.

Wir wissen, dass die 4. und 5. vordere Lumbalwurzel nicht nur die an dem Kitzelreflex der Sohle teilnehmenden Muskeln, sondern auch noch mehrere andere versorgen. So beherrscht die 4. vordere Lumbalwurzel — wie das eingehender oben S. 477 ausgeführt ist — dreissig Muskeln. Ebenso gross ist die Zahl der Verbindungen der 5. Wurzel. Alle diese Muskeln, darunter auch die *Mm. quadriceps, gastrocnemius, plantaris, soleus, popliteus*, die unter gewöhnlichen Bedingungen an dem betreffenden reflektorischen Akt nicht teilnehmen, müssten es doch tun, wenn dieser Reflex nur durch die ausgedehnte Erregung der Vorderhörner des erwähnten grossen Abschnittes des Lumbalmarks bedingt wäre.

Wir wissen aber andererseits, dass dieser Reflex nicht nur beim Kitzeln der Sohle, sondern auch beim Stich in diese Gegend zustande kommt; der Reflex entsteht also auch dann, wenn der Reiz nur einen Punkt und folglich auch nur eine Nervenfaser trifft. Da diese Faser einer hinteren Wurzel angehört und nur 2—4 lange Kollateralen entsendet, deren Verbreitungsgebiet — wie wir wissen — nur eine horizontale Etage und nur einen kleinen Teil eines Segments umfasst, so kann ein solcher Stich, oder überhaupt ein so beschränkter Reiz nur eine geringe Zahl von Zellen in Erregung versetzen; unter keinen Umständen wäre aber dieser Reiz imstande, eine Massenerregung der Zellen zweier Rückenmarkssegmente hervorzurufen.

Nur durch diese isolierte Erregung einer geringen Zahl von Zellen und durch den Ruhezustand der übrigen, benachbarten Zellen kann der Umstand erklärt werden, dass aus dem betreffenden reflektorischen Akte eine Menge von Muskeln ausgeschlossen sind, und dass an ihm nur erwähnte sieben Muskeln teilnehmen, trotzdem die spinalen Zentren aller dieser Muskeln neben einander in dem-

selben Lumbalabschnitt nach allgemeinen Anschauungen liegen sollen und dieselben vorderen Wurzeln versorgen.

Wir sehen ferner, dass dieser Reflex ausbleibt, falls man nicht die Sohle, sondern die benachbarten Gebiete reizt.

So ruft ein Stich in das untere Viertel der vorderen oder hinteren Seite des Unterschenkels die betreffende Reflexbewegung nicht hervor, trotzdem diese Gegend zum Gebiet der 4. und der 5. hinteren Wurzel gehört.

Es ist klar, dass das Zustandekommen des Reflexes nicht von der Erregung aller der 4. und der 5. hinteren Wurzel gehörenden Fasern abhängt, sondern dass dazu die Reizung einer beschränkten Zahl dieser Fasern erforderlich ist, die mit einer nur geringen Zahl von Zellen, einer in einer kleinen Rückenmarksetage liegenden Gruppe, in Berührung kommen können.

Die Konstanz und die Gleichheit der Form dieses Reflexes bei vielen Tieren wird nach der Meinung der Autoren nur durch den anatomischen Verlauf der Kollateralen der hinteren Wurzeln bedingt.

Würde aber die Form der reflektorischen Kontraktion nur von der anatomischen Lage der Kollateralen abhängen, so müsste — nach den früheren Vorstellungen von den spinalen Muskelzentren — beim Stich in die Sohle, bei dem der Reiz nur eine Hinterwurzelfaser trifft, keine Kontraktion aller an dieser Reflexbewegung beteiligten Muskelmassen, sondern nur eine Zusammenziehung der Fussmuskeln erfolgen, da nach der allgemein verbreiteten Auffassung die Rückenmarkszentren für den Fuss unterhalb der Zentren für den Ober- und Unterschenkel liegen und die sensible Innervation des Fusses doch in derselben Höhe des Rückenmarks lokalisiert wird, in der sich die entsprechenden Muskelzentren befinden.

Bei der Erklärung des Mechanismus des betreffenden Reflexes wurde früher nicht genügend auf die Länge der Hinterwurzelkollateralen geachtet. Es bestand ausserdem die Überzeugung, dass jeder Muskel sein eigenes Zentrum besitze und dass es jeder sensiblen Faser, welche 6—8 Kollateralen entsendet, möglich ist, Vorderhorngruppen verschiedener Segmente, darunter auch die Kerne der beteiligten Muskeln, gleichzeitig in Erregung zu versetzen. Bei solcher Auffassung ist es aber begreiflich, dass ein Stich in die Sohle eine reflektorische Kontraktion mehrerer, und zwar stets derselben Muskeln hervorrufen kann, die in verschiedenen Abschnitten der Extremität liegen und deren Zentren sich in verschiedenen Rückenmarksegmenten befinden.

Es muss uns aber jetzt klar werden, dass zu einer reflektorischen

— und dabei noch bei vielen Tieren identischen — Kontraktion dieser vielen Muskeln eine der beiden folgenden Bedingungen erforderlich ist.

Entweder ist eine gleichzeitige Reizung vieler sensibler Fasern oder, richtiger, vieler hinterer Wurzeln notwendig, damit sie den Reiz an verschiedene Rückenmarkssegmente, an die besonderen Zentren jener vielen Muskeln, welche die betreffende Reflexbewegung ausführen, übermitteln. Das wäre eine Bedingung.

Oder aber der Reiz müsste durch eine sensible Faser fortgepflanzt werden und nur an ein Zentrum gelangen. Dieses Zentrum, welches einerseits mit allen an dem betreffenden reflektorischen Akt beteiligten Muskeln verbunden ist und ihre Bewegungen koordiniert, steht andererseits nur mit denjenigen sensiblen Fasern in Berührung, welche bei dem Stich in die Sohle gereizt werden.

Aus diesem Grunde wird dieses Zentrum nur durch das Stechen der Sohle in Erregung versetzt, ohne auf die Reizung der benachbarten Hautabschnitte zu reagieren.

Hier ist auch die Erklärung dafür zu finden, warum dieser Reiz, der ja nur ein Zentrum trifft, stets bei allen Tieren, deren Sohle gereizt wird, genau dieselbe Bewegung hervorrufen muss.

Das wäre der Mechanismus der zweiten Art von Bedingungen, unter denen dieser Reflex zustande kommen kann.

Sowohl bei der ersten Bedingung, als bei der früheren Auffassung, die eine Fortpflanzung der Erregung aus einer sensiblen Faser zugleich nach mehreren Rückenmarkssegmenten für möglich hält, bleibt es unverständlich, warum wir diesen Reflex nicht beim Stechen der Wade oder anderer Teile des Unterschenkels erhalten, da der Reiz doch auch von hier an mehrere Rückenmarkssegmente übermittelt wird. Ebenso wenig können wir uns erklären, warum beim Stich oder bei einem Reiz anderer Art, von dem dieser oder jener Punkt der Sohle getroffen wird, jedesmal nur auserwählte Zellgruppen des Rückenmarks und nicht alle Kerne einiger Lumbalsegmente ohne Unterschied in Erregung versetzt werden, oder warum die betreffende Reflexbewegung vollständig koordiniert und zweckmässig ist und sich stets in gleicher Form vollzieht.

Diese beiden Erklärungen — die erste Bedingung und die alte Lehre — geben keine Antwort darauf, warum auf derartige Reize nicht eine sinnlose Anspannung aller derjenigen Muskeln der unteren Extremität folgt, die von dem 4. und 5. Lumbalsegment versorgt werden, d. h. zu den gereizten Segmenten gehören.

Ist aber die zweite Bedingung erfüllt, so verschwinden alle auf-

gezählten Zweifel und die oben gestellten Fragen finden eine befriedigende Lösung.

Der sogenannte Reflexbogen besteht danach aus der Hinterwurzelkollateralen und aus einem der spinalen motorischen Zentren, das in diesem speziellen Fall zum Zentrum des betreffenden Reflexes wird.

An diesem Reflexe nimmt offenbar nur einer der zahlreichen spinalen Kerne teil, nämlich derjenige, der auf dem Wege der in der Haut der Sohle beginnenden Fasern, resp. Kollateralen liegt. Aus leicht begreiflichen Gründen wird dieses Zentrum nur dann erregt, wenn der Reiz von der Sohle ausgeht, und reagiert darauf jedesmal durch die Kontraktion aller Muskelteile, die es kombiniert.

Deshalb eben folgt auf jeden Reiz der Sohle eine Kontraktion nicht der gesamten von dem 4. und 5. Segment aus versorgten Muskulatur, sondern nur derselben sieben Muskeln, die bei diesem Reflex stets teilnehmen. Aus diesem Grunde bleibt sich dieser Akt auch immer gleich, einerlei ob er durch einen starken oder schwachen Reiz zustande kommt.

Alles, was wir in Bezug auf den Kitzelreflex der Sohle gesagt haben, ist auch auf andere Reflexe anwendbar; auch sie werden durch Reizung eines bestimmten Punktes hervorgerufen und äussern sich in stets gleicher Form in Kontraktion eines ganzen Muskelkomplexes.

Die Reflexanspannung dieses Muskelakkords können wir uns am besten dadurch erklären, dass wir ein bestimmtes spinale Zentrum annehmen, welches den betreffenden Synergismus kombiniert und das in diesem Fall von der Peripherie aus erregt wird.

Gehen wir von einer solchen Hypothese aus, die das Vorhandensein spinaler Zentren, in denen bestimmte Reflexbewegungen koordiniert werden, zulässt, so können wir uns auch die Schwankungen in der Intensität der Reflexe erklären; es wird uns verständlich, warum wir in einem Falle eine sehr starke Kontraktion aller am betreffenden Reflex beteiligten Muskeln, in anderen Fällen eine nur schwache Anspannung derselben beobachten.

Diese Schwankungen in der Intensität des Reflexes lassen sich offenbar sehr gut durch die jetzt allgemein anerkannten Erregbarkeitsstufen des Zentrums, resp. seiner Zellen — ihre Ermüdung oder ihre Erregung — erklären.

Hat Ramon-y-Cajal Recht, wenn er der Natur das Bestreben zuschreibt, überall Zeit, Raum und Material zu sparen, so müssen auch die willkürlichen Bewegungen von denselben niederen Rückenmarkszentren versorgt werden, die unter anderem auch an den Reflexakten beteiligt sind.

Diese Voraussetzung hat um so mehr Berechtigung, als die Reflexkontraktionen und die willkürlichen Bewegungen von denselben Muskeln ausgeführt werden und die beiden Arten der Muskelkontraktionen in gleicher Form vor sich gehen.

In der Tat weist eine Reihe allbekannter Tatsachen darauf hin, dass dieser Schluss durchaus begründet ist.

Nehmen wir als Beispiel den eben besprochenen einfachsten Kitzelreflex der Sohle, an dem — je nach dem Grad der Reizung — die *Mm. extensores digitorum longi et breves, tensor fasciae latae, biceps femoris, semitendinosus* und *semimembranosus* teilnehmen.

Dieser reflektorische Akt kommt beim Stich in die Sohle des Menschen oder des Tieres zustande, und zwar erfolgt er — bei gleicher Reizstärke — mit mathematischer Genauigkeit stets durch die Kontraktion derselben Muskeln; dabei wird die Extremität in mehreren Gelenken flektiert und dadurch verkürzt.

Eine solche Reflexbewegung kommt auch bei Tieren mit durchschnittenem Rückenmark, also auch bei Aufhebung der Einmischung des Bewusstseins und des Willens zustande.

Auch bei solchen Kindern, bei denen von bewussten Absichten und vernünftigen Bewegungen keine Rede sein kann, können wir dieselbe Bewegung beobachten.

Derselbe Muskelakt, den wir bei Tieren und Kindern, welche die Fähigkeit des Denkens und der bewussten Auswahl nicht besitzen, finden, kommt aber beim erwachsenen Tier nicht nur als reflektorische, sondern auch willkürliche, bewusste Bewegung vor.

Wünscht das Individuum z. B. seinen Fuss vor etwas Unangenehmem zurückzuziehen, so verkürzt es seine Extremität, indem es gerade diejenigen Muskeln anspannt, die sich bei ihm beim Kitzeln der Sohle reflektorisch kontrahieren, und entfaltet dabei dieselbe Energie, die bei diesem Reflex entfaltet wird.

Offenbar existiert im Rückenmark schon in den ersten Lebenstagen ein einfaches funktionelles Zentrum, das einerseits der für die willkürlichen Bewegungen bestimmten Pyramidenbahn untergeordnet ist, und das sich andererseits mit den Hinterwurzelkollateralen in Kontakt befindet.

Oder nehmen wir ein anderes Beispiel:

Beim Hunde beobachten wir einen sehr kompliziert koordinierten Akt des Kratzens der Interkostalräume mit der Pfote; auf diese Weise vermag das Tier die es beunruhigenden Insekten zu entfernen.

Sieht man diese Bewegungen von einem erwachsenen Tiere ausgeführt, das seine lokalen Feinde: Flöhe, Läuse etc. verfolgt, so hat

man den Eindruck, als ob dieser Akt ein Resultat der Tätigkeit des Grosshirns, von dem Kampf ums Dasein geschaffen, streng überlegt wäre u. s. w.

An diesem Akt nehmen die *Mm. glutei, adductores, quadriceps, tibialis, peronei, extensores digitorum, flexores digitorum* und viele andere Muskeln der unteren Extremität teil, die dazu beitragen, die Harmonie dieser Bewegung, in der alles von der Überlegung und dem diesen Akt leitenden Willen zu zeugen scheint, zu vergrössern.

Allein genau dieselbe Bewegung wird auch vom unvernünftigen jungen Hunde ausgeführt, der keine Ahnung von seinen Feinden hat, und denselben Akt beobachten wir auch bei Tieren mit durchschnittenem Rückenmark, bei denen das Grosshirn, das Organ des Willens und der Vernunft, vom Rückenmark getrennt ist.

Auch hier gibt es offenbar ein besonderes Zentrum, aus dem alle an der Kratzbewegung beteiligten Muskeln Nervenfasern beziehen. Einerseits ist dieses Zentrum mittelst der Pyramidenbahn dem Willen untergeordnet, andererseits aber hängt es mit den sensiblen Wurzeln zusammen und kann durch die Vermittlung der Hinterwurzelkollateralen reflektorisch funktionieren. Ob die dieses Zentrum betreffende Erregung von der Peripherie oder von der Hirnrinde herkommt — in beiden Fällen wird sie dieselbe genau bestimmte Bewegung hervorrufen, die von diesem Zentrum koordiniert wird.

Ähnliche Beispiele, welche zeigen, dass genau derselbe Akt sowohl willkürlich als reflektorisch durch die Anspannung desselben Synergismus, d. h. durch die Erregung desselben spinalen Zentrums zustande kommt, können in anderen Reflexbewegungen gefunden werden.

Reiches Material für solche Beispiele liefern sowohl die experimentelle Physiologie als auch klinische Krankengeschichten.

Wir sind berechtigt anzunehmen, dass diese niederen Koordinationszentren, die dem Willen dienen, wenn sie Impulse aus dem Grosshirn erhalten, und die reflektorische Verrichtungen ausüben, wenn sie von der Peripherie her erregt werden, — unter Umständen auch eine mehr unabhängige Tätigkeit entfalten, indem sie in den Fällen, in denen sie die Leitung und Kontrolle des Grosshirns verlieren, sich zur Ausübung einer Reihe selbständiger oder automatischer Verrichtungen befähigt erweisen.

Nur durch solchen hohen Grad der Koordination dieser spinalen Zentren und durch ihre Fähigkeit zu selbständiger Tätigkeit lassen sich diverse motorische Akte bei Tieren erklären, bei denen das Grosshirn entfernt worden ist.

Nur nach einer solchen Erklärung werden z. B. die Bewegungen des Soltzschen Hund und des Munkschen Affen nach Entfernung der motorischen Grosshirnsphäre verständlich. Diesen Tiere wurden die Zentren für die beiden Vorder- und Hinterpfoten extirpiert. Danach verschwanden nicht nur die Rindenzentren, sondern auch die Pyramidenfasern (Koordinationsfasern), die an die Muskeln die kortikalen Impulse übermitteln.

Nichtsdestoweniger waren solche Affen — nach der Munkschen Beschreibung — imstande, an einem Gitter emporzuklettern, indem sie sich an den Stangen hielten. Zuweilen beobachtete Munk, wie ein solches Tier seine hintere Extremität mit seiner Hand ergriff und sie stundenlang krampfhaft umklammerte.

Goltz beobachtete nach Exstirpation derselben Zentren bei Tauben und Hunden eine ebensolche Restitution der Bewegungen.

Hierher gehört wahrscheinlich auch die Beobachtung von Starlinger, dessen Hund sich zu bewegen vermochte, sobald er sich von der Operation erholte, trotzdem seine Pyramidenbahnen in der Höhe des verlängerten Marks beiderseits ausgeschnitten worden waren und die kortikalen Koordinationszentren darum ihre Pläne dem Rückenmark nicht mehr mitteilen und an der Auswahl der für den betreffenden lokomotorischen Zweck erforderlichen Muskeln nicht mehr mitwirken konnten.

Magendie und Schiff beobachteten bei einem Kaninchen, dem die Pyramidenbahn durchschnitten worden war, eine fast bis zur Norm reichende Restitution vieler motorischer Funktionen.

Dasselbe stellte Redlich bei einer Katze fest.

Auf dieselbe Weise lassen sich auch jene vollständig koordinierten Bewegungen erklären, die wir beim Frosche, dem das Halsmark durchschnitten ist und bei dem doch Verstand und Wille an den Bewegungen nicht mehr mitwirken können, beobachten.

Nur durch die Annahme eines hohen Grades von Automatismus der besprochenen spinalen Zentren kann man auch den bekannten Versuch mit der schwimmenden Ente erklären, die auch zu schwimmen fortfährt, nachdem ihr mit einem scharfen Säbel der Kopf abgeschnitten wird.

Offenbar werden die spinalen Zentren, auch nach Trennung von allen ihren im Kopfhirn und im verlängerten Mark liegenden Leitern, mit ihren Aufgaben in selbständiger Weise leicht fertig und bedürfen dazu der von den Grosshirnhemisphären kommenden Kontrolle nicht.

In dem hier in Vorschlag gebrachten Lokalisationssystem werden als Sitz der kleinen spinalen Zentren dieselben Abschnitte des Rücken-

marks angegeben, die Prevost-David, Hayem, Monakow, Erlitzky, Reynolds, Krause und andere nach Amputation einzelner Körperteile verändert fanden und die sie als spinale Zentren für Extremitäten betrachtet wissen wollten.

Aus denselben hier eingehend besprochenen kleinen Rückenmarkszentren werden auch jene Zellsäulen zusammengesetzt, die in den Arbeiten von Sano, Brissaud, Collins, de Neeff, van Gehuchten und anderen erwähnt werden.

In dieser Beziehung geht das hier dargelegte System nicht über die Grenzen hinaus, innerhalb derer die Zentren anderer Autoren liegen.

Der Unterschied zwischen diesen und den hier in Vorschlag gebrachten Zentren betrifft ihre Zahl, ihren Umfang und ihre Kompetenz

Diese Zentren sind multiple.

Ihre Zahl ist viel grösser als die Zahl der Zentren Brissauds, van Gehuchens, de Nellis und anderer Autoren.

Sie muss wohl der Zahl der Funktionen nahe kommen, in deren Dienst die betreffende Extremität steht. Wahrscheinlich ist sie der Zahl der Vorderhornzellgruppen des Rückenmarks gleich; vielleicht aber weicht die Zahl der Zentren nach der einen oder anderen Seite ab.

Der Umfang der diese Zentren beherbergenden Konglomerate ist viel geringer, als das von Brissaud, van Gehuchten, de Neeff und anderen angegeben wird.

Die Kompetenz dieser Zentren ist im Vergleich zu der Kompetenz der Zentren anderer Autoren sehr beschränkt. Während die letzteren alle Funktionen einer bestimmten Extremität oder eines Segments derselben, eines bestimmten Nervenstamms oder Muskels leiten, üben die hier besprochenen Zentren nur eine ganz bestimmte Funktion aus. In der Auswahl von Muskeln zu diesem Zwecke sind diese Zentren aber sehr reich; darum gehören ihnen gleichzeitig Muskeln aus verschiedenen Segmenten an, die von verschiedenen Nerven versorgt werden.

Ausser diesen wichtigsten Merkmalen sind übrigens noch viele andere Züge vorhanden, in denen sich das hier vorgeschlagene Lokalisationssystem von den anderen unterscheidet.

Systeme spinaler motorischer Lokalisationen nach Brissaud, van Gehuchten, Marinesco, Knappe und anderen Autoren. Das auf Grund eigener Untersuchungen vorgeschlagene System der Lokalisation motorischer Funktionen.

Als Grundlage dieser Systeme dient das Prinzip, dass jede künstlich ausgeschiedene anatomische Einheit des Körpers im Rückenmark ein besonderes Zentrum besitzt.

Die Zahl der Zentren ist gering und entspricht der Zahl der anatomischen Einheiten.

Die Zentren besitzen keine anatomischen Grenzen.

Die Kompetenz dieser Zentren ist sehr gross und umfasst alle Verrichtungen der betreffenden anatomischen Einheit.

Die motorische Funktion dieser Zentren ist nicht bestimmt.

Das Kompetenzgebiet der Zentren ist durch die Grenzen der betreffenden anatomischen Einheit genau beschränkt.

Diese Systeme stimmen nicht mit dem Umstande überein, dass einzelne Muskeln gleichzeitig von mehreren vorderen Wurzeln versorgt werden.

Diesen Systemen widerspricht das Vorhandensein von Atrophien spinalen Ursprungs.

Als Grundlage dieses Systems erscheint ein Prinzip, wonach jede bestimmte Funktion, in deren Dienst verschiedene anatomische Einheiten oder Bruchteile derselben stehen, im Rückenmark ein besonderes Zentrum besitzt.

Die Zahl der Zentren ist sehr beträchtlich und gleicht der Zahl der an den betreffenden Körperteil geknüpften Funktionen.

Die Grenzen dieser funktionellen Grenzen sind sehr deutlich.

Die Kompetenz dieser Zentren ist auf die motorischen Funktionen der anatomischen Einheit und ihre Ernährung beschränkt.

Die motorische Funktion dieser Zentren lässt sich genau bestimmen.

Das Kompetenzgebiet ist anatomisch unbeschränkt. Das Zentrum versorgt viele Muskeln, die sowohl in den dem betreffenden Körperteile benachbarten, als auch in den entfernteren Abschnitten liegen.

Dieses System erklärt die Multiplizität der gleichzeitigen Versorgung einzelner Muskeln von mehreren Rückenmarkssegmenten aus und durch mehrere Wurzeln.

Die angenommenen spinalen Zentren erklären die Lokalisation der Muskelatrophien spinalen Ursprungs.

Diese Systeme sind ausser stande, die Identität der mit Hilfe vieler in diversen Körperteilen liegenden Muskeln zustande kommenden Reflexe bei verschiedenen Individuen zu erklären.

Die Beziehungen zu den willkürlichen Akten bleiben bei diesen Systemen unbekannt.

Die erörterten Systeme lassen die Beteiligung verschiedener spinaler Zentren an der Arbeit ausser acht.

Die Annahme der Existenz anatomischer spinaler Zentren steht im Widerspruch zu der Tatsache, dass sich Agonisten und Antagonisten gleichzeitig anspannen.

Das Vorhandensein spinaler Zentren, die alle Funktionen der anatomischen Einheiten versehen, widerspricht der Tatsache, dass koordinierte Kontraktionen durch Reizungen einzelner vorderer Wurzeln hervorgerufen werden können.

Die Existenz spinaler Zentren, die nur eine bestimmte anatomische Einheit versorgen, erklärt nicht die Bewegung der Tiere, denen das Grosshirn exstirpiert ist.

Das Vorhandensein spinaler Zentren erklärt die Identität des reflektorischen Aktes, der von verschiedenen Muskeln ausgeführt wird, welche zwar in verschiedenen Körperteilen liegen, aber doch von einem spinalen Zentrum beherrscht werden.

Das Vorhandensein spinaler Zentren erklärt die Geschwindigkeit der willkürlichen Bewegungen.

Die Annahme der Existenz kleiner spinaler Zentren macht es verständlich, warum das Nervensystem und die Muskeln stets zur Arbeit bereit sind und dabei leicht restituiert werden.

Das Vorhandensein besonderer spinaler Zentren, von denen jedes einen bestimmten Muskelakkord versorgt, erklärt die gleichzeitige Beteiligung der Agonisten und Antagonisten an den Willensakten.

Das Vorhandensein bestimmter funktioneller Rückenmarkszentren erklärt die Möglichkeit koordinierter Bewegungen nach Reizung einzelner vorderer Wurzeln.

Das Vorhandensein spinaler Zentren, welche eine bestimmte Funktion leiten, in deren Dienst viele in verschiedenen Körperteilen liegende Muskeln stehen, macht die koordinierten Bewegungen der Tiere nach Exstirpation des Grosshirns verständlich.

Schlussfolgerungen.

M. H.! Das oben Gesagte berechtigt uns zu folgenden allgemeinen Schlüssen:

Die gegenwärtig vorhandenen Systeme spinaler Lokalisationen gehen darauf hinaus, im Rückenmark ein Zentrum anzugeben, das alle Funktionen einer bestimmten Extremität oder eines Abschnittes derselben, eines Muskels oder einer synergischen Muskelgruppe, oder auch einzelner in dieser Extremität verlaufender Nervenstämme leitet.

Alle Systeme spinaler Lokalisationen, die auf einem solchen Prinzip aufgebaut sind, leiden an einem und demselben Fehler.

Die einzelnen anatomische Einheiten beherrschenden Zentren besitzen keine bestimmten Grenzen, sie konfluieren mit ihren Nachbarn, nehmen in sich ihre Wurzeln auf und dringen selbst ebenso tief in die benachbarten Zentren ein; auf diese Weise verlieren sie vollständig ihre Umrisse und ihre Individualität.

Aus diesem Grunde ist das gesuchte Zentrum für einen bestimmten Körperteil als etwas Isoliertes und Selbständig gar nicht vorhanden.

Ein solches Zentrum in einem physiologisch normalen Gehirn zu finden, ist nicht möglich. Es kann weder auf histologischem Wege, noch durch physiologische Versuche entdeckt werden. Es kann auch weder in klinischen Beobachtungen noch für pathologisch-anatomische Untersuchungen Verwendung finden.

Wir müssen daher dieses anatomische System verlassen und als Grundlage der spinalen Lokalisationen ein funktionelles Prinzip verwenden.

Nach diesem letzteren Prinzip müssen die im Rückenmark gelegenen Zentren nicht eine einzelne anatomische Einheit, sondern die Funktion, die diese Einheit auszuüben hat, repräsentieren.

Zu einem solchen Schlusse kommen wir auf Grund folgender Tatsachen:

1. Einzelne Zellkerne des Rückenmarks, die einen bestimmten Nerv versorgen, werden vom letzteren nicht vollständig absorbiert; diesbezügliche sorgfältige Untersuchungen zeigen, dass die Axenzylinder einer jeden spinalen Zellgruppe gleichzeitig zum Bestande mehrerer peripherer Nerven gehören.

Da auch diese Nerven Muskeln versorgen, die verschiedene Verrichtungen ausüben, so ist es klar, dass auch einzelne Rückenmarksgruppen gleichzeitig mit Muskeln verbunden sind, die verschiedene Funktionen besitzen (Pronatoren, Flexoren, Extensoren) und dazu noch in verschiedenen Abschnitten der Extremität liegen.

Da die Verbindung dieser einzelnen Zellgruppen mit den Nerven bei den Tieren stets dieselbe ist und da sich andererseits auch die Nervenstämme immer in fester Verbindung mit denselben Muskeln befinden, so müssen wir das Vorhandensein eines unveränderlichen und festen Zusammenhangs der einzelnen Zellkerne mit einer bestimmten Auslese von Muskeln anerkennen.

Jede Zellgruppe (der Hals- oder Lendenanschwellung), die 3—5 Nerven beherrscht, koordiniert auf diese Weise durch die Vermittlung dieser Nerven eine Anzahl von Muskeln, die die Zahl der ihr untergeordneten Nervenstämme übersteigt.

Bei der grossen Zahl der Vorderhorngruppen könnte die vorhandene Menge der Muskeln offenbar nicht ausreichen, wenn jeder Muskel in seinem ganzen Umfange ausschliesslich einem Nervenzellkern untergeordnet wäre. Diese Komplikation wird aber dadurch gelöst, dass die einzelnen Muskeln, die viele Male in diversen Kombinationen vorkommen und neue Verbindungen mit anderen Muskeln eingehen, sich mehrfach spalten und sich dann jedesmal nur in einem Teil der neuen Zellgruppe unterordnen.

Diese Behauptung befindet sich in vollem Einklang mit zahlreichen Beobachtungen, aus denen zu ersehen ist, dass einzelne Muskeln nicht von einer, sondern zugleich von mehreren vorderen Wurzeln versorgt werden und dass jede dieser Wurzeln nicht den ganzen Muskel, sondern nur gewisse Bündel desselben beherrscht.

Daraus ergibt sich von selbst der Schluss, dass einzelne Rückenmarkskerne, die mit einer bestimmten Auslese von Muskeln verbunden sind, nur gewisse Teile dieser Muskeln benutzen, während die anderen Teile unter die Herrschaft anderer Zellgruppen des Rückenmarks gelangen.

Die Muskulatur der betreffenden Extremität wird auf diese Weise mehrfach gespalten. Die Bruchteile werden mit einander in verschiedener Weise kombiniert, und jede dieser Kombinationen gelangt unter die Herrschaft einer besonderen Nervenzellgruppe des Rückenmarks. Und da aus den beiden mit einander verbundenen Grössen — der Nervenzelle und des Muskelbündels — die zweite nach den herrschenden Anschauungen als der ersten untergeordnet angesehen wird, so müssen die besprochenen Zellkerne als besondere Zentren angesehen werden.

Aus ihnen wird die spinale Innervation zusammengesetzt.

Sie unterscheiden sich von einander durch ihre Form, ihre freiliegenden Grenzen, vor allen Dingen aber durch ihre Funktion, da jedes Zentrum eine solche Kombination von Nerven und Muskeln beherrscht, die keiner anderen derartigen Kombination gleicht.

Ohne spinale Repräsentanten irgend welcher anatomischer Ein-

heiten zu sein, können doch die einzelnen Gruppen als Träger einer bestimmten Funktion betrachtet werden, und da die Muskeln zur Veränderung der Lage verschiedener Körperteile dienen, die Ernährung dieser Muskeln aber von den Nervenzellen des Vorderhorns abhängt, so müssen diesen Zentren motorische und trophische Funktionen zugeschrieben werden.

2. Da die Verrichtungen des Rückenmarks zum Teil in der Fortleitung motorischer und reflektorischer Impulse bestehen, und da sowohl diese wie jene durch dieselben Muskelgruppen realisiert werden, so würde diese Aufgabe am leichtesten durch die gleichen niederen motorischen Zentren gelöst werden können, da jedes dieser Zentren imstande ist, die erforderliche zweckmässige synergische Kontraktion in mehreren ihm untergeordneten Muskeln hervorzurufen.

Solche Zentren, die einerseits mit dem Kopfhirn verbunden sind, andererseits mit einer peripheren sensiblen Faser in Zusammenhang stehen, können sowohl für die willkürlichen als für die reflektorischen Verrichtungen benutzt werden.

3. Das Vorhandensein dieser motorischen Zentren erklärt sehr leicht die komplizierten reflektorischen Akte, an denen Muskeln aus verschiedenen Abschnitten der Extremität beteiligt sind.

Durch das Vorhandensein eines Reflexbogens und durch die — bis jetzt übliche — Annahme der Existenz besonderer spinaler Kerne für jeden einzelnen Muskel ist der Mechanismus einer derartigen reflektorischen Bewegung nicht zu erklären. Der Reflexbogen selbst, der nur in dem beschränkten Raume eines Rückenmarkssegments entsteht und zwar da, wo sich die Hinterwurzelkollateralen durch besondere Länge und Dichtigkeit auszeichnen, ermöglicht auch nur in dieser beschränkten Ausdehnung den für die reflektorische Bewegung erforderlichen Kontakt; aus diesem Grunde kann dieser Bogen wohl eine Kontraktion irgend eines Muskels hervorrufen, nicht aber eine gleichzeitige Kontraktion mehrerer in verschiedenen Segmenten der Extremität liegender Muskeln, wie das z. B. beim Kitzelreflex der Sohle, beim Kratzreflex der Seite u. s. w. beobachtet wird.

Der Umstand, dass es möglich ist, diese Reflexbewegungen durch die Reizung eines Hautpunktes auszulösen, legt den Gedanken nahe, dass die verschiedenen reagierenden Muskelgruppen, die in verschiedenen Segmenten der Extremität liegen, mit einer bestimmten Zellgruppe der Vorderhörner verbunden sein müssen.

Diese Gruppe, die als gemeinschaftliches Zentrum dieser Muskeln erscheint, besitzt eine genau bestimmte motorische Funktion und liegt, da ihr Umfang nur gering ist, auf dem Wege der langen Reflex-

kollateralen. Die Erregung der letzteren teilt sich leicht allen Zellen des betreffenden Konglomerats (oder richtiger allen Zellen dieses niederen primären Zentrums) mit und ruft eine Kontraktion der an diesem Reflexe teilnehmenden Muskeln hervor.

4. Diese niederen motorischen Zentren, die bestimmte einfachste motorische Vorrichtungen leiten, erleichtern auch unsere willkürlichen Bewegungen.

Ohne Zeit an der Auswahl der für die betreffende Bewegung erforderlichen Muskeln zu verlieren, begeben sich die Willensimpulse — je nach dem Zweck, den der Wille verfolgt — an dieses oder jenes niedrigere Rückenmarkszentrum, das schon über einen fertigen Synergismus verfügt.

Diese Einrichtung unserer nervösen Zentren erklärt zur Genüge die grosse Geschwindigkeit unserer willkürlichen Bewegungen. Diese Geschwindigkeit ist eben dem Umstand zu verdanken, dass der Wille hinter einander bald diese, bald jene Zentren erregt, die als Träger bestimmter Synergismen erscheinen.

Durch diese gegenseitige Ablösung der Zentren wird nicht nur die schnelle Realisierung des Willens garantiert, sondern auch zugleich die Möglichkeit einer Erholung für jedes Zentrum, die Wiederansammlung des verbrauchten Materials erleichtert. Daraus folgt aber die stete Bereitschaft des Zentrums zu neuer kurzer Anspannung.

Da wiederum jedes dieser Zentren nicht den ganzen Muskel, sondern nur einen bestimmten Bruchteil desselben für seine Zwecke benutzt, so ist damit die Möglichkeit der Erholung für denjenigen nicht arbeitenden Teil des Muskels gegeben, der im Dienste einer anderen Funktion steht.

5. Das Vorhandensein dieser niederen kleinen Koordinationszentren entspricht vollständig dem von Ramon-y-Cajal geäußerten Gedanken, dass die spinale Zentralisation mehrere Vorteile für den Organismus erstrebt. Sie erspart nämlich Raum, vermindert den Verbrauch von Material und Energie und gewinnt die Zeit, die erforderlich wäre, um jedesmal eine besondere Muskelkombination zusammenzustellen und die Zentren dieser Muskeln in verschiedener Höhe, verschiedenen Abschnitten und Segmenten des Rückenmarks aufzusuchen.

6. Das Vorhandensein solcher spinaler Zentren, die die motorischen und trophischen Vorrichtungen einzelner in verschiedenen Abschnitten der Extremität verstreuter Muskeln versehen, erklärt die klinischen Erscheinungen der Muskelatrophie spinalen Ursprungs, bei der einzelne Teile der Muskeln und zwar gleichzeitig in verschiedenen Segmenten affiziert werden (Aran-Duchennescher Typus).

Literatur.

- 1) Anton, Über die halbseitigen und doppelseitigen Gehirnlähmungen. Mitteilungen des ärztl. Vereins in Steiermark. Graz 1895. Nr. 3.
- 2) Ballet, Lésions de la moëlle et du cerveau chez un amputé. Le progrès méd. 1897.
- 3) Bayerthal, Über die praktische Bedeutung der Rückenmarkslokalisation. Zeitschr. f. prakt. Ärzte. 1899. Nr. 1.
- 4) P. Bert et Maracacci, a) Soc. de Biologie. 29. VII. 1881. b) Gaz. méd. de Paris. 1881. p. 512.
- 5) Bickel, Über die Lokalisation der zentripetalen Bahnen im Rückenmark des Hundes. Zentralblatt f. Physiol. 1898. Bd. 12. S. 340.
- 6) Biedl, Über das histologische Verhalten der peripheren Nerven und ihrer Zentren nach der Durchschneidung. Wiener klinische Wochenschrift 1897.
- 7) Brissaud, Zona thoracique à disposition métamérique. Rev. neurologique VIII.
- 8) Brissaud et Lereboullet, Etages radiculaires et metamerie spinale. Le progrès méd. 1900.
- 9) Brissaud, Leçons sur les maladies nerveuses. Paris 1899.
- 10) Derselbe, Les symptômes de topographie métamérique aux membres. Sem. méd. 1898. S. 385.
- 11) Clavey, Recherches cliniques sur les groupes musculaires paralysées dans l'hémiplégie. Thèse de Paris. 1897.
- 12) Campbell, Proc. Liverpool. Med. Institution. 1896.
- 13) Clarke, Méd. chir. Transactions. p. 249. 1868.
- 14) Collins, An contribution to the arrangement and function of the cells of the cervical spinal cord. New-York med. Journal 1894. p. 41. 99.
- 15a) Constensoux, La métamérie du système nerveux. Paris 1900.
- 15b) Dejerine-Maior, Comptes rendus de Biologie. 1878.
- 16) de Neeff, Recherches sur les localisations motrices médullaires chez le chien et lapin. Refer. in der Rev. neurol. 1901. 30. IV.
- 17) Dreschfeld, Journ. of Anatom. and Physiol. 1879.
- 18) Drouin, Sclérodémie localisée à distribution métamérique. Thèse de Paris 1898.
- 19) Edinger, Virchows Archiv 1882.
- 20) Erlitzky, Über die Veränderungen im Rückenmark bei amputierten Hunden. St. Petersburger med. Zeitung 1880.
- 21) Féré, Sur plexus des nerfs spinaux. Arch. de neurol. 1883.
- 22) Ferrier et Jeo, The functional relations of motors roots. Proceed. royal Soc. London 1881.
- 23) Ferrier, Brain 1882.
- 24) Flatau, Über die Lokalisation der Rückenmarkszentren für die Muskulatur des Vorderarms und der Hand beim Menschen. Arch. f. Anatomie und Physiol. 1899.
- 25) Derselbe, Über Veränderungen des menschlichen Rückenmarks nach Wegfall grösserer Gliedmassen. Deut. med. Woch. 897.
- 26) Friedländer und Krause, Über die Veränderungen der Nerven

und des Rückenmarks nach Amputationen. Fortschritte der Medizin. 1886. S. 749.

27) Forgue, Distributions motrices dans les muscles. Thèse de Montpellier 1883.

28) Gad und Flatau, Über die groben Lokalisationen. Neurol. Zentralbl. 1897. S. 481.

29) Greutzmer, Veränderungen im Rückenmark eines Amputierten. Virchows Archiv 1876.

30) Grasset et Vedel, Nouveau Montpellier médical. 1898. Nr. 12. S. 236.

31) Hayem-Gilbert, Arch. de physiol. normal et pathol. 1884. S. 441.

32) Hammond, Two cases of progressiv muscular atrophy. New-York. med. Journal. 1894. p. 15.

33) Hering, Beitrag zur experimentellen Analyse koordinierter Bewegungen Arch. f. Physiol. 1898. Bd. 70. S. 559.

34) Hering and Sherrington, Pflügers Archiv. 1897. Bd. 68.

35) Homen, Veränderung des Nervensystems nach Amputation. Zieglers Beiträge 1890.

36) Kahler-Pick, Arch. f. Psychiatrie 1897. S. 364.

37) Knappe, Experimentelle Untersuchungen über die motorischen Kerne einiger spinaler Nerven der hinteren Extremität des Hundes. Deutsche Zeitschr. f. Nervenheilkunde. 1901. S. 116.

38a) Derselbe, Über die Veränderungen im Rückenmark nach Resektion einiger spinaler Nerven der vorderen Extremität. Zieglers Beiträge 1901. Bd. 29.

38b) Lapinsky Über die spinalen Zentren für die einzelnen Segmente der Extremitäten. Archiv f. Physiologie 1903.

38c) Derselbe, Die spinalen Zentren einzelner Nervenstämme. Monatschrift f. Neurologie 1903.

39) Derselbe, Über den Verlauf der Kollateralen der hinteren Wurzeln und über die Veränderungen der Vorderhornzellen nach Resektion der hinteren Wurzeln. Neurologischer Bote 1902 (russisch).

40) Lapinsky und Cassirer, Über den Ursprung des Halssympathicus im Rückenmark. Zeitschrift f. Nervenheilkde. 1901.

41) Lannegrace et Forgue, a) Gazette hebdomadaire des Hopitaux. 1883. b) Montpellier medic. 1883. c) Forgue, These de Mompellier 1883. Zitiert nach Costensoux.

42) Mann, Über den Lähmungstypus bei der cerebralen Hemiplegie. Volkmanns klinische Vorträge. 1895. Nr. 132.

43) Marinesco, Über Veränderungen der Nerven und des Rückenmarks nach Amputationen. Zentralbl. f. Nervenheilkde. 1892.

44) Derselbe, Recherches cytométriques et caryométriques des cellules nerveuses motrices après la section de leur cylindraxe. Comptes rendus de l'Académie de Science. Paris. 1909. vol. 131. p. 1237.

45) Derselbe, Nouvelles recherches sur les lésions des centres nerveux consécutifs à larrachement des nerfs. a) Soc. des hopitaux. Paris 1898. b) Neurolog. Zentralbl. 1898.

46) Derselbe, Sur un nouveau cas de polynévrite avec lésion de réaction à distance dans la moëlle épinière. Soc. de Biologie 1896.

- 47) Marinesco, Contribution à l'étude des localisations des noyaux moteurs dans la moëlle épinière. *Revue neurol.* 1898. Nr. 14.
- 48) Derselbe, Recherches experimentelles sur les localisations motrices spinales. *Rev. neurolog.* 1901. Nr. 12.
- 49) Derselbe, Veränderungen der Nervenzentren nach Ausreissung der Nerven mit einigen Erwägungen betreffs ihrer Natur. *Neurolog. Zentralblatt* 1898.
- 50) Magendie und Schiff, Lehrbuch der Physiologie des Menschen.
- 51) Munk, Über die Fühlsphäre der Grosshirnrinde. *Sitzungsbericht der Berl. Akademie.* 1893.
- 52) Monakow, Über die sekundären Veränderungen im Rückenmark nach altem Defekt eines Plexus brachialis beim Menschen. *Neurolog. Zentralbl.* 1893.
- 53a) Derselbe, *Gehirnpathologie.* Wien 1897.
- 53b) „ *Arch. f. Psychiatrie* 1879. S. 523.
- 54) „ *Arch. f. Psychiatrie.* 1895. Bd. 27. S. 47.
- 55) Pahron-Goldstein, Die spinalen motorischen Lokalisationen und die Theorie der Metamerien. *Neurol. Zentralbl.* 1901. Nr. 20.
- 56) Pahron et Popesco, Sur l'origine réelle du nerf sciatique. *La Roumaine médicale* 1899.
- 57) Paul Bert et Maracci, Etude sur la distribution des fonctions motrices. *Soc. de Biol.* 1881.
- 58) Pelizzi, Sur les modifications qui surviennent dans la moëlle épinière des amputés. *Revue neurol.* 1892.
- 59) Prevost-David, *Arch. de Physiol.* 1874. p. 595.
- 60) Queyrat-Chretien, Syndrome syringomyélique avec hémiatrophie faciale et troubles pupillaires. *Presse médicale* 1897. 21. XII.
- 61) Redlich, *Neurol. Zentralbl.* 1897. Nr. 18.
- 62) Derselbe, Zur Kenntnis der Rückenmarksveränderungen nach Amputationen. *Zentralbl. f. Nervenheilkde.* 1893.
- 63) Derselbe, Über Fortschritte in der topischen Rückenmarksdiagnostik. *Wien. med. Blätter.* 1900. S. 738.
- 64) Reynolds, *Brain* 36. 1887.
- 65) Remak, Untersuchungen über die Entwicklung der Wirbeltiere. Berlin 1850—1855.
- 66) Risien-Russel, An experimental investigation of the cervical and thoracic nerve roots. *Brain* 1897.
- 67) Russel, An experimental investigation of the nerve roots. *Phylos. transactions* 1892.
- 68) Sano, Les localisations des fonctions motrices de la moëlle épinière. *Bruxelles* 1898.
- 69) Derselbe, Etude sur l'origine réelle du nerf diaphragmatique. *Journ. med. de Bruxelles* 1898. Nr. 42.
- 70) Derselbe, Les localisations motrices dans la moëlle lombosacrée. *Journ. de neurol.* 1897.
- 71) Schrader, siehe Hering (30). S. 616.
- 72) Seiffer, Das spinale Sensibilitätsschema zur Segmentdiagnose der Rückenmarkskrankheiten. *Arch. f. Psych.* Bd. 34.
- 73) Savariaud, Suppléance du nerf radial par les muscles à la main. *Soc. d'Anatomie de Paris.* Juin 1899.

74) Sherrington, On the arrangement of some motorfibres. Journ. of Phys. 1892. p. 708.

75) Derselbe, Note on the arrangement of some motorfibres in the Lumbosacral Plexus. Journ. of Physiol. vol. 13. 1902. Nr. 6.

76) Derselbe, siehe Exner, Zur Kenntnis der Wechselwirkung der Erregungen im Zentralnervensystem. Pflügers Arch. 28.

77) Sibelius, Zur Kenntnis der nach Amputationen auftretenden Veränderungen im Nervensystem. Jahresbericht f. Neurologie 1897.

78) Souques, De l'origine réelle du nerf phrénique. Sem. méd. 1898. p. 510.

79) Souques et Marinesco, Lésions de la moëlle épinière dans un cas d'amputation congénital des doigts de la main. Rev. de neurol. 1897.

80) Storch, Kritische Bemerkungen zur Neuronlehre. Monatsschrift für Psych. und Neurol. 1900.

81) Starlinger, Die Durchschneidung beider Pyramiden beim Hunde. Jahrbücher f. Psych. und Neurol. 1896.

82) Sträussler, Motorische Rückenmarkszellen nach Resektion und Ausreissung peripherer Nerven. Jahrb. f. Psychiatrie. 21. Bd.

83) Strohmayr, Anatomische Untersuchung über die Lage und Ausdehnung der spinalen Nervenzentren der Vorderarm- und Handmuskulatur. Monatsschr. f. Psych. und Neurol. Bd. 8.

84) Türck, Sitzungsbericht der Wiener Akademie 1851. 53. 55.

85) van Gehuchten, Les phénomènes de réparation après la section du nerf périphérique. Presse méd. 1899.

86) van Gehuchten-Bierollet, Le noyau oculomoteur commun 16, 19, 21 mois après la resection du nerf. La nevraxe v. 2. p. 217.

87) van Gehuchten et de Buck, La chromatolyse dans les cornes antérieures de la moëlle après desarticulation de la jambe et les rapports avec les localisations motrices. Journ. de neurol. 1898. 3. 5.

88) Dieselben, Contribution à l'étude des localisations des noyaux moteurs dans la moëlle lombo-sacrée. Rev. neurolog. Nr. 15. 1898.

89) van Gehuchten et Nellis, La localisation motrice médullaire est une localisation segmentaire. Journ. de neurolog. 1899. Nr. 66. p. 307.

90) Vassale et Donaggio, Les alterations de la moëlle épinière chez les chiens opérés. Arch. italienne de Biolog. 1897.

91) Vulpian, Arch. de phys. normal et pathol. 1868. p. 443.

92) Waldeyer, Über einige neuere Forschungen im Gebiete der Anatomie des Zentralnervensystems. 1891.

93) Weber, Contribution à l'étude de la métamérie du cerveau antérieur chez quelques oiseaux. Arch. d'anatom. microscop. V. 3.

94) Wille, Über sekundäre Veränderungen im Rückenmark nach Oberarm-exartikulationen. Arch. f. Psychiatrie 1895.