

Aus dem Physiologischen Institut der Universität Oxford, England
(Direktor: Professor E. G. T. LIDDELL).

Der intraspinale Verlauf und die Endigungen der sensorischen Wurzeln in den Nucleus Gracilis und Cuneatus.

Von

P. GLEES, R. B. LIVINGSTON* und J. SOLER.**

Mit 7 Textabbildungen.

(Eingegangen am 18. Mai 1951.)

Einleitung.

Wie bereits schon in einer früheren Publikation (SOLER, 1950) darauf hingewiesen wurde, weichen die neueren Untersuchungen über die afferenten Verbindungen des Rückenmarks von den klassischen Studien von BURDACH und CAJAL ab, da die letzteren mehr den Verlauf der Bahnen in einer allgemeinen Weise behandelten, während die jüngsten Forschungen sich auf dem Verlauf bestimmter Hinterwurzeln konzentrieren.

Die oben erwähnte Arbeit von SOLER ist eine systematische Studie der markhaltigen Fasern der V., VII. und VIII. Cervicalwurzeln und der II., III., V. und VIII. Thorakalwurzeln. Die aufsteigende Degeneration wurde bis zu dem Endkern verfolgt und schließt die Arbeitsperiode ab, die von RANSON et al. (1932) und ESCOLAR (1948) über den Verlauf der 3 ersten Cervicalwurzeln begann.

An dieser Stelle müssen auch die Arbeiten über die Hinterstrangsbahnen von POLIAK (1932) und WALKER (1938) an den Hinterstrangkernen, BOK (1928) und FERRARO und BARRERA (1935) und die Arbeit von CHANG und RUCH (1947) erwähnt werden. Die Verhältnisse beim Menschen wurden von FOERSTER (1936) beschrieben, der eine Einteilung der Wurzeln, die im Nucleus gracilis und im Nucleus cuneatus enden, durchführte.

Studien über den Verlauf der marklosen Fasern der thorakalen und lumbalen Regionen wurden von RANSON (1911, 1912, 1913, 1914, 1915, und 1931) ausgeführt. ESCOLAR (1948) studierte auch die Beziehung der ersten 3 Cervicalwurzeln zu der Substantia gelatinosa Rolandi.

* WILLIAM B. GRUBER Fellow in Neurophysiology 1949—50. At present at the Laboratory of Physiology, Yale University School of Medicine, New Haven, Connecticut, USA.

** De la Sección de Anatomía de Granada (España) del Instituto, Ramon y Cajal del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Das vorliegende Werk ist eine Weiterführung der Arbeit von SOLER (1950) mit dem Ziele, die Endstätten der Faserbahnen und ihrer Kerngebiete mit noch größerer Genauigkeit zu studieren, als es bis jetzt getan wurde. Zu diesem Zwecke haben wir außer der Marchimethode noch Silbermethoden angewandt (siehe GLEES, 1946).

Material und Methoden.

Einige der Läsionen bestanden in einer vollständigen Durchschneidung der Hinterstränge; in anderen Experimenten wurden eine oder mehrere Hinterwurzeln durchschnitten, oder eine Exstirpation des Spinalganglions vorgenommen. Außerdem wurde auch eine Degeneration der Hinterstränge durch Bestrahlung ausgeführt (für Technik der Bestrahlung siehe CAIRNS und FULTON, 1930, und BORISON und WANG, 1951)¹.

Region	Tier	Nr.	Läsion	Überlebensdauer in Tagen
Cervical	Katze	XIV	Gangliktomie der II. Cervicalwurzel	7
„	„	XVI	Durchschneidung der IV. Cervicalwurzel	6
„	„	XV	Gangliktomie der II., IV., V. u. VI. Cervicalwurzeln	3
Thorakal	„	IX	Durchschneidung der I. Wurzel	22
„	„	XVII	Gangliktomie der II. u. IV. Wurzeln	4
Lumbal	Kaninch.	I	Durchschneidung des Hinterstrangfeldes in Höhe der II. Wurzel	5
„	Katze	XII	Bestrahlung des Hinterstrangfeldes zwischen den II. u. III. Wurzeln	9
„	„	VIII	Durchschneidung der Wurzeln III u. IV links und II rechts	7
„	„	VIII	Bilaterale Durchschneidung der V. Wurzel	14
„	„	XIII	Bestrahlung zwischen der V. Lumbal- und der I. Sacralwurzel	5
Sacral	„	X	Durchschneidung des Hinterstrangfeldes in Höhe der II. Wurzel	12
„	„	II	Unilaterale Durchschneidung der I., II. u. III. Wurzeln	9
„	„	VII	Bilaterale Durchschneidung der II. Wurzel	9
„	„	XI	Durchschneidung des Hinterstrangfeldes in Höhe der IV. Wurzel	10

Die Tiere wurden unter aseptischen Bedingungen operiert und später durch eine Überdosierung von Nembutal getötet. Das Material wurde in einer 5%igen Formalinlösung (mit physiologischer Kochsalzlösung bereitet) fixiert, und mit dem SWANK-DAVENPORT Modifikation der Marchi-

¹ Für die Überlassung des Katzenmaterials, bestrahlt mit Radon, danken wir Prof. Sir HUGH CAIRNS.

methode (1935) und mit der Silbermethode nach GLEES (1946) imprägniert. Neben der transversalen Schnitttrichtung wurden auch Sagittal- und Horizontalschnitte mit großem Vorteile verwandt. Die Silberpräparate wurden in dieser Arbeit zur Darstellung der Abb. 7 herangezogen. Weitere Einzelheiten, die sich aus den Silberstudien ergaben, finden sich in einer gesonderten Arbeit (GLEES und SOLER, Zschr. f. Zellforsch., 1951).

Außer der rein mikroskopischen Untersuchung wurden auch planimetrische Rekonstruktionen von verschiedenen Schnittthöhen unternommen, um einen genauen Verlauf der MARCHI-Degeneration im Rückenmark bis zu dem Kerngebiet exakt festzulegen.

Resultate.

Die hier versuchten Läsionen zerfallen in 2 Kategorien: (a) beschränkte Läsionen durch Gangliktomie oder Durchschneidung von einzelnen Wurzeln, und (b) massive Läsionen durch Durchschneidung oder Bestrahlung der Hinterstränge.

Die Degenerationen nach Gangliktomie und Bestrahlung.

Cervicalregion. Wir können hier nur wenig zu der systematischen Studie von RANSON, ESCOLAR und SOLER hinzufügen, abgesehen von dem Verlauf der Wurzeln IV und VI. SOLER beobachtete in seinen Schnitten, daß sich zwischen den Wurzeln V und VII ein degenerationsfreies Gebiet befand. Dieser Zwischenraum war dreieckig, die Basis peripherwärts gerichtet, und erstreckte sich zwischen den lateralen und den vorderen Teil des medialen Cuneatuskerns und ruhte mit seiner Spitze auf den absteigenden Vestibulariswurzeln. Kein Zwischenraum bestand jedoch zwischen Wurzeln II und V, da sich diese Wurzeln teilweise überlagern. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß, obgleich diese Überschneidung besteht, die Degenerationen nicht stark konzentriert sind und noch viele normale Achsenzyylinder vorhanden sind. Dasselbe findet sich bei den Wurzeln V und VII, obgleich hier die Überlagerungszone nicht so ausgedehnt ist. Wir fanden weiter, daß in den Katzen 15 und 16 das Degenerationsbild auch keilförmig ist; bei der ersten liegt es zwischen den Flächen der Wurzeln III und VII und bei der letzteren Katze liegt es in dem Raume, der, unserem Diagramm (Abb. 7) entsprechend, der Wurzel IV angehört, und zeigt eine ausgedehnte Überschneidung mit den benachbarten Wurzeln. Mit diesen Daten waren wir in der Lage, die Endigung dieser Wurzeln in unser Diagramm (Abb. 7) einzutragen; denn, da das Gebiet der Wurzel IV bekannt war, bietet die Darstellung von VI keine Schwierigkeiten, da eine Seite bekannt ist und die andere durch eine diffuse Zone markiert ist, auf die SOLER bereits schon hinwies.

Aus unserem Diagramm Abb. 7 (alle arabischen Ziffern beziehen sich auf Abb. 7) wird weiterhin ersichtlich, daß die Wurzel IV sehr stark III und V überlagert, da ja diese sich auch gegenseitig teilweise überdecken, und erstreckt sich in die lateralen (2) und den MONAKOWSchen (4) Anteil des Nucleus cuneatus. Die Spitze von IV endet in den Wurzeln (6) des Vestibularis (5). Dies ist ein ähnliches Verhalten, wie bei der Wurzel VI, obgleich hier wenig Überlagerung besteht. Diese dehnt sich mit ihrem mittleren Anteil zwischen den lateralen Kernen (2) und mit ihrem vorderen Viertel belegt sie die medialen Kerne des Cuneatus (3) und mit ihrer Spitze ist sie auch nach der Vestibulariswurzel (6) zugerichtet. Beide Anteile belegen die ganze Ausdehnung des Nucleus cuneatus und sind jedoch etwas reduziert am Anfange und Ende des Kerns.

Thorakalregion. Unsere Experimente in dieser Zone hatten 2 Gründe: Erstens wollten wir feststellen, ob die Endstrecke im Kern mit der übereinstimmt, die SOLER in seiner Arbeit innerhalb des Cuneatus mit einem Fragezeichen versehen hat, und zweitens, um genau festzustellen, wo die beiden oberen Thorakalwurzeln enden, da hier gewisse Unstimmigkeiten bestehen, auf die CHANG und RUCH (1947) hingewiesen haben.

Nach SCHULTZE (1883) und HOFRICHTER (1883) bilden alle thorakalen Hinterwurzeln den Fasciculus gracilis oder dorsomedialis, während nach FERRARO und BARRERA (1935), FOERSTER (1936) und CHANG und RUCH (1947) die Thorakalwurzeln unterhalb von Thorakal VI den dorso-medialen Hinterstrang bilden. SCHIEFFERDECKER (1887) und SINGER (1882) nehmen an, daß dieser Hinterstrangsanteil nur aus langen aufsteigenden Fasern der coccygealen, sacralen und lumbalen Wurzeln entstammt.

Eigene Ergebnisse.

Die MARCHI-Degeneration, die nach Durchschneidung der I. Thorakalwurzel (Katze 9) in der Medulla sichtbar wird, zeigt alle die charakteristischen Zeichen, die SOLER auch für die Cervicalwurzeln nachgewiesen hat. Diese Wurzel endet im Nucleus cuneatus. Es findet hier eine leichte Überlagerung mit der Cervicalwurzel VIII statt (Abb. 7). Es soll jedoch hier darauf hingewiesen werden, daß die Degeneration dieser Wurzeln nicht so stark ist, wie die der Cervicalwurzeln und ähnlich der der ersten Wurzeln ist, die den Plexus brachialis formen. Dies weist auf die enge Beziehung hin, die alle Wurzeln bezüglich ihrem Innervationsfeld, der Faserzahl und dem Endigungsgebiet gemeinsam haben. Die Anzahl der Fasern in den Hinterstrangswurzeln ist von ARNELL (1937) und HÄGGQVIST (1948) gezählt worden.

In Katze 17, mit einer extraduralen Gangliktomie der Thorakalwurzeln III und IV und einer Exstirpation der II. Thorakalwurzel, finden

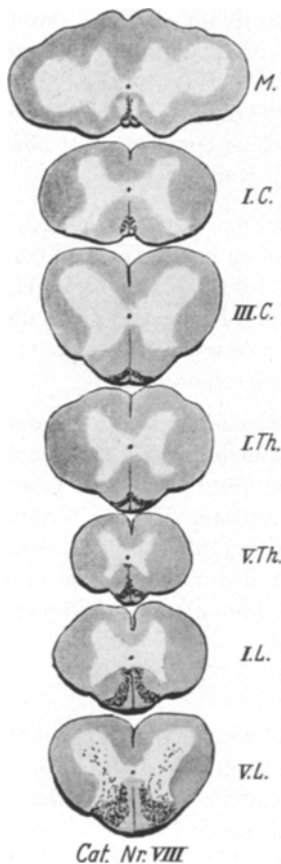
wir, wie SOLER, eine charakteristische MARCHI-Degeneration im Rückenmark mit einer schmalen tangentialen Endigungsform im Nucleus gracilis. Die Endigung liegt im anteroventralen Anteil des Kerns und ist die kranialste Wurzel, die zu diesem Kerne beiträgt, zum mindesten in der Katze. Wir nehmen daher an, daß die Meinungsverschiedenheiten über

diese Wurzeln auf einem phylogenetischen Unterschied in den Tieren beruhen, die für die Experimente gebraucht wurden, oder daß die Autoren Material benutzten, in dem zu massive Läsionen gemacht worden waren.

Lumbalregion. Wir wählen hier als erstes Beispiel Katze 8 (Abb. 1), in der die V. Lumbalwurzel verletzt wurde. Wir beschreiben im folgenden die Merkmale, die sie von anderen Wurzeln der höheren Abschnitte unterscheidet. Wenn diese Wurzel in das Rückenmark eintritt (Abb. 1), bildet sie eine Art von Fächer und gibt dadurch in der Mitte ihrer Eintrittszone eine ähnliche Erscheinung wie die der Cervicalwurzeln. Aber wenn die Wurzelfasern fortfahren einzutreten, drücken sie sich gegen die ersten eintretenden Wurzelfasern an. Die Folge davon ist, daß durch das Eindringen der letzten Fasern das MARCHI-Bild den Anschein gibt, als ob es das ganze Feld der Hinterstränge erfüllt. Allerdings ist die Degeneration dem Septum medianum zu mehr diffus und ein peripherer Anteil bleibt frei von Degeneration. Mit dem Beginn der ersten eintretenden Wurzelfasern in das Rückenmark beobachtet man MARCHI-Degenerationen bis in die graue Substanz zwischen den sensorischen und motorischen Zellen.

In höheren Abschnitten formt die MARCHI-Degeneration ein halbmondförmiges Bild. Das vordere Horn reicht bis in die graue Substanz hinein und degenerierende Fasern lassen sich bis zu den CLARKESchen Zellen hin verfolgen,

Abb. 1. Katze Nr. VIII. Aufsteigende Marchi-Degeneration. (Für Läsionshöhe siehe Tafel. Erklärung im Text.)



während das hintere Horn der halbmondförmigen Degeneration dem Cornu dorsalis zugewandt ist. Durch diese Krümmung wird die MARCHI-Degeneration mehr konzentriert, obschon ein zentraler Teil und auch ein peripherer Teil noch diffus sind. Dieses Verhalten folgt aus der Überschneidung von Fasern von unteren Abschnitten mit höheren. In

Höhe der Thorakalwurzel VI ruht das vordere Horn oder die vordere Spitze der Degeneration auf der Mitte des Septums und die hintere Spitze ist auf das Zentrum des Randes des Hinterstranges gerichtet. In dieser Höhe hören die einstrahlenden MARCHI-Degenerationen in der grauen Substanz gänzlich auf. In Höhe von Cervical VIII bietet die MARCHI-Degeneration noch ein ähnliches Bild, aber flächt sich schon mehr ab und die MARCHI-Körnchen konzentrieren sich mehr peripher, ein Bild, das sich in verstärkter Weise in den folgenden Cervicalwurzeln nachweisen läßt.

Wenn wir mit der I. Cervicalwurzel beginnen, dann ändert sich die frühere Form der MARCHI-Degeneration und wird keilförmig, mit einer gekrümmten Basis, während die Spitze mehr und mehr in die Tiefe geht, bis der Nucleus gracilis erscheint, dessen mediale Seite dann von der Degeneration eingerahmt ist.

Gegen die Mitte des Nucleus gracilis bildet die Degeneration eine Lamelle von homogener Dichte, nachdem auf dem Wege durch den Kern zahlreiche Fasern abgegeben worden sind. Diese Fasern enden von lateral nach medial, so daß die ersten Fasern, die durch den Kern zusammengepreßt werden, den letzten den Durchzug ermöglichen. Die Fasern, die dem Septum anliegen, enden alle in höheren Abschnitten.

Die übrigen Wurzeln dieser Region haben ähnliche Charakteristika; die wichtigsten Unterschiede bestehen darin, daß die MARCHI-Degeneration eine kleinere Zone erfüllt, und die septale Zone kaum Degenerationen enthält.

Sacralregion. Wir geben hier als Beispiel das Verhalten der III. Wurzel, da die anderen keine wesentlichen Unterschiede aufzeigen und sich ähnlich den Lumbalwurzeln verhalten. In dem oberen Ende des Wurzelsegmentes besetzt die MARCHI-Degeneration fast das ganze Hinterstrangfeld, und nur eine schmale periseptale Zone bleibt frei. Dadurch gleicht sie auffallend der Lumbalwurzel V. Dies gibt uns gleichzeitig einen Einblick von der reduzierten Größe der Coccygealwurzeln der Katze. In Höhe der I. Sacralwurzel ist die MARCHI-Degeneration zu einem schmalen Band, dicht dem Septum anliegend, konzentriert. Nur im dorsalen Teil ist eine freie Zone, durch die die Fasern der unteren Abschnitte ziehen. Man findet auch zahlreiche normale Axone innerhalb der Degenerationszone, ein Beweis von einer Beimischung von Fasern aus unteren Höhen.

Oberhalb der II. und III. Lumbalsegmente löst sich die Degenerationszone von der dorsalen Kommissur ab und nähert sich dem dorso-medialen Teil des Hinterstrangfeldes. Diese Lage wird in höheren Abschnitten, insbesondere in Höhe der I. Cervicalwurzel noch verstärkt und ähnlich wie die Degeneration aus Lumbalabschnitten, dringt auch die sacrale Degeneration in die Tiefe. In der Höhe des Nucleus gracilis verliert die Degeneration ihr konzentriertes Aussehen, geht um den Kern herum,

indem sie eine Kappe über den hinteren und inneren Anteil des Kernes formt. Diese Stellung wird durch die ganze Länge des Kernes beibehalten in dem sich die Fasern allmählich auflösen. Die Wurzeln aus höheren Abschnitten zeigen ein ähnliches Verhalten; der einzige Unterschied besteht in einer tiefen Verlagerung in Höhe der I. Cervicalwurzel. Zur Illustration dieser Degenerationsformen siehe Abb. 2.

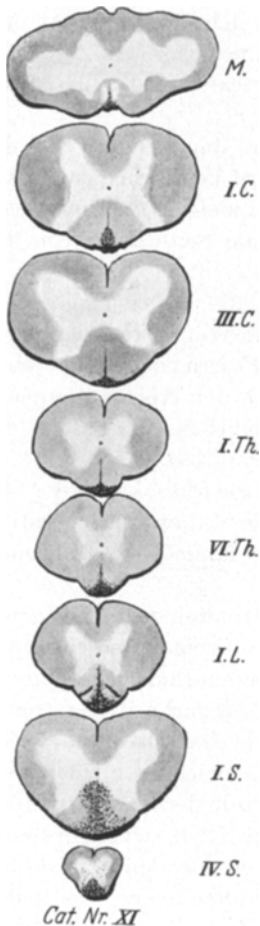


Abb. 2. Katze Nr. XI. Aufsteigende Marchi-Degeneration. (Für Läsionshöhe siehe Tafel. Erklärung im Text.)

Der Verlauf der Degeneration nach massiven Läsionen der Hinterstrangfeldes.

Wir beginnen unsere Beschreibung mit den Folgen der Läsionen in den unteren Abschnitten, da Läsionen in höheren Abschnitten nicht nur Degenerationen in ihrer eigenen aufsteigenden Zone zeigen, sondern sich auch etwas mit den Zonen der unteren Wurzelabschnitte vermischen. Eine Trennung kann daher nur gemacht werden, wenn erst das Degenerationsfeld der unteren Abschnitte bestimmt ist.

Chordotomie in Höhe der IV. Sacralwurzel. Die Durchschneidung war eine vollständige und die MARCHI-Reaktion zeigt in dieser Höhe eine massive Degeneration aller Markscheiden; auch lassen sich degenerierte Fasern bis zu den vorderen Wurzelzellen verfolgen. In Höhe der I. Sacralwurzel verschieben sich die degenerierten Fasern gegen das Septum hin. Diese Verschiebung ist durch den Eintritt neuer Wurzeln verursacht und ist eine Art Faltungsprozeß, der in seinem vorderen Teil, nahe der hinteren Commissur, eine Anhäufung von degenerierten Fasern formt und im hinteren oder dorsalen Teil auch eine ähnliche Anhäufung aufzeigt, die noch mehr Fasern enthält.

Wenn wir in dieser Höhe die Ausdehnung der Degeneration mit der von Katze 7 (Abb. 3) vergleichen, in der die III. Sacralwurzel durchschnitten war, finden wir, daß hier die Degeneration viel ausgedehnter ist. Wir glauben den Schluß ziehen zu können, daß dies durch eine entzündliche Reaktion verursacht worden war, denn in höheren Abschnitten nach

Verschwanden der Pseudo-MARCHI-Reaktion belegt die aufsteigende Degeneration die ihr zugehörige Lage.

In Höhe von Lumbal I hat sich das Degenerationsbild wesentlich durch das Verschwinden der ventralen Anschwellung verändert und die Zahl der degenerierten Fasern hat stark abgenommen. Die Degeneration ist jetzt dreieckig und die Spitze zieht sich mehr und mehr von der dorsalen Commissur in aufsteigenden Höhen zurück. In Höhe von Thorakal VI und I und fast bis Cervical III verändert sich die Form weiter, wahrscheinlich durch größere Konzentration der Fasern. Von Cervical III aufwärts senkt sich die Spitze der Degeneration ventralwärts, bis der Nucleus gracilis erreicht wird, um dessen dorso-medialen Anteil der degenerierte Faserzug eine Kappe formt. Kranialwärts dieser Kappe beginnen die Fasern in den Kern einzudringen (Abb. 7), indem die am dorsalsten liegenden Wurzeln zuerst enden.

Chordotomie und Bestrahlung in Höhe von Sacral I. Die Bestrahlung verursachte eine teilweise Zerstörung des rechten Hinterstrangfeldes und eine völlige Zerstörung des linken (Katze 13, Abb. 4). Die Chordotomie hingegen war vollständig (Katze 10, Abb. 5). In Höhe des I. Lumbalsegmentes nimmt die aufsteigende Degeneration eine dreieckige Form an. Juxtaseptale Fasern strahlen in die Hinterhörner anfänglich ein, hören aber weiter oben auf. In Höhe von Thorakal VI, I und Cervical VIII und III sehen wir, wie in dem vorigen Fall, das gleiche Verhalten bezüglich Form, aber nicht bezüglich Größe, die auf das Doppelte angestiegen ist. Es ist nicht leicht, das Verhalten der degenerierten Zone zum Septum in verschiedenen Höhen zu bestimmen, da das Degenerationsfeld seine Form während des aufsteigenden Verlaufes ändert und sich die Dichte der Fasern vermehrt. Wenn die degenerierten Fasern die Höhe des Nucleus gracilis erreichen, bleiben einige Fasern in dem Gebiet, das dem vorhergehenden Fall entsprach, die übrigen Fasern erfüllen die äußersten

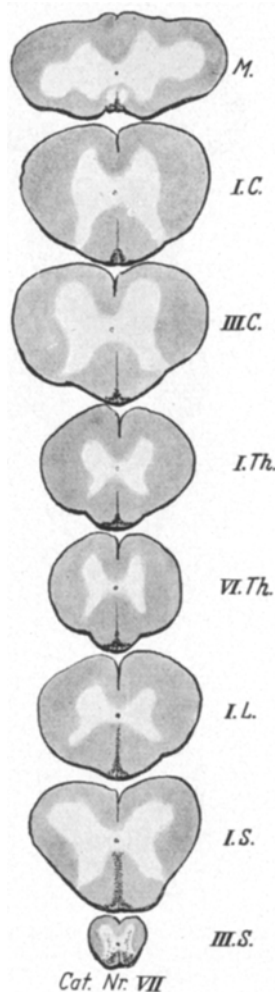


Abb. 3. Katze Nr. VII. Aufsteigende Marchi-Degeneration. (Für Läsionshöhe siehe Tafel. Erklärung im Text.)

Grenzen des Endgebietes (siehe Abb. 7). Der Verlauf der Degeneration, der durch die Bestrahlung verursacht war, ist ähnlich wie die durch die Chordotomie veranlaßte MARCHI-Degeneration (Abb. 4).

Bestrahlung in Höhe von Lumbal II. Völlige Zerstörung der rechten Seite des Hinterstrangfeldes, teilweise Zerstörung der linken Seite (Katze 12, Abb. 6). In Höhe von Lumbal I belegt die Degeneration nicht nur das

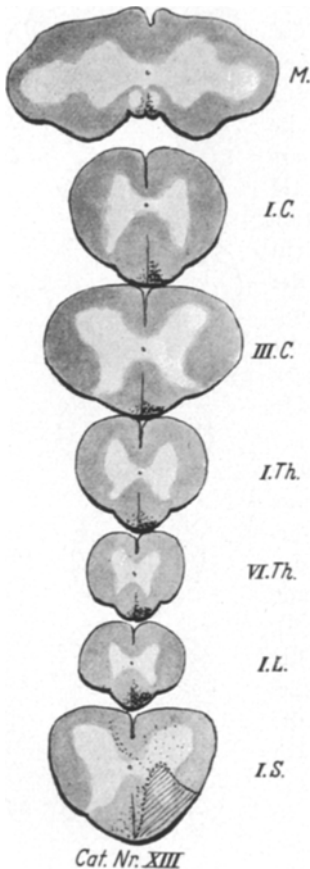


Abb. 4. Katze Nr. XIII. Aufsteigende Marchi-Degeneration. (Für Läsionshöhe siehe Tafel. Erklärung im Text.)

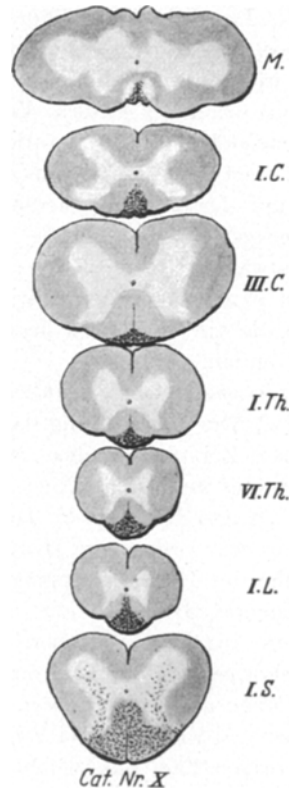


Abb. 5. Katze Nr. X. Aufsteigende Marchi-Degeneration. (Für Läsionshöhe siehe Tafel. Erklärung im Text.)

interseptale Gebiet, das im vorigen Falle beschrieben wurde, sondern auch ein weites Gebiet, das fast völlig den Rest des Hinterstranges belegt. Diese Zone erstreckt sich peripherwärts vom Septum paramedialis bis zum Sulcus dorsolateralis, ventral erreicht es die dorsale Commissur. In ihrem aufsteigenden Verlauf jedoch verliert die Degeneration ihre Ausdehnung in ventraler Richtung und löst sich von der dorsalen

und dann mehr als zwei Drittel der medialen Fläche belegt. Dann verlieren sich die degenerierten Fasern innerhalb der ganzen Kernlänge in derselben Art wie vorher beschrieben wurde, d. h. die obersten Anteile zuerst. Die unteren Abschnitte liegen mehr medial und reichen tiefer in den Kern hinein.

Die Degenerationsform, die durch eine ähnliche Läsion bei Kaninchen erzeugt war, weicht nicht von der Katze ab und es erübrigt sich, sie näher zu beschreiben.

Zusammenfassung und Besprechung der Befunde.

Wie wir bereits in der Einführung darauf hinwiesen, war das Ziel dieser Untersuchung eine Weiterführung der systematischen Erforschung des Verlaufs der Dorsalwurzeln, wie sie bereits von RANSON et al. (1932), ESCOLAR (1948) und SOLER (1950) begonnen worden war. In dieser Arbeit waren wir in der Lage, einige der noch vorhandenen Lücken zu füllen und durch Zusammenfassung der Resultate eine vergleichende Studie auszuführen. Davon abgesehen haben wir versucht, die Wurzeln, die den Fasciculus dorso-medialis oder gracilis, und die den Fasciculus dorso-lateralis oder cuneatus formen, zu bestimmen. Bezüglich den Coccigealwurzeln, so sind wir nicht in der Lage, genau die Form der MARCHI-Degeneration einer einzelnen Wurzel bis zum Kerngebiet zu beschreiben. Wir konnten dies jedoch in etwas allgemeinerer Weise durch eine Durchschneidung des Hinterstrangfeldes in Höhe des IV. und V. Sacralsegmentes ausführen. Das degenerierte Bündel dieser Region belegt das ganze Hinterstrangfeld in Höhe der Läsion und konzentriert sich mehr medial, wenn neue Wurzeln hinzutreten.

Diese Verschmälerung ist besonders im Zentrum bemerkbar und wird so ausgesprochen, daß sich das Degenerationsgebiet in 2 Hälften teilt, eine ventrale, kleinere Gruppe, deren Fasern vorwiegend in der commissuralen grauen Substanz des Lumbalgebiets enden, und eine andere, mehr dorsale, größere Gruppe, die zum Nucleus gracilis oder Nucleus dorso-medialis aufsteigt. Dieser Befund verdient besondere Beachtung, da er nicht nur auf die Wurzeln dieser Region zutrifft, sondern auch für die sacralen, lumbalen und thorakalen gültig ist, obgleich für dieses Wurzelgebiet der ventrale Anteil höher aufsteigt.

Die Gestaltung und die Topographie der MARCHI-Degeneration in verschiedenen Höhen braucht nicht weiter zu beschrieben werden und wir beschränken uns auf eine diagrammatische Darstellung. Bezüglich der Endstätte ist es für die Katze nicht möglich, einen medialen Kern zwischen den beiden Nuclei graciles zu beschreiben, wie das von BISCHOFF (1896) oder auch von WAGNER-JAUREGG (1950) angenommen worden war. Wir sehen auch in der Katze keine dorso-mediale Zellabtrennung, wie dies von CHANG und RUCH (1947) für den Spinnenaffen gefunden

wurde. Wir können nur sagen, daß die Fasern der untersten Abschnitte in einem dorso-medialen Anteil des Kerns enden, und zwar nicht an seinem Anfange, sondern mehr in einer peripheren streifenförmigen Region, die dem mittleren Teil des Kernes zugewandt ist, und die einer epileptoiden Fläche ähnlich ist, die eine leichte Hohlkrümmung hat.

In den Sacralwurzeln finden wir ein spezielles Verhalten bezüglich dem Innervationsgebiet und dem Grade der Spezialisierung, die das betreffende Versorgungsgebiet hat. Bezüglich des MARCHI-Bildes sind alle die Wurzeln dieser Zone einander ähnlich. Man sieht zuerst ein keilförmiges Bild in der Gegend der Eintrittszone, aber dieses Bild ändert sich in ein mehr bandförmiges und liegt nahe dem Septum, abgesehen vom dorsalen Teile, der den Fasern von unteren Abschnitten anliegt. Mehr ventral zerfällt es in 2 Teile, wie wir schon für die Coccigealwurzeln beschrieben: einen vorderen Teil, der sich mit Fasern von unteren Abschnitten mischt und in der oberen sacralen oder in der unteren lumbalen Region endet, und einen dorsalen Anteil, der zu dem Nucleus gracilis aufsteigt und aufsteigende coccigeale Fasern enthält. Das allgemeine Bild stimmt mit der Beschreibung der einzelnen Wurzeln überein, falls man den Unterschied in Größe in Rechnung zieht. Eins jedoch muß betont werden, daß die Fasern dicht den Coccigealwurzeln ein Bündel formen, das durch das Septum von den übrigen Wurzeln, sowohl in der lumbalen als in der oberen Cervicalregion abgetrennt ist.

Das Ausbreitungsgebiet dieser Fasern entspricht einer Fläche, die größer in Ausdehnung ist, als das der vorhergehenden Degeneration. In der Lumbalregion sind die morphologischen Kennzeichen dieser Degeneration ähnlich der vorhergehenden, nur mit dem Unterschied, daß die dorsalen und ventralen Anhäufungen von Fasern sich in der Thorakalregion verlieren. Dies ist auch in unserem Schema (Abb. 7) ersichtlich. Die Endigungsweise im Kerne ist bandförmig und belegt den medialen Teil des Kerns in seiner ganzen Länge. Die Wurzeln aus diesen Regionen können in folgender Weise charakterisiert werden. Sie treten in den Kern an seiner dorso-medialen Seite ein und halten eine bestimmte Reihenfolge in ihrer Endigungsart ein. Die Fasern der höheren Abschnitte enden zuerst in den Kern und liegen mehr medial und belegen daher ein ausgedehnteres Gebiet im Sagittaldurchmesser als in dem Querschnitt. Das Endigungsgebiet jeder individuellen Wurzel ist schmal, und es besteht weiterhin eine gewisse Überlagerung mit den benachbarten Wurzeln, ein Verhalten, das wir im Schema (Abb. 7) zeigen.

Die Endigungsform der Thorakalwurzeln ist bereits von SOLER (1950) gegeben worden. Wir möchten hier nur hinweisen, daß in der Katze der Fasciculus gracilis von allen dorsalen Wurzeln vom II. Thorakalsegment abwärts gebildet wird. Die Thorakalwurzel I endet, etwas mit der VIII. Cervicalwurzel überlagernd, in einem Gebiet, das von SOLER im Nucleus

cuneatus vermutet worden war. Die thorakalen Wurzeln, die im Nucleus gracilis enden, erreichen den Kern an seiner ventro-lateralen Seite. Die Wurzeln aus unteren Abschnitten enden zuerst. Dies steht im Gegensatz zu den anderen Regionen. Wir können hier zusammenfassend sagen, daß sich der Fasciculus gracilis oder dorso-medialis nach dem Auftreten seines Kerns in 2 Hälften teilt: ein Teil umfaßt die Thorakalwurzeln mit Ausnahme der ersten und liegt im ventro-lateralen Teil des Kerns. Der andere Teil, der aus den coccigealen, sacralen und lumbalen Segmenten besteht, tritt in den Kern von dorso-medial herein. In diesen beiden Teilen haben die am zentralsten gelegenen Fasern eine gewisse Vorzugsstellung bezüglich ihrer Endigung, wobei das Zentrum des Kerns die Spitze der Teilung bildet. Für die Thorakalfasern gilt dies für die Fasern von den untersten Abschnitten, während es sich für die anderen Regionen um Fasern von oberen Abschnitten handelt, d. h. die Wurzeln enden in bandartigen Strecken des Kernes, senkrecht zu einer imaginären Achse, die von dem dorso-medialen Teil des Kerns zu dem hinteren Teil der ventro-lateralen Seite läuft. Daher liegt die II. Thorakalwurzel am weitesten ventro-lateralwärts.

Ein ähnliches Verhalten findet sich für die Cervicalwurzeln und unsere Resultate stimmen hier mit denen von RANSON et al. (1932), ESCOLAR (1948) und SOLER (1950) überein. Wir möchten hier auf das Endigungsgebiet der Cervicalwurzeln IV und VI hinweisen, die auch im Hinterstrangfeld eine ähnliche MARCHI-Degeneration bieten. Unser Schema (Abb. 7) gibt eine klare Vorstellung von den Endgebieten und den Überschneidungszonen.

Schlußfolgerungen.

1. Auf Grund von experimentellen Läsionen der hinteren Wurzeln in verschiedenen Höhen der Cervical-, Thorakal-, Lumbal- und Sacralregionen und massiven Läsionen des Hinterstrangfeldes waren wir in der Lage, den Verlauf der Degenerationen bis zu ihrer Endstrecke in den Hinterstrangkernen zu verfolgen, und eine vergleichende Studie auszuführen.

2. Abgesehen von der Beschreibung des charakteristischen MARCHI-Bildes für die einzelnen Wurzeln konnten wir weiter nachweisen, daß sich die Degeneration in ihrem aufsteigenden Verlauf in 2 Teile teilt, einen ventralen Teil, der Fasern zu den Commissuralkernen sendet, und einen Teil, der bis zum Schaltkern der Medulla aufsteigt. Auf dieses Verhalten wurde schon von SOLER für die Thorakalfasern hingewiesen.

3. Die Ausdehnung der MARCHI-Degeneration im Rückenmark steht in einem direkten Verhältnis zu der innervierten peripheren Zone des Körpers.

4. Alle Spinalwurzeln caudal von dem II. Thorakalsegment senden ihre Fasern in dem Fasciculus gracilis oder dorso-medialis, während der Fasciculus cuneatus oder dorso-lateralis von den Cervicalwurzeln und der I. Thorakalwurzel geformt ist.

5. Der Fasciculus gracilis oder dorso-medialis teilt sich in Höhe seines Schaltkernes in 2 Bündel, ein Bündel ist ventro-lateral gelegen und enthält die Thorakalwurzeln, das andere Bündel liegt dorso-medial und enthält die lumbalen, sacralen und caudalen Wurzeln.

6. Die Wurzeln, die zum Nucleus gracilis oder dorso-medialis ziehen, enden in schmalen bandartigen Zonen und einige Wurzeln überlagern mit anderen. Die größte Fläche dieser Endigungsgebiete stammt aus Wurzelzonen, die Plexus bilden.

7. Die Anordnung der Wurzeln ist wie folgt: Die tiefste Caudalwurzel belegt die am weitesten dorso-medial gelegene Zone. Die Wurzeln folgen dann in einer bestimmten Reihenfolge, bei der die II. Thorakalwurzel am weitesten ventro-lateral liegt.

8. Die Endigungsweisen der Wurzeln, die den Fasciculus cuneatus oder dorso-lateralis bilden, stimmen mit den Zonen überein, die von RANSON et al. und von ESCOLAR für die ersten 3 Cervicalwurzeln gefunden wurden, und mit denen von SOLER, abgesehen von den IV. und VI. Cervicalwurzeln, bei der wir eine beträchtliche Überschneidung mit den benachbarten Zonen fanden. Dies war besonders bei der IV. Wurzel der Fall. Die I. Thorakalwurzel überschneidet teilweise die VIII. Cervicalwurzel und belegt eine Fläche wie sie von SOLER vermutet wurde und in der gegenwärtigen Arbeit nachgewiesen werden konnte.

Zum Schluß dieser Arbeit möchten Dr. R. B. LIVINGSTON und Dr. J. SOLER ihren Dank Herrn Professor LIDDELL für die Gastfreundschaft in seinem Institut aussprechen. Dr. SOLER möchte außerdem Professor LE GROS CLARK für die Einladung nach Oxford danken.

Für technische Hilfe sind wir Herrn E. H. LEACH, M. A., B. Sc., Herrn G. TURNER, Miß A. G. SMITH und Miß C. C. BOULTER dankbar.

Literatur.

ARNELL, N.: Acta psychiatr. (Københ.) 12, 287 (1937). — BOK, S. T.: In v. MÖLLENDORF: Handbuch der mikroskopischen Anatomie des Menschen 4, 517 (1928). — BORISON, H. L., and S. C. WANG: J. comp. Neur. 94, Nr. 1, 33 (1951). — CAIRNS, H., and J. F. FULTON: Lancet 2, 16 (1930). — CAJAL, S. R.: Ergebn. d. Anat. u. Entwicklungsgesch., Wiesbaden, XVI, 177 (1907). — CAJAL, S. R.: Histologie du système nerveux de l'homme et des vertébrés. V. II, A. Maloine, Paris 1911. — CAJAL, S. R.: Degeneration and regeneration of the nervous system. Oxford Univ. Press, 414—464 (1928). — CHANG, H.-T., and T. C. RUCH: J. Anat. 81, 2. Teil (1947). — ESCOLAR, J.: J. comp. Neur. 89, Nr. 2 (1948). — FERRARO, A., and S. E. BARRERA: J. comp. Neur. 62, 507 (1935). — FOERSTER, O.: BUMKE u. FOERSTER, Handb. Neurol. 5, 1 (1936). — GLEES, P.: J. Neuropath. and exper. Neurol. 5,

Nr. 1 (1946). — GLEES, P., and J. Soler: Z. f. Zellforsch. (im Druck) 1951. HÄGGQVIST, G.: Anat. Anz. **96**, Nr. 16/20, 398 (1948). — POLIAK, S.: The main afferent fibre systems of the cerebral cortex in primates. Univ. of California. Publications in Anatomy, Berkeley 1932. — RANSON, S. W.: Amer. J. Anat. **12**, 159 (1911). — RANSON, S. W.: J. comp. Neur. **22**, 487 (1912). — RANSON, S. W.: J. comp. Neur. **23** (1913). — RANSON, S. W.: Amer. J. Anat. **16**, 97 (1914). — RANSON, S. W.: Brain **38**, 381 (1915). — RANSON, S. W.: Arch. of Neur. **26**, 112 (1931). — RANSON, S. W., and H. K. DAVENPORT: Amer. J. Anat. **48**, 331 (1931). — RANSON, S. W., H. K. DAVENPORT and E. A. DOLES: J. comp. Neur. **54** (1932). — RANSON, S. W., W. H. DROEGEMUELLER, H. K. DAVENPORT and C. FISCHER: Number, size and myelination of the sensory fibers in the cerebrospinal nerves. Vol. on Sensation Proc. Assn. Research in Nerv. and Ment. Dis., XV, Williams and Wilkins, Baltimore 1935. — SOLER, J. S.: Rev. Actualidad Medica, Granada (España). Agosto 1950. — SWANK, R. L., and H. K. DAVENPORT: Stain Tech. **80**, 87 (1935). WAGNER-JAUREGG, J.: Lebenserinnerungen. Herausgegeben von L. Schönbauer u. M. Jantsch. Springer-Verlag, Wien, 1950. — WALKER, A. E.: The primate thalamus. Univ. of Chicago Press, Chicago 1938. — WINKLER, C., and A. POTTER: Opera omnia. Researches in cat's brain. Tome supplementaire II, Abb. XXVII und XXVIII.

Dr. P. GLEES, M. D., University Laboratory of Physiology, Oxford.