

(Aus der II. Chirurgischen Klinik der Medizinischen Akademie zu Leningrad
[St. Petersburg]. — Vorstand: Prof. Dr. S. S. Girgolaff.)

Zur Frage über die Regeneration des Rückenmarksnervengewebes nach aseptischen Verletzungen.

Von

Dr. Nikolaus Ssamarin.

Mit 13 Textabbildungen.

(Eingegangen am 20. November 1925.)

In der chirurgischen Literatur finden sich, wenn auch selten, Fälle des Zusammennähens der Rückenmarksstümpfe nach etwaigen Verletzungen. Der Fall von *Steward* und *Harte* (1901) bietet ein beachtenswertes Beispiel: sie haben nach einer Schußverletzung des Rückenmarks das periphere und zentrale Ende zusammengenäht und einerseits Wiederherstellung der Empfindung und der Bewegung der unteren Gliedmaßen sowie andererseits normale Funktion der Blase und des Mastdarms erhalten. Von hoher Bedeutung ist der Fall von *Shirres* (1905), in dem beim Menschen ein 3 Zoll langer Defekt des Rückenmarks durch das Rückenmark eines großen Hundes ersetzt wurde. 3 Monate nach dieser Operation ging der Kranke an einer zufälligen Ursache zugrunde. Bei der Untersuchung fand *Shirres* am Niveau der beiden Rückenmarksstümpfe beginnende Nervenregeneration. Im Jahre 1917 teilte *Emile Giron* einen Fall mit, in welchem nach Entfernung eines Geschoßsplitters aus dem Rückenmark und Zusammennähen der getrennten Stümpfe sich die Empfindung und Beweglichkeit der unteren Extremitäten wiederherstellten und glatte Decubitusverheilung erfolgte. Im Jahre 1921 hat *A. P. Finikoff* die höchst originellen Operationen von *I. I. Grekow* veröffentlicht. In einem Fall schnitt *I. I. Grekow*, da ein Defekt von 3 cm zwischen den Rückenmarksstümpfen vorlag, eine „Lamelle aus dem peripheren Markstumpf hinten links von außen aus, schlug dieselbe nach oben um und fixierte sie an das zentrale Ende“. In der Nachoperationsperiode sind am 8. Tage schwache Bewegungen von spontanem Charakter im linken Fuß vermerkt, am 9. Tag mitunter selbständiges Urinieren und im weiteren fortschreitende Besserung. Nach 11 Monaten starb der Kranke an Dysenterie: das Zentralnervensystem ist nicht untersucht worden. Ein anderer Verwundeter, der nach denselben Grundsätzen operiert war, zeigte keine Besserung. Alle diese Fälle rufen

aber, kritisch beleuchtet, Zweifel hervor. *T. Yamada* meint, daß alle Fälle der funktionellen Besserung nach Rückenmarkverletzungen nicht überzeugend sind, und durch Aufsaugung des Blutergusses, durch Verschwinden des Ödems der Nervelemente oder durch Herstellung nach der Gehirnerschütterung zustande kommen. *De Quervain* findet, daß „die Genesung nach sogenannten totalen Verletzungen in Frage zu stellen sei, da in keiner von ihnen die Möglichkeit einer nur partiellen Verwundung oder einer einfachen Kompression des Marks durch ein Hämatom ausgeschlossen werden könne“. *A. Henle* bemerkt, *Steward* und *Harte* anführend: „Der Fall steht so einzig da, daß man nicht umhin kann, an einen Beobachtungsfehler (unvollständige Durchtrennung des Rückenmarks) zu denken.“ Trotz der Kritik vergrößert sich jedoch die Zahl der operativen Eingriffe am Rückenmark, und die Forscher fahren fort, auf der Erfolgsmöglichkeit des Zusammennähens selbst nach Quetschungen desselben zu bestehen. So führt noch vor kurzem *Eiselsberg* in seinen 27 Operationen während des Weltkrieges 8 mal Besserungen an. *Th. Mauss* kommt in betreff derselben Operationen zu dem Schluß, daß keine Gründe zum Pessimismus bei der operativen Behandlung der Rückenmarkverletzungen vorliegen. In der Klinik sammeln sich ermutigende Ergebnisse nach diesen Eingriffen an, aber sie werden leider nicht durch mikroskopische Präparate bestätigt.

In dieser Hinsicht hat für uns eine große Bedeutung ein reiches experimentelles Material, das zur Zeit in ziemlich großer Menge vorliegt und an mikroskopischen Untersuchungen der Rückenmarknarben anschauliche Ergebnisse als Beweis erbringt.

Seit 1849 hat *Brown-Séquard* Tauben und Meerschweinchen das Rückenmark im Laufe von Jahrzehnten durchtrennt und den Effekt dieser Operation auf die Funktionswiederherstellung beobachtet sowie zum Teil mikroskopisch untersucht (*Follin* und *Laboulbène*). Seine Versuche führten ihn zur tiefsten Überzeugung von der Möglichkeit der Regeneration und der Funktionswiederherstellung bis zum normalen Zustande des Rückenmarks, selbst nach seiner vollständigen Durchschneidung. Aber zur selben Zeit haben die Arbeiten von *Brown-Séquard* einen scharfen Widerspruch seitens *Sgobbo* gefunden, der über 136 Versuche an verschiedenen Tieren verfügte. Gleichfalls zu negativen Resultaten kam *Vulpian* (1879), der seine Versuche an Tauben, Fröschen und Meerschweinchen anstellte. Im Jahre 1864 hat *H. Müller* nach Abtrennung der Schwänze an Tritonen und Eidechsen die Regeneration der Nervenzellen und -fasern beobachtet. *Masius* und *van Lair* schnitten im Jahre 1869 Fröschen 1—2 mm große Rückenmarksstücke aus und sahen 6 Monate nach der Operation zuerst die Bildung zentrifugaler, dann zentripetaler Fasern und außerdem der Ganglienzellen. *Dentan* teilte im Jahre 1873 die Ergebnisse seiner Arbeiten an Hunden (12 Experimente) mit. Verfasser durchschnitt oder exstirpierte Markstückchen an der Grenze des Brust- und Lumbalabschnittes, wobei er bei der mikroskopischen Untersuchung im ventralen Teil der Narbe sowohl markhaltige als auch marklose Fasern fand, während in dem dorsalen diese Fasern fehlten. In demselben Jahre veröffentlichten *Eichhorst* und *Naunyn* ihre Untersuchungen an 3—4 Tage alten

jugen Hunden. Sie führten die Verletzung aus, indem sie das Rückenmark zusammen mit der Dura mater mit einem Glasstäbchen zerdrückten. Ihre mikroskopischen Ergebnisse fallen im allgemeinen mit den Angaben von *Dentau* zusammen. Sie stellten bei Beginn der 4. Woche das Auftreten doppelt konturierter Nervenfasern fest, welche sich von einem Stumpf zum anderen erstreckten, auf der ventralen Seite waren sie zahlreicher als auf der dorsalen vertreten. Nach 4 Jahren übte *Schiefferdecker* scharfe Kritik dieser Arbeiten aus und kam auf Grund eigener Versuche an Hunden zu vollkommen negativen Ergebnissen in betreff der Fähigkeit des Rückenmarksgewebes zu einer Regeneration. *Piccolo* und *Santi Sirena* im Jahre 1876, *Weiss* im Jahre 1879 und *K. Osawa* im Jahre 1882, die an Hunden experimentierten, kamen auch zu negativen Ergebnissen. Andererseits beobachtete *Fraisse*, welcher an Amphibien und Reptilien experimentierte, die Vermehrung der Ependymzellen des Rückenmarkszentralkanals. Diesen Zellen legte *Fraisse* eine große Bedeutung bei, weil er der Meinung war, daß von ihnen die Regeneration ihren Ausgang nähme. *Barfurth* hat in demselben Jahre die Befunde von *Fraisse* bestätigt. Im Jahre 1889 schnitt *Caporaso* Tritonen Markstücke aus und behauptete, daß die Epithelzellen des Zentralkanals an der Verletzungsstelle sich vermehren, mehrschichtig werden und sich in Ganglienzellen differenzieren, welche Protoplasmafortsätze, die in Form junger Fasern wachsen, geben. Außerdem wachsen nach der Ansicht dieses Autors auch die alten Nervenfasern. Im Jahre 1890 behauptete *Guidone*, daß bei der Durchschneidung des Rückenmarks an Tauben die Stümpfe einfach nekrotisieren. *Turner*, welcher im Jahre 1891 an Affen experimentierte, fand bei der mikroskopischen Untersuchung gar keine neugebildeten Nervelemente. Im Jahre 1894 teilte *Ströbe* seine experimentelle Arbeit an Kaninchen mit. In der Frage über die Regeneration kam er zum Schlusse, daß von seiten der durchschnittenen Nervenfasern nur ein Versuch zur Regeneration vorliege, aber daß bis zu ihrer völligen Entwicklung der Prozeß niemals gehe. Am 45. Tage nach der Durchschneidung sah *Ströbe* das Wachstum der Fasern der hinteren Wurzeln: Die Fasern drangen auf einiger Erstreckung in die bindegewebige Narbe ein, aber weiter setzten sie sich nicht fort. Von den Stümpfen selbst gingen freilich (2 Wochen nach der Operation) Fasern aus, passierten die Degenerationszone, erreichten die Narbe, aber sie verloren sich dort.

Die Ergebnisse seiner Versuche im Jahre 1895 teilte *Enderlen* mit. Bei Versuchen an Hunden trepanierte er den Wirbelbogen und führte durch das Rückenmark Stichschnittwunden quer aus. Er ist zu dem Schluß gekommen, daß man von der Regeneration des Nervengewebes im Rückenmark nicht reden könne, wenn man aber darüber sprechen dürfe, so beziehe sie sich auf die Glia und das Bindegewebe und durchaus nicht auf die Achsenzyylinder und die Ganglienzellen.

Im Jahre 1906 veröffentlichte *T. Yamada* seine Monographie. Die Experimente sind an 31 Hunden und 4 Kaninchen ausgeführt. Er kam zu dem bestimmten Schlusse, daß eine eigentliche Regeneration des Rückenmarksgewebes nach der Verwundung nicht zustande komme, weil dem die bindegewebige Narbe mit den quer durch das Mark verlaufenden Gefäßen entgegenwirke. Aber die Regenerationsfähigkeit der Rückenmarksnervenfasern würde sich bei ihnen ebenso wie an den peripheren Fasern verhalten, wenn für sie eine bestimmte Bahn vorläge. In denselben Jahren teilten *Marinesco* und *Minea* die Resultate ihrer mikroskopischen Untersuchungen mit. Sie durchschnitten in Experimenten das Rückenmark an Hunden und studierten außerdem mikroskopisch an 2 Kranken das Rückenmark: der eine von ihnen ging an der Fraktur des 1. Lumbalwirbels mit der Verlagerung seines Körpers und der zweite nach der Luxation desselben

Wirbels zugrunde. Der längste Beobachtungstermin an Hunden war 109 Tage. *Marinesco* und *Minea* beschreiben zahlreiche neugebildete Achsenzyylinder, welche in Wachstumskugeln auslaufen. Die Richtung dieser Fasern ist äußerst unbeständig, aber sehr oft kommen Längsfasern vor. Den in der Narbe vorhandenen länglichen Zellen schreiben *Marinesco* und *Minea* eine große Bedeutung zu: Nach ihrer Ansicht ziehen diese Zellen die Axonen in ihr Inneres, seltener in ihre Zwischenräume an und ernähren sie da. Sie nennen diese Zellen „Satelliten“ oder „apoptophische“ Zellen.

In demselben Jahre hat *Ramon y Cajal* seine Versuche mit der Rückenmarksdurchschneidung veröffentlicht. Als Versuchstiere dienten Kätzchen und ein junger Kater. Beobachtungsdauer von 8–36 Tagen. Am 8. Tag kommt die Regeneration nicht zustande, am 20. Tage lassen sich ziemlich zahlreiche Endknöpfe (*botones terminales de crecimiento*) sehen. Am 38. Tage beginnt der Untergang der neugebildeten Fasern. „Die Achsenzyylinder und die neugebildeten Verzweigungen fallen nach einer Periode des Kampfes, um das Narbengebiet zu passieren, dem Prozeß der Atrophie und der Resorption anheim.“ In allen beschriebenen Fällen verhindern nach *Ramon y Cajals* Ansicht die erfolgreiche Regeneration einerseits Cysten, welche sich im Zentrum der Narbe bilden, andererseits das Fehlen der positiven Chemotaxis, welche das Wachstum der Achsenzyylinder aufrecht erhält und vielleicht „auch andere, noch unbekannte Umstände“.

Im Jahre 1909 teilte *A. d'Abundo* seine äußerst bemerkenswerten Versuche gleichfalls an Kätzchen mit. Er „resezierte Markstücke, welche 5–6 und sogar mehr Spinalganglien entsprachen. Die letzteren wurden in situ gelassen“. Nach Verlauf einiger Wochen tötete *d'Abundo* die Tiere und konnte die Wiederherstellung des Marks in Form eines schwachen dünnen Isthmus durch die Spinalganglien feststellen. Dieses „Pseudomark“, wie es *d'Abundo* nennt, vereinigte die beiden Stümpfe. Die histologische Untersuchung dieser Verbindung zeigte sehr lehrreiche Einzelheiten: sowohl der zentrale als auch der periphere Stumpf beteiligten sich an der Bildung der Verbindung nicht, nur die Wurzeln der Spinalganglien gaben den neugebildeten, sehr konstanten und vollkommen myelinisierten Fasern den Ursprung. „Die aus den Ganglien austretenden Fasern erreichen den Rückenmarkskanal und teilen sich in einen aufsteigenden langen und einen absteigenden kurzen Zweig, ganz genau wie das im normalen Mark geschieht.“

Im Jahre 1910 veröffentlichte *Dustin* seine Arbeit über die Regeneration der Nervenfasern sowohl im peripheren als auch im zentralen Nervensystem. Er untersuchte junge Narben (10–12 Tage bei Kaninchen) als auch sehr alte (2 Jahre 9 Monate beim Hunde). An seinen Präparaten von 10–12tägiger Dauer beobachtete er den Versuch der Achsenzyylinder, die Narbe zu durchdringen. „Einige von den Fasern regenerieren sich, vergrößern sich, indem sie sich mehrmals teilen, und bestürmen die Narbe. Aber dieser Sturm bleibt rasch wegen des Narbengewebes still stehen, in dem Maße, wie sich keine freien Zwischenräume finden.“ „Einige Fasern dringen jedoch trotzdem in die Narbe ein, indem sie die Bahn der Capillarscheiden des Zellenbündels des sich bildenden Gefäßes befolgen.“ Bei der Untersuchung des Rückenmarks eines nach 2 Jahren 9 Monaten getöteten Hundes nach der Querdurchschneidung desselben fand *Dustin* keine regenerierten Fasern vor, welche die Narbe durchbohrten. Er kommt zum kategorischen Schluß, daß die Möglichkeit der Wiederherstellung der durchschnittenen Bündel sowohl anatomisch als auch physiologisch abzuleugnen sei. Die negative Äußerung der Regeneration im Rückenmark ist er geneigt, im Fehlen der „Oögenese“ zu sehen, d. h. „im Fehlen geeigneter Wege für das Wachstum der Achsenzyylinder“, „da die Elemente der Narbe äußerst unregelmäßig orientiert sind“. Durch diese Unregelmäßigkeit der Narbenorganisation und durch das Fehlen

einer Bahn für das Weiterwachsen neuer Achsenzyylinder unterscheiden sich die Verhältnisse im Zentralnervensystem von denen im peripheren, in welchem die Regeneration im Gegenteil völlig erfolgreich vor sich geht. „Wenn die Achsenzyylinder im Zentralnervensystem nach langen Anstrengungen die Narbe durchbohren könnten, so würden sie dann doch vor einem Nervensegment stehen, in welchem für sie keine Bahnen sich bieten: hier sind keine *Büngersche* Streifen (Bänder), hier liegt keine ‚Odogenese‘ vor, aber nur ein festes, homogenes, fast unüberwindliches Gewebe.“

Im Jahre 1921 erschienen die Untersuchungen von *R. Lorento de Nó* aus dem Laboratorium von *R. y Cajal* über die Regeneration der Achsenzyylinder im Rückenmark nach Durchschneidung an Froschlarven. Er stellte fest, daß der Zentralkanal im Narbengebiet sich erweitert und eine Höhle bildet, die mit typischen Ependymzellen bedeckt ist. Die Nervenzellen stellen sich nicht wieder her, sie regenerieren nicht, der Substanzverlust der Substantia grisea wird durch überlebende Zellen ausgefüllt. Die Regeneration geschieht durch das Einwachsen in die Narbe der Wurzelachsenzyylinder, welche mit Wachstumskugeln versehen in die Narbe eindringen und, sich nicht verzweigend, verlaufen. Die bei den Froschlarven in den Wurzelganglien außer den reifen noch befindliche Embryonalzellen können Sprößlinge entsenden, welche, in das Mark längs den ehemaligen Nerven eindringend, sich in auf- und absteigende Zweige verteilen.

Aus dieser Literaturübersicht sieht man wie groß der Widerspruch der klinischen Angaben und der Resultate der experimentellen Untersuchung der Regenerationsfähigkeit der weißen und grauen Rückenmarksubstanz nach Verletzungen ist. Wenn noch die Experimentatoren, welche für ihre Arbeiten Amphibien und Reptilien anwandten, in ihren Schlüssen an positivem Material verhältnismäßig reich sind, so läßt sich das hinsichtlich der Regeneration nicht bei denen behaupten, welche für ihre Versuche Säugetiere benutzten. Die Mehrzahl hatte negative Resultate, und wenn einige positive Angaben vorliegen, so sind sie späterhin nicht bestätigt worden (die Arbeit von *Dentan*, *Eichhorst* und *Naunyn* u. a.). Die Angaben von *A. d'Abundo* und *R. Lorento de Nó* lenken die Aufmerksamkeit auf sich. Beide erhielten positive Regenerationserscheinungen. Der Umstand, daß *Lorento de Nó* für seine Versuche Froschlarven anwandte, stellt seine Untersuchungen in besonders günstige Bedingungen, da einerseits hier die Tierart eine Rolle spielt, welche zu regenerativen Prozessen mehr geneigt ist, und andererseits das Alter seines Materials eine große Bedeutung hat. Der letztere Umstand, welcher anscheinlich auch *A. d'Abundo* Vorschub leistete, gewinnt einen besonderen Wert, da in den Wurzelganglien der Froschlarven embryonale Nervenzellen vorhanden sind, die ihre Generationsfähigkeit auch nach dem Trauma des Rückenmarks bewahrt haben.

Die Zusammenstellung dieses experimentellen Materials mit den Angaben der Klinik ruft in uns Bedenken und Zweifel hervor: Teilen wir selbst die Meinung, daß die Regeneration von *d'Abundo* und *R. Lorento de Nó* eine Bedeutung im Sinne der Wiederherstellung der in funktioneller Hinsicht wertvoller Leitungsbahnen hat, dann wird doch ein

großer Unterschied bei der Zusammenstellung der Arten und der Altersunterschiede vorliegen. Noch weniger verständlich ist vom experimentellen Standpunkte aus die Mitteilung von *Finikoff* über die Möglichkeit willkürlicher Bewegungen im Fuße am 8. Tage nach dem Zusammennähen der Rückenmarkstümpfe, dazu noch mit einer Plastik in Form eines Lappens (der Fall von Prof. *I. I. Grekoff*).

In der vorliegenden experimentellen Untersuchung beabsichtige ich noch einmal festzustellen und zu prüfen, inwieweit die weiße und graue Rückenmarksubstanz zur Regeneration fähig und geneigt ist, und andererseits beiläufig die Anpassung der nach der Verletzung zurückbleibenden Leitungsbahnen an das Rückenmarkstrauma und an die später sich bildende Narbe klarzustellen. Aus diesen Erwägungen durchschnitt ich das Mark niemals vollständig, sondern führte stets Teilschnitte aus. Außerdem stellte ich mir die Aufgabe, die Regeneration unter den für die Wundheilung günstigsten Bedingungen zu verfolgen. In dieser Beziehung ist die Durchtrennung des Rückenmarks durch das Zerdrücken desselben mit einem Glasstäbchen, wie das einige Experimentatoren (*Eichhorst* und *Naunyn* und *Yamada*) ausführten, durchaus nicht zweckmäßig, da eine große Menge toten oder absterbenden Gewebes auftritt, die nur die Wundheilung kompliziert und in keiner Weise für die Regeneration einen günstigen Umstand vorstellt.

Als Material für die Untersuchung dienten fast ausschließlich Kaninchen, vorzugsweise im jungen Alter (von 3 Monaten). Einige Versuche an Ratten blieben erfolglos, da diese Tiere die Schnitte nicht vertrugen und zugrunde gingen. Was die Kaninchen anbelangt, so wurden sie entgegen der Behauptung von *Yamada* mit dem Trauma sehr gut fertig. Aber dazu mußten unbedingt folgende technische Vorsichtsmaßregeln eingehalten werden:

In der Regel operierte ich immer die Tiere unter Anwendung der Anästhesie. 1 g 3proz. Morphii muriatici subcutan und Äthereinatmen sicherten die vollkommene Ruhe des Tieres und die Gewißheit, daß während der Rückenmarksverletzung keine zufälligen Schnitte infolge unerwarteter scharfer Bewegungen des Tieres zustande kämen. Weiter ist es äußerst wichtig, die strengste Asepsis einzuhalten. Ich versuchte ausschließlich nur mit den Instrumenten zu operieren, denn sonst führt die kleinste Versündigung gegen dieselbe zu einem Absceß mit seinen traurigen Folgen. Nach dem Schnitt durch die Rückenhaut an der Mediana suchte ich gewöhnlich den Bogen des 11., 12. Brust- oder des 1. Lumbalwirbels zu erreichen. Dazu führte ich einen 3—4 cm langen Schnitt aus. Nach Eröffnung der Haut schnitt ich die Aponeurose an, indem ich sie von den Spitzen der Dornfortsätze abtrennte, dann trennte ich auf stumpfem Wege die Längsrückenmuskeln nach beiden Seiten ab. Nach Entblößung der Bogen brach ich mit der *Janson*-schen Zange gewöhnlich 2 Dornfortsätze ab und trennte sorgfältig den Bogen eines von den Wirbeln aus. Darauf machte ich sehr sorgfältig eine runde oder ovale Öffnung in dem Wirbelbogen, von etwa 3 mm im Durchmesser, gewöhnlich etwas links von der Mittellinie. Nach Aufdeckung des Markes führte ich mit dem Messer von *Graefe* eine Stich- oder Stichschnittwunde in der, meistens, linken Rückenmarks-

hälfte aus, aber dabei durchtrennte ich niemals die ganze Hälfte, sondern ließ immer den peripheren Teil unversehrt, um das Auseinandergehen der Wundränder zu verhüten und ihre maximale Nachbarschaft zu sichern. (Nur einmal schnitt ich ein kleines keilförmiges Rückenmarksstückchen aus.) Nach Ausführung der Verletzung führte ich stets in der Regel unabhängig von der Stärke der Blutung einen engen aseptischen Gazetampon bis zu seiner Berührung mit dem Mark ein und ließ ihn auf 3 Tage. Rings um den Tampon vernähte ich dicht die Aponeurose und die Haut und legte darüber einen Collodiumverband an. Von der Notwendigkeit ein Tampon einzuführen, konnte ich mich nach 2 durchaus erfolgreichen Versuchen überzeugen, als geringfügige Stichwunden in das Rückenmark mit nachfolgendem festen Vernähen der Wunde bei Tieren eine vollständige Lähmung der unteren Körperhälfte mit Harnverhaltung und darauf den Tod infolge Harnblasenrisses auf den 5. Tag nach der Verwundung nach sich zogen. Bei der Obduktion entdeckte ich ein zirkuläres subdurales Hämatom, etwa 1 cm breit, welches das Rückenmark komprimierte. Seitdem ich den Tampon einzuführen anfang, erhielt ich fast stets streng umschriebene Lähmungen der linken hinteren Extremität (bei der Verwundung der linken Seite) und nur eine vorübergehende Harnabsonderungsstörung. Aber auch diese Lähmung verschwand allmählich nach 1—2 Wochen: Das Tier begann selbständig die Harnblase zu entleeren und reflektorisch die linke untere Extremität gleichzeitig mit der rechten zu kontrahieren, wenn es sich zum Sprunge ansetzte. Im weiteren unterschieden sich die auf diese Weise verletzten Tiere in funktioneller Hinsicht durch nichts von den gesunden. Sie brauchten fast gar nicht irgendwie speziell geschont zu werden und konnten beliebig lang beobachtet werden. Die partielle Wunde gibt in betreff der Heilung und Regeneration eine vollständige Vorstellung von allen Prozessen und erfordert zugleich nicht die große Geduld und Sorge, von denen *Brown-Séguard* spricht, indem er die Schwierigkeit dieser Versuche erwähnt. Die verletzten Tiere tötete ich zu verschiedenen Zeitpunkten, indem ich Serien von 7 Tagen bis zu 1 Jahre mit einigen Zwischenzeiten wählte. Das Material bearbeitete ich entweder nach *R. y Cajal* oder nach *Bielschowsky*¹⁾; die letztere Methode gab mir eine gleichmäßigere Imprägnation ohne erhebliche Mißerfolge, weshalb sie der Methode von *R. y Cajal* vorzuziehen ist.

Mein experimentelles Material umfaßt 47 Versuche. Von ihnen sind für die vorliegende Mitteilung von mir nur 10 ausgeschieden, da sie im Sinne der Beobachtungstermine und der gelungenen Imprägnation sich am besten eignen. Die, um den Charakter der Heilung der Rückenmarkswunde selbst festzustellen, ausgeführten Versuche mit anderen Färbemethoden bilden einen besonderen Teil meiner Arbeit und sind in die vorliegende Mitteilung nicht aufgenommen.

Was nun die Bearbeitung der mit Silber imprägnierten Markabschnitte anbelangt, so bestand sie im folgenden: Die in Celloidin ein-

¹⁾ 30—40 Tage in 15proz. neutralem Formol, Auswaschen im Wasser, dann im Laufe von 1—2 Tagen in Pyridin. Waschen in destilliertem Wasser einige Stunden, dann 3—4 Tage in 2—3proz. *Argentum nitricum*. Dann ammoniak-silberne Lösung auf 24 Stunden (zu 5 cem 25proz. salpetersauren Silbers 5 Tropfen 40proz. Ätznatron, weiter tropfenweise 3faches Ammoniak spez. Gew. 0,91 bis zur Auflösung des braunen Niederschlags und weiter destilliertes Wasser bis 100 cem hinzufügen). Waschen im destillierten Wasser 2 Stunden lang und 24 Stunden in 20proz. Formol. Dann Alkohole. Einbettung in Celloidin.

gebetteten Blöcke wurden in Serien in aufeinanderfolgende dicke Schnitte zerlegt ($20\ \mu$ dick). Ich nahm gewöhnlich etwa $1\frac{1}{2}$ cm lange Stücke des verletzten Marks und richtete die Schnitte frontal. Einige von den Schnittserien bestanden aus 60—70 Schnitten, die anderen aus einer geringeren Anzahl. Aus der gesamten Zahl der Schnitte wird von mir im weiteren nur die Beschreibung der in Rücksicht auf die regenerativen Prozesse interessantesten gegeben.

Serie Nr. 1.

Längsschnitte in frontaler Richtung aus dem Rückenmark eines Kaninchens, 7 Tage post operationem getötet.

Bei kleiner Vergrößerung (Zeiss Obj. a_2 , Ok. 5) sieht man in der rechten Hälfte des Markes einen ovalen Defekt des Nervengewebes, der mit seinem größten Durchmesser sich parallel der Längsachse des Rückenmarks lagert. Die maximale Länge dieses Ovals beträgt ungefähr 1,25 des Querdurchmessers, und seine Breite ist beinahe der Hälfte der Breite der rechten Hälfte gleich. Bei starker Vergrößerung (Obj. AA, Ok. 5) sehen wir, daß dieser Defekt mit Zellen und Bruchstücken dicker Nervenfasern angefüllt ist, diese Masse aber ist in der Höhle nicht gleichmäßig verteilt, sondern an verschiedenen Stellen in größere oder kleinere Anhäufungen gesammelt. Diese Häufchen liegen entweder einzeln oder werden miteinander durch kleine Zellenbrücken verbunden. Der Charakter dieser letzteren läßt sich infolge der Bearbeitung der Präparate mit Silber nicht genau bestimmen, aber diese Zellen scheinen Phagocyten zu sein. An der Grenze des ovalen Defektes mit der grauen Substanz hört die letztere in einer gleichmäßigen krummen Linie auf. Dort, wo die Defektgrenze durch die weiße Substanz gebildet ist, sieht man, wie einzelne Nervenfasern in die Höhle, von einer größeren oder kleineren Menge der beschriebenen Zellen umgeben, eintreten. Die Enden dieser Fasern sind an der Grenze mit dem Defekt beträchtlich modifiziert. Diese Fasern laufen, ganz abgesehen von ihrem Kaliber, an den Defekt herantretend, in große Auftreibungen aus, welche die verschiedenste Form zeigen: bald die Form einer Kugel, bald birnenförmig mit dem zur Faser gerichteten Ende, bald in Form eines unregelmäßig zugespitzten Ovals, dessen Körper an einigen Stellen etwas komprimiert ist. Gewöhnlich sind diese Verdickungen sehr argentophil und erscheinen ganz schwarz, an einigen von ihnen sieht man jedoch deutlich eine helle Kapsel, die mit einem dünnen Saum die schwarze Auftreibung umgibt. Neben diesen Veränderungen sieht man auch andere. Die Nervenfasern beginnen, an den Defekt herantretend, sich gleichsam zu winden, sie vereinigen sich in Bündel und verflechten innig. An den Enden dieser Fasern sind deutliche Auftreibungen nicht wahrnehmbar, und man kann nur von einiger Verdickung ihrer Enden sprechen. Hier selbst sind zwischen den Zellen und Fasern zahlreiche Myelinkugeln zerstreut, von schwarzer Farbe, welche durch ihre Anwesenheit das Bild bedeutend verdunkeln. Neben den oben beschriebenen Fasern befinden sich andere, sehr dünne, weniger stark gefärbte: Diese Fasern hören ebenso schroff auf wie die dickeren, sie haben etwas gewundene zylindrische Endigungen, oder sie tragen an ihrem Ende eine kleine kolbenförmige Auftreibung, was man ziemlich selten zu beobachten Gelegenheit hat. Unter den Zellen, welche den ovalen Defekt ausfüllen, lassen sich bei starker Vergrößerung ($\frac{1}{12}$ Immers., Ok. 5) sehr dünne Nervenfasern, die auf ihrem Verlaufe sehr gewunden sind, wahrnehmen. Meistenteils sind diese Fasern kurz, aber es kommen auch lange, zu 2, zu 3 zusammengefügte vor. In ihrem Verlaufe tragen sie keine rosenkranzförmigen Auftreibungen, und man sieht niemals an ihren Enden kleine Wachstumskugeln.

Serie Nr. 2.

Längsschnitte in frontaler Ebene aus dem Rückenmark eines Kaninchens, 14 Tage nach der Verletzung getötet.

Bei kleiner Vergrößerung (Obj. a_2 , Ok. 4) findet sich im Zentrum der Präparate in der rechten Rückenmarkshälfte ein ebensolcher ovaler Defekt wie in der vorhergehenden Serie, in der linken Hälfte ist der Defekt dagegen einige Male kleiner. Der Defekt in der linken Hälfte befindet sich in der grauen Substanz und ist mit einzelnen in Häufchen vereinigten Phagocyten (?) angefüllt. Die graue Substanz ist an der Grenze mit dem Defekt gleichsam glatt in gekrümmter Richtung abgeschnitten. Das Zentrum des großen Defektes scheint mit dem Narbengewebe ausgefüllt zu sein (Obj. AA, Ok. 5), welches jedoch stellenweise nicht fest dem Markgewebe anliegt, sondern von ihm durch breite, ungleichmäßige Zwischenräume abgetrennt ist. In der die Narbe umgebenden weißen Substanz der rechten Hälfte sieht man einzelne, runde kleine helle Räume, welche mitunter miteinander zusammenfließen: je näher zur Narbe, desto größer, je weiter, desto kleiner ist ihre Anzahl. An der Grenze zum Defekt sind Nervenfasern, welche mit massiven Auftreibungen (Retraktionskolben) aufhören, nicht vorhanden. Wenn man diesen Retraktionskolben auch begegnet, so geschieht das verhältnismäßig weit von der Verletzungsstelle und nicht an ihrer Grenze. Die Achsenzyylinder beider Stümpfe zerfallen, indem sie sich der Wunde nähern, größtenteils in einzelne Bündel, die Bündel in einzelne Fasern, und in diesem Zustande dringen sie in die Narbe ein. In dem Falle, wenn zwischen der Narbe und dem Nervengewebe (der weißen Substanz) ein gewisser Raum vorhanden ist, so passieren die Achsenzyylinder denselben nur von einzelnen runden Zellen umgeben. Die Enden dieser Achsenzyylinder, welche in die Narbe vertieft sind, sind größtenteils spiralförmig, in Form von Halbringen oder anderer unregelmäßiger Bildungen gewunden, dabei lassen sich ebensolche Endigungen, aber von dem Achsenzyylinder abgetrennt, eben hier neben den angehefteten beobachten. Über und unter dem Defekt ist die weiße Substanz gleichsam von einer außerordentlichen Menge einzelner Myelinschollen durchdrungen. Außer diesen Schollen findet sich eine große Menge von Bruchstücken der Nervenfasern und von Bildungen in Form nicht ganz geschlossener schwarzer Ringe von ungleichmäßiger Dicke und Form. Die Achsenzyylinder selbst haben sich entweder in Form gleichmäßiger wenig gewundener Fasern oder in Form einzelner Stücke erhalten. Bei starker Vergrößerung ($1/_{22}$ Immers., Ok. 5) sieht man an denselben Schnitten in derselben weißen Substanz außer den oben beschriebenen Elementen äußerst dünne marklose Achsenzyylinder, welche sich leicht windend zwischen den Fragmenten des Nervengewebes verlaufen. Sie erleiden auf ihrem Wege keine Unterbrechungen, so daß man sie sehr oft auf der Erstreckung von 2, 3 und mehr Gesichtsfeldern verfolgen kann. Sie sind alle gleich und sehr schwach imprägniert, dort, wo die Narbe nicht dicht an das Markgewebe anliegt, verlaufen diese Zylinder durch einzelne Abschnitte, welche aus den mit den Markfragmenten vermischten Phagocyten bestehen, und hören plötzlich mit einem zylindrischen Ende auf, indem sie in irgendeine verschlossene Höhle gelangen. Sehr selten, aber doch läßt sich das beobachten, verläuft eine Gruppe solcher Achsenzyylinder zusammen mit den dicken. An den usurierten Narbenteil herantretend, verläuft diese Gruppe in dem engen Zwischenraum zwischen zwei Höhlen, und die dünnen Fasern winden sich mit einer kleinen Wachstumskugel an ihrem Ende, während die dicken Fasern zylindrisch auslaufen. Wenn diese dünnen Fasern in die ununterbrochene Narbe gelangen, so geschieht folgendes: die einzelne Faser beginnt sich äußerst unregelmäßig zu winden und endigt, nachdem sie eine gewisse Strecke passiert hat, mit

einer kleinen Auftreibung. Wenn auf ihrem Wege ein neugebildetes Capillargefäß oder ein Bündel von Bindegewebsfasern ihr begegnet, so schließt sich gewöhnlich diese Faser ihnen an und verläuft mit ihnen (vgl. Abb. 1). Man kann Capillaren

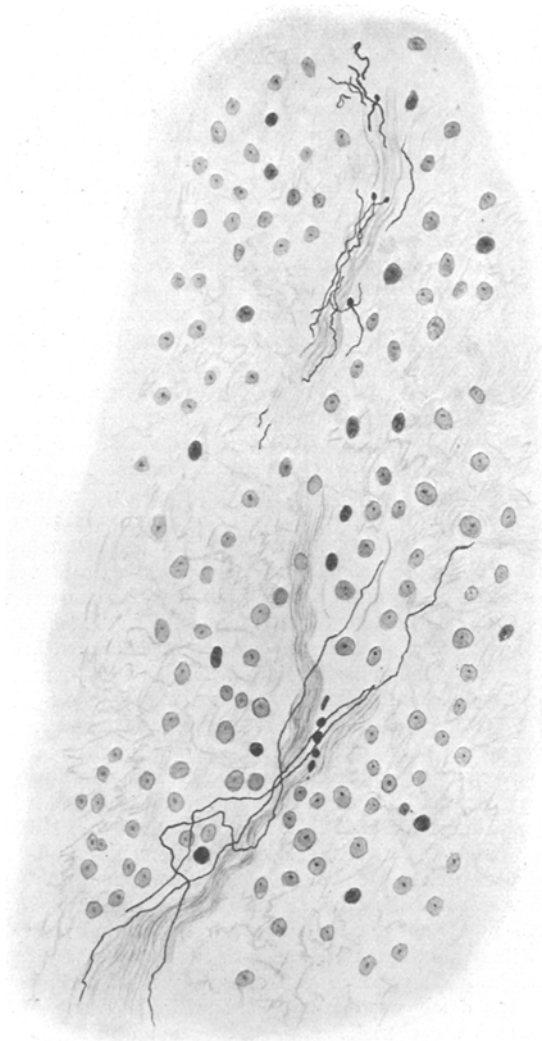


Abb. 1. Kaninchenrückenmark 14 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Obj. DD, Ok. 4. Neugebildete Achsenzylinder mit Wachstumskolben an den Enden (oberer Teil der Abbildung). Die Achsenzylinder erstrecken sich längs der Bindegewebsbündel.

begegnen, welche von Nervenfasern gleichsam umflochten sind. Die letzteren verlieren bisweilen das Capillargefäß auf ihrem Wege, kehren aber wieder zu ihm zurück und verlaufen mit ihm zusammen. In ihrem Verlauf sind sie mit kleinen Auftreibungen und an den Enden mit Wachstumskugeln versehen.

Serie Nr. 3.

Längsschnitte in der frontalen Ebene aus dem Rückenmark eines Kaninchens, 21 Tage nach der Verletzung getötet.

Bei kleiner Vergrößerung (Obj. a_2 , Ok. 4) sieht man, daß die Narbe einen großen Teil des rechten dorsalen Segments und das innere Drittel des linken dorsalen einnimmt. In den ventralen Segmenten ist die Narbe bedeutend kleiner und nimmt einen kleinen Raum in der rechten Hälfte der grauen Substanz ein, sich allmählich trichterförmig verengernd. Die Narbe stellt sich in Form eines dunkelgelben Syncytiums vor (die Zellenumrisse sind nicht wahrnehmbar, man sieht nur runde oder etwas längliche Kerne — Obj. AA, Ok. 4), auf dessen Hintergrund sich schroff faserige Bündel des Bindegewebes hervorheben. Diese Bündel sammeln sich, entsprechend der rechten Hälfte der grauen Substanz, im Zentrum alle radialwärts und bilden einen länglichen Abschnitt der Narbe, welcher stellenweise fast schwarz, stellenweise aber braun gefärbt ist. In der linken Hälfte des Rückenmarks haben diese bindegewebigen Bündel das Aussehen unregelmäßig liegender, sich verzweigender Striche, die miteinander nicht verbunden sind. Auf der Grenze der dorsalen Marksegmente mit den ventralen befindet sich eine dreieckige Höhle, die mit ihrer Spitze zum cerebralen Ende des Rückenmarks gerichtet ist. Diese Höhle stellt den durchschnittenen zentralen Spinalkanal vor. Bei starker Vergrößerung ($\frac{1}{12}$ Immers., Ok. 5) sieht man, wie die bindegewebigen Bündel, sich in die weiße Substanz einflechtend, parallel den Achsenzylindern verlaufen und sich allmählich verjüngend verlieren. Nahe von ihrem Rande verlaufen sehr dünne Achsenzylinder (in dem Bereich der Narbe) einzeln oder zu 4—5 zusammengelegt. Diese Fasern entspringen aus der weißen Substanz; aus ihr austretend und sich in die Narbe vertiefend, biegen sie sich eine Zeitlang, als ob sie eine Richtlinie suchen, und strecken sich plötzlich gerade, indem sie sich an die Bindegewebsbündel anschließen, und laufen ihrem Rande parallel (vgl. Abb. 2). Wenn ihnen in ihrem Verlauf die Verbindung unter einem Winkel zweier bindegewebiger Bündel begegnet, so verirren sich auch die Achsenzylinder von ihrem Wege und bilden dann auf dieser Stelle sehr verwinkelte Windungen und Krümmungen. Auf ihrem den bindegewebigen Bündeln parallelen Verlauf sind sie gleichmäßig, aber dort, wo sie sich umbiegen, lassen sich immer kleine Knoten finden. Die Enden dieser Fasern kann man sehr selten beobachten, da sie gewöhnlich sich in den tiefgefärbten Teil der Narbe vertiefen, aber da, wo es gelingt, nimmt man wahr, daß sie mit kleinen Wachstumskugeln versehen sind. Eine besondere Betrachtung verdient jener Teil der weißen Substanz der dorsalen Hälfte des oberen und unteren Rückenmarkstumpfes, welcher zwischen den hinteren Hörnern der grauen Substanz (völlig durchschnitten) liegt. Beim Studium dieser Bündel an verschiedenen Schnitten sieht man vor allem die äußerst geringe Menge der Achsenzylinder. Hier sieht man am meisten isolierte große dunkle Myelinkugeln, welche sich in den runden Höhlen befinden, oder halb verschlossene Ringe, die durch Nervenfasernbruchstücke gebildet sind. Nur in geringer Menge begegnet man einzelnen oder in Bündel zusammengefügt dünnen Fasern, welche von oben oder von unten zur Narbe verlaufen. Diese Fasern lavieren gleichsam zwischen den Höhlen mit den Myelinkugeln. Ein Teil dieser Achsenzylinder reißt entweder ab, oder sie verlaufen, die bindegewebigen Fasern begleitend, näher zur Narbe. Von den einzelnen Fasern, welche es bis ans Ende (?) zu verfolgen gelingt, sieht man, wie sie sich allmählich bis zu kaum wahrnehmbaren Fäden verjüngen und eine Spiralwindung bilden; seltener kann man am Ende eines solchen Achsenzylinders einer runden Wachstumskugel begegnen.

Die Abschnitte der grauen Substanz an der Grenze zur Narbe stellen sich in der Hinsicht verändert vor, daß in diesen Bezirken keine Nervenzellen vor-

handen sind. Die graue Substanz selbst stellt sich gleichsam verdünnt, durch Verringerung der Anzahl der Nervenfasern blaß vor. Diese letzteren sind entweder normal oder auf ihrem Verlauf mit häufigen Auftreibungen und an den Enden mit kleinen Wachstumskugeln versehen. Hier begegnet man auch in ziemlich bedeutender Anzahl äußerst stark aufgetriebenen Fasern. Diese Auftreibungen lagern sich entweder in Form unregelmäßiger schwarzer Spindeln auf der Erstreckung der Faser, oder sie befinden sich in Form von Kugeln an ihren Enden. Hierselbst sieht man völlig regelmäßige oder mit ausgefressenen Rändern, isolierte Myelinkugeln, die tief schwarz gefärbt sind.

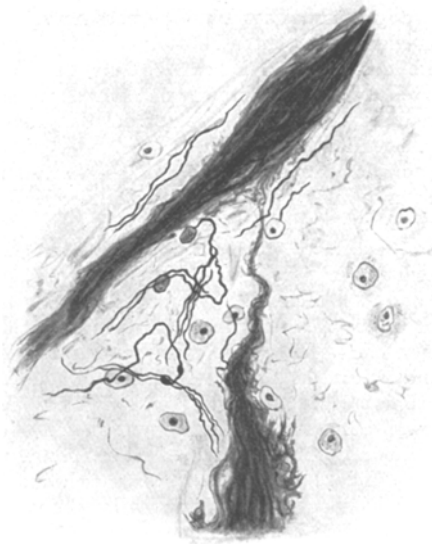


Abb. 2. Kaninchenrückenmark 21 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Immers. $\frac{1}{13}$, Ok. 3. Neubildete Achsenzyylinder, welche sich längs der bindegewebigen Bündel lagern. An der Stelle, wo die Bindegewebsbündel einen spitzen Winkel bilden, da verlieren die Achsenzyylinder ihre geradlinige Richtung, biegen sich um und sind auf ihrem Verlauf mit Knötchen und an den Enden mit Wachstumskugeln versehen.

Serie Nr. 4.

Längsschnitte in der frontalen Ebene aus dem Rückenmark eines Kaninchens, 31 Tage nach der Verletzung getötet.

Bei schwacher Vergrößerung (Obj. a_2 , Ok. 5) sieht man gleichsam die Rarefizierung oder die Durchsichtigkeit des zentralen Schnittteils. Größere oder kleinere, vollkommen helle Bezirke, welche sich zwischen den Zelleninseln lagern, erstrecken sich durch die ganze Breite des Markes, und der obere Stumpf wird mit dem unteren nur durch eine enge Brücke verbunden, welche aus den Axonen der rechten Hälfte der weißen Substanz besteht. Je näher der Schnitt zur ventralen Hälfte des Rückenmarks liegt, desto breiter wird freilich diese Brücke, und hinter dem Zentralkanal stellt sich beinahe das ganze rechte Segment normal, das linke aber unbeträchtlich verändert vor. Bei starker Vergrößerung (Obj. DD, und AA, Ok. 4) erweisen sich diese verdünnten Rückenmarksabschnitte aus sel-

tenen, vollkommen geraden Nervenfasern bestehend, zwischen welchen Phagocyten (?) zerstreut sind. Wir begegnen auch solchen Stellen, in welchen beinahe durch das ganze Gesichtsfeld eine einzige Nervenfaser in der Begleitung 1 oder 2 Phagocyten verläuft (vgl. Abb. 3). Die Enden dieser Fasern sind entweder zylindrisch (mit dem Mikrotom angeschnitten) oder keulenförmig verdickt (vgl. Abb. 4). Die Form dieser Verdickungen ist äußerst mannigfaltig: Es finden sich völlig runde oder ausgeprägt verlängerte, in Form unregelmäßiger einigemal an den Seiten komprimierter Ovale. Ziemlich selten läßt sich beobachten, wie aus dem peripheren Ende dieser Keule eine dünne Faser (vgl. Abb. 5) heraustritt, die

entweder sich schnell mit einer Wachstumskugel, aber schon einer sehr kleinen, abschließt oder sich vorwärts den anderen dicken Fasern parallel fortbewegt.



Abb. 3.

Abb. 3. Kaninchenrückenmark 31 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Obj. DD, Ok. 5. Resorptionsprozesse: einzelne durch das fast durchsichtige Gesichtsfeld des Mikroskops verlaufende Achsenzylinder, von wenig zahlreichen Phagocyten begleitet.



Abb. 4.

Abb. 4. Rückenmark desselben Kaninchens (vgl. Abb. 3). Zeiss, Obj. AA, Ok. 3. In der unteren Hälfte der Abbildung Resorption des Nervengewebes, wobei im Zentrum dieses Abschnitts zwei Wachstumsretraktionskolben sichtbar sind. In der oberen Hälfte der Abbildung die aus zahlreichen bindegewebigen Bündeln von verschiedener Dicke mit zahlreichen Abzweigungen und Anastomosen bestehende Narbe.

Es finden sich Bezirke, welche beinahe ausschließlich aus Phagocyten allein und 1—2 kurzen Nervenfaserfragmenten bestehen, aber dafür eine große Menge schwarzer, ungleicher Myelinschollen aufweisen. Der Vorgang der Resorption ist äußerst unfolgerichtig. Seine Verbreitung geschieht abschnittsweise: während in dem dorsalen (äußeren) Teil des Rückenmarks der Prozeß einen allgemeinen Charakter hat, sieht man im mittleren Teil neben dem Zentralkanal, wie ein Herd von dem anderen entweder durch einen Streifen der weißen Substanz oder selbst durch einen Streifen der grauen abgetrennt wird.

Außer dem Resorptionsprozeß kann man an den Schnitten aus dem dorsalen Teil des Rückenmarks noch die Vernarbung beobachten, d. h. die Gewebekonstruktion aus zahlreichen, nach allen Seiten hin sich verzweigenden, wellenförmigen binde-



Abb. 5. Rückenmark desselben Kaninchens (vgl. Abb. 3). Zeiss, Obj. DD, Ok. 5. Das Zentrum des unter Abb. 4 abgezeichneten Präparats. Ein Teil der Nervenfasern erstreckt sich ununterbrochen durch das ganze Gesichtsfeld, der andere (2 Fasern) ist mit Retraktionskolben versehen, von deren oberen Polen dünne Fasern entspringen. Die eine von den Fasern endet mit einer Wachstumskugel, die andere verliert sich.

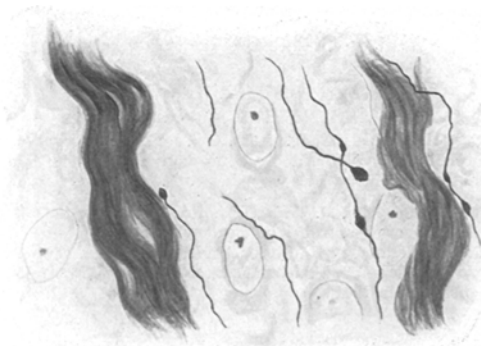


Abb. 6. Rückenmark desselben Kaninchens (vgl. Abb. 3). Zeiss, Immersion $\frac{1}{12}$. Detail der in der oberen Hälfte der Abb. 3 abgebildeten Narbe. Zwischen den Bündeln des Bindegewebes sieht man feinste neugebildete Achsenzylinder mit rosenkranzförmigen Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden. Ihre Richtung fällt größtenteils mit der Richtung der Bindegewebsbündel zusammen.

gewebigen Bündeln, von größerer oder kleinerer Länge und Dicke (vgl. Abb. 6). Zwischen diesen Bündeln verlaufen dünne Nervenfasern mit rosenkranzförmigen Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden. Die Richtung dieser Fasern fällt größtenteils mit der Richtung der bindegewebigen Bündel zusammen, hinsichtlich der Längsachse des Rückenmarks ist sie aber äußerst unbeständig.

Der Übergang der normalen weißen Substanz in die der Resorption anheimfallende geht allmählich vor sich; es treten runde Höhlen mit in ihnen eingeschlossenen Myelinkugeln auf; zuerst sind die Höhlen vereinzelt, dann erscheinen zu einigen vereinigte, die Achsenzylinder werden auseinandergedrängt, zerfallen in einzelne Bündel, nehmen an Anzahl ab, und schließlich treten zuerst vereinzelt und dann in größerer Menge Phagocyten auf.

Serie Nr. 5.

18 Längsschnitte in frontaler Ebene eines Kaninchens, 60 Tage nach der Verletzung getötet.

Unter kleiner Vergrößerung (Obj. AA, Ok. 5) sieht man, daß die Narbe nur die Grenzen der weißen Substanz in dem linken dorsalen Segment einnimmt, sich nicht in die graue Substanz ausbreitend. Diese Narbe hat die Form eines Rhombus, dessen Seiten aus einem dichten Netz sich verflechtender, stark dunkelbraun, fast schwarz gefärbter Fasern bestehen (vgl. Abb. 7). In seiner größten Länge lagert sich dieser Rhombus parallel der Längsachse des Rückenmarks. Im Zentrum dieses rautenförmigen

Rahmens finden sich große runde Zellen mit runden exzentrischen Kernen (die Einzelheiten der Zellenstruktur gelingt es bei der Silberimprägnation nicht wahrzunehmen). Außer diesen Zellen sieht man runde schwarze strukturlose

Kugeln in geringer Anzahl. An die Grenzen des Rhombus und an seine Seiten treten von dem unteren Stumpf ebenso wie insbesondere von dem oberen die Achsenzylinder heran. Jene von den Achsenzylindern, welche ganz an der Peripherie des Rückenmarks liegen, dringen tief ein, fast bis zur Berührung mit den Achsenzylindern der entgegengesetzten Seite, oder sie verlaufen sogar hindurch aus dem oberen Stumpf in den unteren. Betrachtet man die Spitze und die Rhombusseiten unter großer Vergrößerung (Obj. DD, Ok. 5), so sieht man, wie einzelne sehr dünne Achsenzylinder, mit rosenkranzförmigen Auftreibungen in ihrem Verlauf, sich stark windend, an die Narbe herantreten und mit kleinen

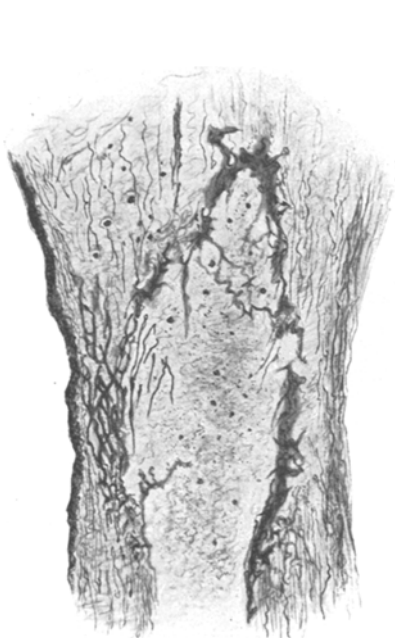


Abb. 7. Kaninchenrückenmark 60 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Obj. AA, Ok. 2. Narbe im Gebiet der weißen Substanz von der Form eines Rhombus oder eines Ovals. Die Rhombusseiten bestehen aus zahlreichen untereinander sich verflechtenden Fasern. Über und unter diesem Rahmen sieht man dicht an denselben herantretende Nervenfasern.



Abb. 8. Rückenmark desselben Kaninchens (vgl. Abb. 7). Detail des vorhergehenden Präparats. Zeiss, Obj. DD, Ok. 4. An dem Kopfende zugekehrten Winkel des bindegewebigen Rahmens sind zahlreiche wachsende junge Achsenzylinder mit varikösen Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden sichtbar. Die Achsenzylinder durchdringen nicht die bindegewebige Grenzlinie.

Wachstumskugeln sich abschließen (vgl. Abb. 8). Nur äußerst selten, zufällig kann man einzelne Nervenfasern finden, welche das Narbenhindernis durchdringen, oder eine ebensolche dünne Faser innerhalb des beschriebenen Rhombus.

Beide Stümpfe der weißen Substanz, sowohl der obere als auch der untere, stellen sich in bedeutendem Grade modifiziert vor. Im oberen Stumpf begegnet man seltenen Retraktionskolben in Form massiver stark imprägnierter Auftreibungen, außerdem kommen hier runde Höhlen mit innerhalb derselben eingeschlossenen Myelinkugeln vor. Die Achsenzylinder selbst rücken, sich der Narbe nähernd, in dichte Bündel zusammen. Dies Zusammenrücken geschieht durch Bildung zwischen ihnen von kleinen engen Höhlen, welche mit Phagocyten und

Zerfallsprodukten der Achsenzyylinder und ihrer Hüllen angefüllt sind. Im unteren Stumpf ist der Zerfall der Nervenfasern bedeutend größer, so daß die Menge der Achsenzyylinder in ihm kleiner als im oberen ist. Zwischen den Fragmenten alter Nervenfasern verlaufen einzelne oder zu 2—4 zusammengelegte junge Nervenfasern, die sich stark winden, mitunter mit rosenkranzförmigen Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden. Die Richtung dieser Fasern fällt im allgemeinen mit der Längsachse des Rückenmarks zusammen, aber mitunter machen sie eine so schroffe Schwenkung, daß ihre Wachstumskugel nach der ihrer ursprünglichen Richtung entgegengesetzten Seite verläuft.

Serie Nr. 6.

Längsschnitte in der frontalen Ebene aus dem Rückenmark eines Kaninchens, 77 Tage nach der Verletzung getötet.



Abb. 9. Kaninchenrückenmark 77 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Immersion $\frac{1}{12}$, Ok. 2. Weiße Substanz über der Verletzungsstelle: auf der Abbildung sieht man runde oder ovale Höhlen mitunter mit Einschlüssen runder oder unregelmäßiger Myelinschollen. Außerdem finden sich einzelne zu Bündeln vereinigte Achsenzyylinder. Einige von diesen Achsenzyclindern sind auf ihrem Verlauf mit kleinen Auftreibungen und an den Enden mit Wachstumskugeln versehen. Einer von den Achsenzyclindern endigt mit einer Biegung in Form des S romanum mit vier kleinen Auftreibungen.

Unter der Vergrößerung Obj. AA, Ok. 5 sieht man, daß die Narbe die ganze linke Hälfte des Rückenmarks einnimmt. Beide Stümpfe, sowohl der obere als auch der untere, verjüngen sich allmählich, sich der Narbe nähernd, durch den Untergang der äußeren Schichten und treten an die Narbe mit scharfen unter einem Winkel abgeschnittenen Enden heran. Die Struktur der weißen Substanz beider Stümpfe ist gleich. Je näher zur Narbe, in desto größerer Menge treten runde kleine Höhlen auf, vereinzelt oder in Gruppen vereinigt. Die Höhlen haben manchmal Einschlüsse in Form von Myelinkugeln, größtenteils aber sind sie leer. Zwischen diesen Höhlen verlaufen einzelne oder in Bündel vereinigte sehr dünne Achsenzyylinder mit rosenkranzförmigen Auftreibungen (Imm., Ok. 4, vgl. Abb. 9). Wenn in dem Gesichtsfelde die Endigungen dieser Achsenzyylinder vorkommen, sieht man, daß sie mit kleinen Auftreibungen versehen sind; oder sich abschließend, machen sie eine Biegung in Form des S-Romanum, dabei ist diese Biegung auch mit kleinen Auftreibungen versehen. Je näher zur Narbe, desto kleiner wird die Menge dieser dünnsten Fasern, und das Narbenzentrum selbst hat keine Nerven-elemente. Der Zentralkanal des Rückenmarks erweitert sich wahrnehmbar, sich der Narbe nähernd. Sein Lumen verschwindet, und statt des Kanals bildet seine Fortsetzung ein Konglomerat von Ependymzellen, welche streifenförmig angeordnet sind. Dieser Streifen übertrifft 6—7 mal die Breite des Zentralkanallumens, und seine Länge ist gleich der Hälfte der Durchmesserlänge des Rückenmarks. Dieser ganze Abschnitt (Streifen) ist von quer oder schräg verlaufenden Nervenfasern durchdrungen, welche rosenkranzförmige Auftreibungen tragen (vgl. Abb. 10). Das Kaliber dieser Fasern ist verschieden: Es kommen sehr

dünne, aber auch dicke mit langen spindelförmigen Auftreibungen vor. Die Mehrzahl dieser Fasern tritt aus der grauen Substanz der rechten Hälfte heraus, und nach der Passage des Ependyms sieht man, wie sie ein lockeres Netz gerade an der Grenze des Ependyms mit der Narbe bilden. In der Narbe verlaufen hier, parallel der Längsachse des Rückenmarks, nahe von dem Konglomerat der Ependymzellen des oberen und unteren Stumpfes der grauen Substanz der linken Rückenmarkshälfte, einzelne Nervenfasern. Diese Fasern unterscheiden sich durch ihre Dicke scharf voneinander: Die einen sind sehr dick, wenig gewunden, mit ausgeprägten Auftreibungen und ebensolchen Wachstumskolben, die anderen sehr dünn, sich stark windend, mit Rosenkranzaufreibungen auf ihrem Verlauf und Wachstumskugeln an den Enden. Auf der übrigen Erstreckung verlieren beide Stümpfe der grauen Substanz, sich der Narbe nähernd, ihre Nervenzellen, verjüngen sich allmählich und hören an einem mehr oder minder gleichmäßigen Rande, miteinander nicht verbunden, auf.

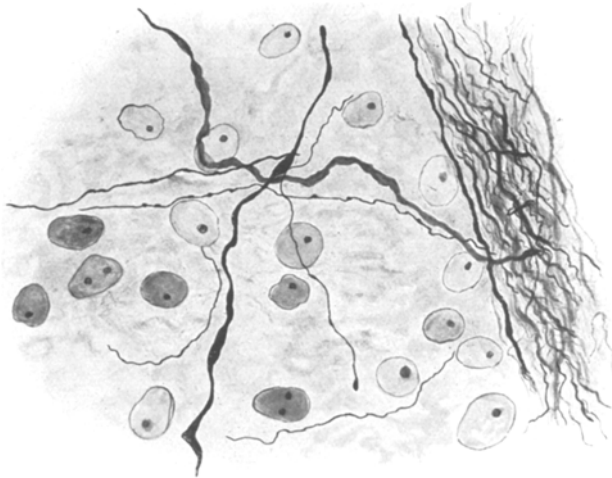


Abb. 10. Rückenmark desselben Kaninchens (vgl. Abb. 9). Zeiss, Immersion $\frac{1}{12}$, Ok. 2. Erweiterter zentraler Rückenmarkskanal am Niveau der Verletzung. Zahlreiche Ependymzellen, auf deren Hintergrund man Nervenfasern von verschiedener Dicke wahrnimmt: die einen dick mit ungleichmäßigen spindelförmigen Auftreibungen, die anderen dünn mit kleinen rosenkranzförmigen Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden. (Die letzteren Fasern sind neugebildete.)

Serie Nr. 7.

Längsschnitte in der frontalen Ebene eines Rückenmarkabschnitts eines Kaninchens, 110 Tage nach der Verletzung getötet.

Die Narbe nimmt die rechte Hälfte des Rückenmarks ein. Mit einer breiten Basis an der Peripherie des Rückenmarks beginnend, gehen die sie bildenden bindegewebigen Bündel fächerförmig auseinander, indem sie von einer Seite das Markzentrum erreichen und nach oben und unten um eine Strecke verlaufen, die zwei Dritteln seines Querschnittes gleich ist. In den Zwischenräumen zwischen den bindegewebigen Fasern liegen zahlreiche Myelinschollen zerstreut, die verschieden stark imprägniert sind, und außerdem Bruchstücke der Achsenzylinder in Form kleiner Spiralen oder unverschlossener Ringe. Hier finden sich auch zahlreiche Zellen, deren Charakter bei der Silberimprägnation nicht

zu bestimmen ist. Das Nervengewebe hat, entsprechend dem Vorhandensein der Narbe, folgende Veränderungen erlitten. Die graue Substanz der rechten Hälfte des Markes hört, an die Narbe herantretend, nicht plötzlich auf, sondern sie verjüngt sich allmählich. Gänzlich verschwinden die Nervenzellen, wobei ihr Verschwinden nicht allmählich zustande kommt, sondern sofort, gleichsam auf einer Linie. Was nun die Fasern der grauen Substanz anbelangt, so beobachtet man die ausgeprägte Abnahme ihrer Anzahl und die Veränderung ihres Charakters; vor allem lenkt das Augenmerk ihre Verdünnung auf sich; freilich kommen hier auch dickere Fasern vor, die ihrem Kaliber nach den Fasern im gesunden Teil des Rückenmarks gleich sind, aber die Hauptmasse der in diesem Teil der grauen Substanz beobachteten Fasern ist sehr dünn, deutlich gewunden und in ihrem

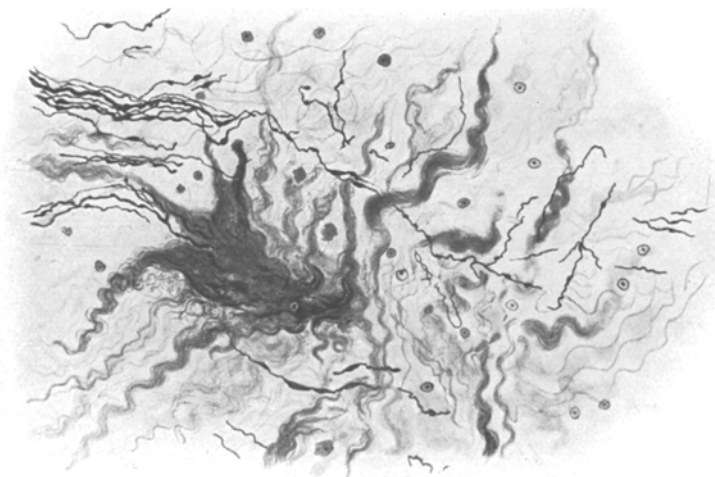


Abb. 11. Kaninchenrückenmark 110 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Obj. DD, Ok. 4. Zentrum der bindegewebigen Narbe, durch welche sich einzelne Nervenfasern mit kleinen spindel- oder rosenkranzförmigen Auftreibungen erstrecken. Die Richtung dieser Fasern fällt mit der Längsachse des Marks zusammen, ihr Verlauf ist gewunden.

Verlauf mit kleinen Knoten und an den Enden mit kleinen Wachstumskugeln versehen. Zwischen dem Netz dieser Fasern sind in Fülle Myelinteilchen in Form mannigfaltigster Bildungen, bald kugelförmiger, bald ovaler, bald gänzlich unregelmäßiger vorhanden. Jene von den Nervenzellen, welche an dieses feinmaschige Netz anliegen, stellen sich durchaus normal, gänzlich unverändert vor. Die Struktur der weißen Substanz über und unter der Narbe erinnert sehr an das Strukturbild derselben Substanz in der vorhergehenden Serie (77 Tage). Hier finden sich dieselben Höhlen mit in ihnen eingeschlossenen Myelinkugeln und außerdem nicht zahlreiche Nervenfasern. Unter ihnen sind zu unterscheiden: dicke, wenig gewundene, ohne variköse Auftreibungen, und andererseits sehr dünne, mit Knoten auf ihrem Verlauf und kleinen Wachstumskugeln an den Enden. Diese dünnen Achsenzylinder verändern bisweilen schroff ihre Richtung und verlaufen nach der Schwenkung in der entgegengesetzten Seite. Wenn sie gerade verlaufen, hören sie mitunter in einiger Entfernung von der Narbe auf, oder sie endigen unter ihren Fasern. Nur an einigen Schnitten dieser Serie (an 13)

kann man das seltene Bild des Hindurchtritts paralleler, dünner, mit varicösen Auftreibungen, ziemlich stark gewundener Achsenzylinder durch die Narbe beobachten (vgl. Abb. 11). Einige Bündel dieser dünnen Fasern verlaufen von dem zentralen Stumpf, gehen an die Narbe heran, treten einzeln durch sie durch und strecken sich weiter in der Richtung des peripheren Stumpfes. Die Tiefe des Durchtritts dieser Fasern entspricht ungefähr dem inneren Rande der weißen Substanz an der Grenze zur grauen. Es ist zu vermerken, daß im vorliegenden Fall die Richtung dieser Fasern gänzlich mit der Richtung der bindegewebigen Fasern der Narbe nicht zusammenfällt, größtenteils kreuzen sich ihre Richtungen. Mitunter kommen auch parallele vor, aber sehr selten.

Serie Nr. 8.

Längsschnitte in der frontalen Ebene aus dem Rückenmark eines Kaninchens, 120 Tage nach der Verletzung getötet.

Narbe in der linken Rückenmarkshälfte. Bei schwacher Vergrößerung (Obj. AA, Ok. 2) sieht man, daß die Narbe von nicht gleichmäßiger Größe ist: wenn sie auf den oberflächlichen (ersten) Schnitten nur die äußere Hälfte der weißen Substanz einnimmt, verbreitert sie sich in den tiefen bis zum äußeren Rande der grauen, indem sie die weiße Substanz insgesamt durchdringt. Diese maximale Breite erreicht die Narbe, sich bis zum äußeren Rande der grauen Substanz verbreitend, am Niveau des zentralen Kanals, dann verengert sie sich wieder trichterförmig. Ihre Einzelheiten sind recht eigentümlich (vgl. Abb. 12): Hier findet sich eine einem Rahmen ähnliche Bildung, dessen Seiten aus bindegewebigen Bündeln bestehen, welche sich untereinander bisweilen in Form eines weitmaschigen Netzes verflechten, bisweilen aber in massive Stränge sich zusammenfügen, die größtenteils in der Längs- oder in schräger oder in der Querrichtung sich erstrecken. Zwischen den einzelnen Bündeln liegen zahlreiche Zellen, deren Details bei dieser (Silberimprägnation) Färbung nicht unterschieden werden können. Im Zentrum der Narbe befinden sich einzelne runde Höhlen, mit halb durchsichtigem Inhalte, in deren Zentrum runde oder längliche Bildungen liegen. Ihre Farbe und Struktur sind nicht gleich: Mitunter ist ein solcher Einschluß innerhalb der Höhle tief-schwarz imprägniert und glatt umrandet, mitunter ist er umgekehrt hellbraun mit unebenen gleichsam zerfressenen Rändern. Man begegnet auch solchen, in denen das Zentrum beinahe schwarz und der Saum hellbraun ist. Bisweilen verläuft am Rande dieser Höhle eine dünne Nervenfasern mit häufigen Auftreibungen; das Stämmchen selbst windet und krümmt sich nach allen Seiten, aber es behält die Richtung im allgemeinen doch, indem es sich an den Rand dieser Höhle hält. Auf verschiedenen Schnitten auf verschiedener Tiefe sieht man, daß im Zentrum der Narbe in der Längsrichtung einzelne Nervenfasern, von verschiedenem Kaliber und ungleichmäßig imprägniert, verlaufen. Hier muß man vor allem ganz schwarze, sehr dicke Nervenfasern mit deutlichen ungleichmäßigen spindelförmigen Auftreibungen unterscheiden. Diese Fasern sind sehr wenig zahlreich; in jedem Präparat sieht man nur einzelne Abschnitte, welche 2—3 ganze Fasern betragen, die durch die Narbe gezogen sind. Außer diesen dicken Fasern finden sich hier in der Narbe andere dünnere, gewundene, mit rosenkranzförmigen Auftreibungen. Außer den eben beschriebenen Fasern finden sich noch sehr dünne Fasern, welche nur bei der Immersion wahrnehmbar sind. Sie verlaufen auch in der Längsrichtung, aber sie winden sich sehr schroff und tragen rosenkranzförmige Auftreibungen in ihrem Verlauf sowie Wachstumskugeln an den Enden. Einige von diesen dünnen Fasern können außerhalb der Grenze der Narbe verfolgt werden, dort, wo sie mit der weißen Substanz zusammenfließen. Diese letztere zeigt eine

Struktur, die sich wenig von dem Aufbau der weißen Substanz unterscheidet, welche auf den Präparaten der beiden vorhergehenden Serien (Nr. 6 und Nr. 7) beschrieben und dargestellt sind.

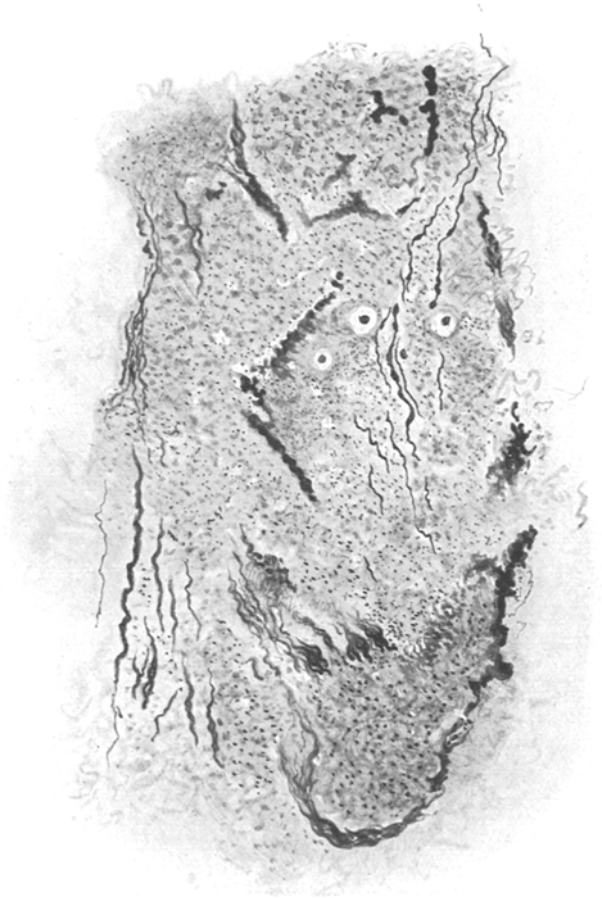


Abb. 12. Kaninchenrückenmark 120 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Obj. AA. Ok. 4. Narbenzentrum im Bereich der weißen Substanz: bindegewebige Stränge, welche einen eigenartigen Rahmen bilden, in dessen Inneren Nervenfasern von verschiedener Dicke sichtbar sind. Einige von diesen Fasern sind deutlich wahrnehmbar, tief schwarz imprägniert, neben ihnen dünne Fasern (deren Details bei dieser Vergrößerung nicht zu unterscheiden sind).

Serie Nr. 9.

Längsschnitte in der frontalen Ebene aus dem Rückenmark eines nach 155 Tagen getöteten Kaninchens.

Bei schwacher Vergrößerung (Obj. a₂, Ok. 5) sieht man, daß die linke, d. h. verletzte Seite fast 1½ mal so dünn als die rechte ist. Die maximale Entwicklung

der Narbe sieht man am Niveau des zentralen Rückenmarkskanals, wo sie die ganze linke Hälfte einnimmt, und in der rechten bis zur weißen Substanz. Der Rückenmarkskanal erweitert sich allmählich, sich der Narbe nähernd und geht in eine kleine Höhle mit unebenen Rändern über. Diese Höhle steht nicht mit dem Rückenmarkskanal des peripheren Schnittes in Verbindung, sie ist von ihm durch die Narbe getrennt. Beide Abschnitte des Kanals verändern ihre Richtung, sich der Narbe nähernd, und rücken, indem sie sich biegen, mit ihren erweiterten Enden zur Peripherie der linken Seite. Entsprechend der Verlagerung der Enden des Zentralkanals ist eine Verlagerung sowohl der weißen als auch der grauen Substanz des Rückenmarks nach der Seite der Verletzung hin vorhanden. Auf der verwundeten Seite werden die periphersten Bündel der weißen Substanz allmählich dünner, die tieferen aber, welche vor der Narbe sich unterbrechen, biegen sich etwas nach der verwundeten Seite hin; eine genau ebensolche gebogene Lage hat auch die graue Substanz. Von der rechten Seite verändert die weiße Substanz in der Tiefe des zentralen Kanals an der Narbe auch auf kurze Zeit ihre Richtung in Form eines kleinen Zickzacks, dann wird sie wieder gerade. Das linke ventrale Segment ist im Vergleich mit dem linken dorsalen weniger degeneriert und an Zellen reicher, daher ist am Niveau unterhalb des Zentralkanals der Unterschied in der Breite der rechten und linken Hälfte weniger stark ausgeprägt.

Bei starker Vergrößerung (Obj. DD, Ok. 5) sieht man, daß die oberflächlichsten Bündel des linken dorsalen Segments zugrunde gegangen sind. Je tiefer von der Peripherie, desto zahlreicher werden die Achsenzyylinder, desto mehr springt in die Augen ihr Unterschied sowohl in der Dicke als auch in der Färbungsstärke sowie in dem Strukturcharakter. Hier sind dünne, marklose Achsenzyylinder zu unterscheiden, welche hell gefärbt sind, einen unregelmäßigen Weg einschlagen, zahlreiche Windungen zeigen und in umgekehrter Richtung verlaufen. Auf ihrem Verlauf sind diese Achsenzyylinder oft mit kleinen Auftreibungen versehen, wobei zum Ende der Faser die Zahl dieser Auftreibungen zunimmt und man oft sehen kann, wie ein Achsenzyylinder in eine keulenförmige Wachstumskugel ausläuft. Einem direkten Gegensatz begegnet man neben diesen Zylindern. Dicke, wenig gewundene Nervenfasern verlaufen der Längsachse des Rückenmarks parallel. An das Zentrum der Narbe herantretend, werden sie dünn, auf ihrem Verlauf treten an ihnen spindelförmige Auftreibungen auf, deren Zahl in dem Maße der Annäherung zum Ende der Faser ebenso wie die Zahl der Biegungen zunimmt. Diese beiden Typen der Achsenzyylinder kommen auf allen Schnitten dieser Serie vor, in welchen die Narbe sich erwies, nur mit Mengenunterschied. Zwischen den Grundtypen sind Übergangsformen vorhanden, welche sich durch Färbungsstärke und den Charakter der Endigungen unterscheiden. Die letzteren stellen sich entweder in Form einer einzelnen Keule oder einiger, die rosettenförmig zusammengelegt sind, vor. In dieser Serie sind am reichlichsten die Schnitte in der Nähe des Zentralrückenmarkskanals. Die weiße Substanz der verwundeten Seite hört plötzlich auf, wobei ihre Enden, wie erwähnt wurde, sich zur Peripherie umbiegen. Die graue Substanz ist auf einer ziemlich beträchtlichen Strecke von der weißen durch eine enge Schicht Narbengewebe, das in die Narbe übergeht, abgetrennt. In der letzteren liegen einige Nervenfaserbündel, die voneinander durch die Narbe getrennt sind und in der Längsrichtung verlaufen. Das Innere dieser Bündel ist unmittelbar mit dem oberen und unteren Stumpf der weißen Substanz des Rückenmarks verbunden. Das diesem Bündel benachbarte äußere hat keine deutlich ausgeprägte Verbindung mit dem oberen und unteren Stumpf, aber die dasselbe bildenden einzelnen Achsenzyylinder verlaufen, sich stark windend, in der Richtung des oberen und unteren Stumpfes der

grauen Substanz und verlieren sich dort. Außer diesen Bündeln verlaufen in derselben Narbe ziemlich zahlreiche, einzelne oder zu 2—3 zusammengelegte Nervenfasern, die in der Längs-, in schräger oder sogar in der Querrichtung gelagert sind und zwischen irgendwelchen unbestimmten Punkten sich hinziehen. In der Narbe sieht man hier auch einzelne Blutgefäße, welche entweder längs oder quer oder schräg zu der Längsachse des Rückenmarks verlaufen. Die Beziehung der Achsenzylinder zu diesen Blutgefäßen ist sehr verschieden. Man kann sowohl ihre Kreuzung als auch das Zusammenfallen ihrer Richtungen beobachten. Im letzten Falle verlaufen eine dünne Nervenfaser oder einige, unmittelbar dem Blutgefäße anliegend, und befolgen seine Bahn. Unter den einzelnen und den sich in Bündel verbindenden Fasern müssen zwei Arten unterschieden werden: Die Fasern der ersten Art sind ausgezeichnet imprägniert (schwarz), mit ausgeprägten spindelförmigen Auftreibungen, die bald massiv, bald weniger stark ausgeprägt sind; mitunter haben die Auftreibungen nicht den Charakter einer Spindel, sondern stellen sich in Form eines gänzlich atypischen Auswuchses vor. Die Dicke dieser Fasern ist äußerst verschieden: bald sind sie dick, bald bis zu kaum wahrnehmbaren Fäden verdünnt, darauf verdicken sie sich wieder deutlich und tragen in ihrem Verlaufe Auftreibungen. Zwischen den beschriebenen Fasern sieht man bei sehr großer Vergrößerung ($\frac{1}{12}$ Immers., Kompensationsok. 8) andere Fasern (zweiter Typus), die sehr dünn mit rosenkranzförmigen Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden sich vorstellen. In ihrem Verlaufe haben sie außer den Windungen mitunter noch Spiralen aus einer oder einigen Windungen. Einige von diesen dünnsten Fasern können von ihrem Ursprungspunkt verfolgt werden und dann sieht man, wie sie von den dicken Stämmen in den Zwischenräumen zwischen den einzelnen Auftreibungen entspringen. Der Weg dieser dünnsten Fasern geht bisweilen den dicken parallel, bisweilen quer zu ihnen.

Der Narbenschnitt, welcher zwischen den Stümpfen der rechten Hälfte der grauen Substanz des Rückenmarks liegt, ist durch Nervenfasern ausgefüllt, deren Charakter und Lage recht eigentümlich ist. Hier ist keine Rede von irgendeiner Richtung der Fasern, da sie, sich zickzackförmig anordnend, nach allen Seiten hinziehen. Ihre Länge ist sehr unbedeutend und sie sind alle in ihrem Verlaufe entweder mit rosenkranz- oder spindelförmigen Auftreibungen versehen. Die dünnsten von ihnen endigen mit kleinen Wachstumskugeln. Die dickeren, welche besser imprägniert sind, endigen auch, aber mit sehr großen Auftreibungen. Hier begegnet man auch oft rosettenförmigen Bildungen. Dieses Netz geht nach oben und nach unten unmittelbar in die Stümpfe der grauen Substanz der rechten Hälfte, sowohl in dorsalem als auch in ventralem Rückenmarksabschnitt, über.

Serie Nr. 10.

Längsschnitte in der frontalen Ebene aus dem Rückenmark eines 200 Tage nach der Verletzung getöteten Kaninchens.

Unter der Vergrößerung Obj. AA, Ok. 3 sieht man, daß in der linken Hälfte des Markes ein Knochenstückchen vorhanden ist, welches halbmondförmig in das Rückenmark eindringt¹⁾. Mit der konvexen Seite sieht der Knochensplitter nach innen und komprimiert den Zentralrückenmarkskanal. Zum Niveau des Splitters aufsteigend, biegt sich der Kanal nach der gesunden Seite ab und verengert sich

¹⁾ Das Vorhandensein des Knochensplitters im Rückenmark erklärt sich durch sein zufälliges Eindringen während der Wirbelbogentrepanation. Das hat zu keinen funktionellen Störungen geführt und ist nur bei der Obduktion und der Mikroskopie entdeckt.

stark, so daß sein Lumen einen kaum unter dieser Vergrößerung wahrnehmbaren Spalt bildet; nach dem Durchtritt des komprimierten Abschnittes biegt sich der Zentralkanal wieder, aber schon nach der kranken Seite hin um, und erweitert sich dann bis zum normalen Durchmesser. An der Stelle der maximalen Kompression (der am meisten konvexe Punkt des Knochenhalbmondes) ist von der linken Hälfte des Rückenmarkes nur ein äußerst dünnes Gewebebrückchen geblieben, in dem gar keine Nervelemente vorhanden sind (Obj. DD und Immers., Ok. 5). Auf der rechten Hälfte des Markes, d. i. auf der der Kompression entgegengesetzten Seite, finden sich folgende Veränderungen. Die weiße Substanz ist normal, aber der Abschnitt der grauen, welcher die Kompression erlitten hat, ist an Nervenbestandteilen äußerst arm. Nervenzellen fehlen gänzlich, was die Fasern anbelangt, so kommen sie vor, aber nur in sehr beschränkter Anzahl in Form einzelner sehr kurzer Sprößlinge. Fast alle Gesichtsfelder sind bei der Betrachtung dieses Abschnittes durch eine große Menge großer schwarzer Myelinschollen besetzt, bald in Form von Kugeln, bald von eiförmigen, bald von gänzlich formlosen Teilchen. Die graue Substanz der verwundeten Hälfte sowohl im oberen als auch im unteren Stumpfe wird, indem sie sich dem Knochen nähert, durch Abnahme ihrer äußeren Schicht dünner, sie erreicht den höchsten Punkt des Halbmondes in Form eines spitzen Winkels. An dieser Stelle sind keine normalen Nervenzellen vorhanden, es finden sich nur ihre Reste in Form kleiner Schollen, welche wie die normalen schön hellbraun gefärbt sind. Einen Kern im Zentrum dieser Schollen festzustellen, gelingt nicht. Die weiße Substanz ist an der Verletzungsstelle an Achsenzyklindern sehr arm (vgl. Abb. 13), aber viele von ihnen tragen in ihrem Verlauf Knoten und an den Enden Wachstumskugeln. Ihr Weg ist sehr verschieden: Die Mehrzahl verläuft in der Längsrichtung, aber es finden sich auch querverlaufende, die dann ihre Richtung aus der queren auf die longitudinale abändern. Indem die Enden dieser Fasern kleinen runden Höhlen begegnen, biegen sie sich oft um ihre Wandung um und schließen sich mit einigen Auftreibungen nacheinander ab. Hier kommen auch zwischen den dünnen varikösen Achsenzyklindern, kleine oder etwas größere Höhlen vor, welche Reste dicker Fasern in Form von Ringen oder Halbmonden oder kleine Schollen enthalten. Je näher zum Knochen, desto weniger Achsenzylinder trifft man an und neben dem Knochen fehlen die nervösen Bestandteile gänzlich.

Bei der Besprechung unseres experimentellen Materials müssen wir vor allem auf die Schwierigkeiten hinweisen, welche bisweilen bei der Bewertung des histologischen Bildes entstehen. Daß im Zentralnervensystem nach der Verletzung nach den Angaben von *R. y Cajal* die regenerierenden Bestandteile am 36. Tage an der Atrophie und Resorption zugrunde gehen, kompliziert die Diagnose. Auf diese Tatsache sowie auf die Arbeiten von *Koichi Miyake* und *Spatz* hinweisend, welche auf dieselbe Schwierigkeit aufmerksam machen, betont *Spielmeyer*, wie vorsichtig man die Differentialdiagnose zwischen den neugebildeten und alten Nervenfasern zu stellen hat. Die Verhältnisse verwickeln sich um so mehr, als nach *Koichi Miyake* schon 24 Stunden nach der Verletzung Sprößlinge vom Typus der Wachstumskugeln *Ramon y Cajals* vorkommen, wo man noch nicht eine so weit fortgeschrittene Regeneration erwarten kann. Bei der Betrachtung unserer ziemlich zahlreichen Schnitte in Serien war es mitunter schwer, irgendwelche bestimmten zweifellosen Merkmale zu finden, um über die Eigenschaften der betref-

fenden Faser einen Schluß zu ziehen. Rosenkranzförmige Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden der Nervenfasern sind eine sehr häufige Erscheinung. Übergangsformen zwischen den verschiedenen Arten der rosenkranzförmigen Auftreibungen lassen sich in sehr großer

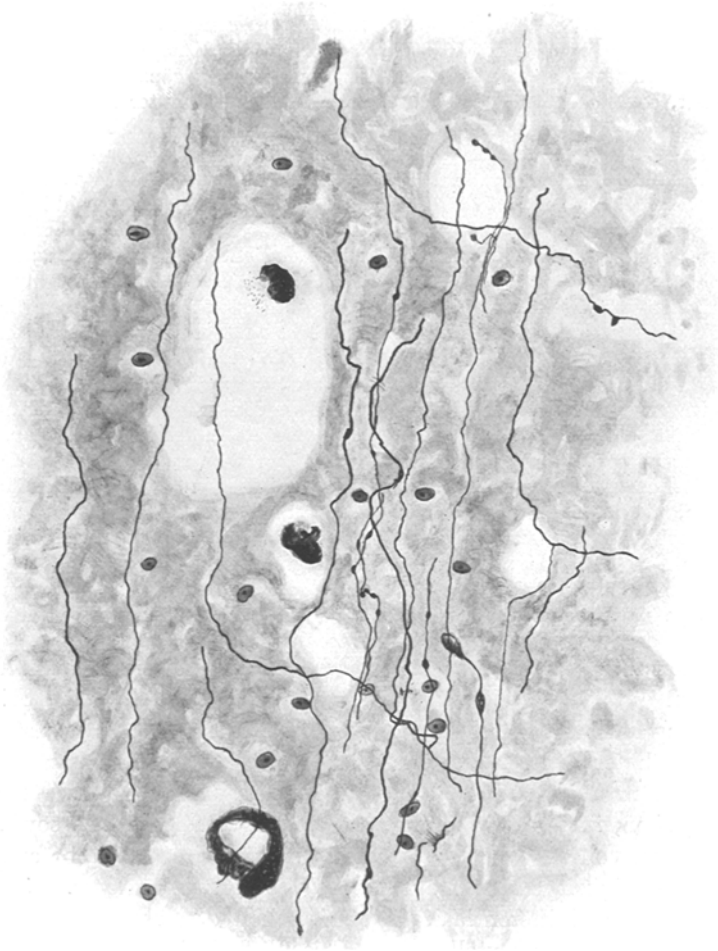


Abb. 13. Kaninchenrückmark 200 Tage nach der Verletzung. Zeiss, Obj. DD, Ok. 5. Die weiße Substanz der verwundeten Hälfte über der Verletzungsstelle: einzelne oder in Bündel sich sammelnde neugebildete Achsenzylinder mit rosenkranzförmigen Auftreibungen und Wachstumskugeln an den Enden. Der gewundene Verlauf fällt größtenteils mit der langen Achse des Marks zusammen, mitunter erstrecken sie sich quer. Unterwegs umgehen sie mitunter runde oder ovale Höhlen, welche völlig durchsichtig oder mit den Resten alter der Resorption anheimfallenden Nervenfasern angefüllt sind. Diese Reste stellen sich entweder in Form von Schollen oder unverschlossenen Ringen dar.

Anzahl finden: Auftreibungen in Form von Kugeln, Ovalen, Spindeln oder gänzlich atypischer Bildungen begegnet man oft und dabei an den Fasern von der verschiedensten Dicke. Das Verhalten der Fasern zum Silber (Argentophilie) ist auch verschieden, und eine ganze Tonleiter von Schattierungen läßt sich aufstellen. Endigungen in Form von Verdickungen besitzen auch zahlreiche Übergangsformen von den Wachstumskugeln bis zu den Retraktionskolben inklusive. Es hätte scheinen können, daß man sich, auf die Topographie stützend und die Lokalisation der Narbe in Betracht ziehend, die Fasern in Abhängigkeit von ihrer Lage außerhalb oder in den Grenzen des ergriffenen Abschnitts hätte differenzieren können. Wenn man zugleich damit das Gebiet der Verletzung vermerkt und später den betreffenden Markabschnitt mikroskopisch untersucht, hätte man, falls man an der Verletzungsstelle irgendeine passierende Faser fände, den entsprechenden Schluß ziehen können. Studiert man jedoch die Wunden und die degenerativen Prozesse, so überzeugt man sich bald davon, daß die Resorption sehr oft die Grenzen des durchschnittenen Gebiets verläßt, und sich in der Umgebung ausbreitend, sich nicht schrittweise, sondern in Sprüngen weiterbewegt. In der Folge können in der Narbe zweifelsohne zufällig nicht degenerierte Fasern vorkommen, die in bedeutendem Maße modifiziert und ihrer zylindrischen Form verlustig sind. Hält man sich aber an die Ausdehnung der Verletzung, so läßt sich nicht genau und bestimmt bei der mikroskopischen Untersuchung behaupten, daß die Wunde nur gewisse Abschnitte und keine anderen betroffen hatte.

Aus diesen Erwägungen müssen wir die Meinung aussprechen, daß es unmöglich sei, bei der Bestimmung des Charakters einer Nervenfasers Fehler zu vermeiden. Aber wenn man nicht jede Faser zu diagnostizieren sucht und insbesondere sich nicht die Aufgabe stellt, Übergangsformen zu unterscheiden, sondern sich nur auf jene beschränkt, welche an den entgegengesetzten Polen der Reihe ähnlicher Axonen stehen, so werden in diesem Fall die äußeren Formen augenscheinlich sein und grobe Fehler vermieden werden. Schroff gewundene, marklose Axonen mit kleinen, runden, rosenkranzförmigen Auftreibungen und kleinen Wachstumskugeln an den Enden, die gewöhnlich bräunlich imprägniert werden, sowie dünne, wenn auch gerade Achsenzylinder, welche als Fortsetzung der dicken erscheinen, können zweifellos zu den neugebildeten gerechnet werden. Durch diese ihre Züge unterscheiden sie sich wesentlich von den Fasern im normalen Rückenmark.

Weiter erlauben die Beobachtungen von *Perroncito* uns über die Ursprünge der jungen Achsenzylinder zurechtzufinden und geben die Möglichkeit, einerseits über die Tiefe der Verwundung und andererseits über den Grad der Narbenverbreitung zu urteilen. An der Hand dieser Kriterien läßt sich schließen, daß schon am Ende der 1. Woche von seiten

der künstlich durchschnittenen Achsenzylinder der weißen Substanz ein Versuch zur Regeneration vorliegt. Dieser Versuch besteht in der Bildung gewundener Endigungen mit Wachstumskugeln. Nach 2 Wochen schreiten die Regenerationserscheinungen vorwärts in Form des Wachsens einzelner Achsenzylinder oder sogar Bündel entlang den neugebildeten Capillaren oder den Bündeln des Bindegewebes. In der 4. Woche rückt der Regenerationsprozeß gleichsam auf der Stelle gehemmt nicht vorwärts, aber die wachsenden Fasern aus der weißen Substanz winden sich, eng den bindegewebigen Narbenzügen anliegend, zum Verwundungszentrum, gelangen aber nicht durch die Narbe hindurch. Neben den Regenerationsprozessen kommt der Untergang des die Narbe umgebenden Nervengewebes zustande, wobei in den Resorptionsprozeß die neugebildeten Achsenzylinder gezogen werden. Am Schluß eines Monats entwickeln sich die Resorptionsprozesse in vollem Maße, so daß die Regeneration in den Hintergrund tritt und sich nur noch in den durch die Degeneration nicht ergriffenen Abschnitten erhält und in Form des Wachstums einzelner zwischen den Fasern des Bindegewebes und an ihnen selbst verlaufender Achsenzylinder äußert. 60 Tage nach der Verletzung ändert sich das Bild ziemlich schroff. Auf den Präparaten fehlen die hellen Räume, welche ziemlich große Zwischenräume einnehmen. Die Resorptionsintensität alles dem Untergang Anheimgefallenen steht still, die Narbe hat sich in Form einer geschlossenen Höhle gebildet, welche von bindegewebigen Fasern umgeben ist, deren einzelne Bündel sich in die beiden Markstücke verbreiten. Unter diesen Bedingungen äußern sich die Regenerationserscheinungen in sehr bescheidener Weise in Form einzelner oder zu einigen zusammengelegter Achsenzylinder, welche vom oberen und unteren Stumpf zu den äußeren Rändern des bindegewebigen Rahmens herantreten, aber ohne daß sie in der Regel in sein Inneres eindringen. Zum 77. Tage schreitet der Prozeß wenig vorwärts, aber zum 110. und 120. Tage nimmt die Regenerationswelle zu, da alles, was zum Wachstum gelangt, nicht zugrunde geht und nicht resorbiert wird. Um diese Zeit beobachtet man den Hindurchtritt durch die Narbe einzelner Achsenzylinder, welche sich nicht an die Richtung der Narbenfasern halten, sondern trotz ihrer Neigung, sich eine Stütze zu suchen, durch die bindegewebigen Trabekeln verlaufen. Die Menge solcher „kühner“ Fasern, welche sich einen Durchtritt durch die Narbe erwehren, ist äußerst beschränkt, man begegnet ihnen nur auf einzelnen Schnitten, aber sie lassen sich doch finden.

Zum 156. Tage nach der Verletzung begegnet man Regenerationserscheinungen immer häufiger. Es finden sich ziemlich viel neugebildete Fasern. Sie lassen sich in den verschiedensten Richtungen verfolgen: wir finden solche, welche durch die Narbe hindurchziehen, aber irgendein System in ihrem Wachstum festzustellen haben wir gar keine

Möglichkeit. Trotzdem sie in der Tiefe der Narbe sich lagern und durch die Narbe von den gesunden Nervenfasern abgegrenzt sind, läßt sich nicht sagen, daß die Regeneration an dem einmal durchschnittenen Abschnitte zustande kommt. Das Vorhandensein einiger alter Fasern in dieser Tiefe, die aber sehr stark verändert sind, spricht dafür, daß hier vor einiger Zeit verstärkte Resorption in der Umgebung der Wunde vor sich gegangen war, aber daß einzelne Fasern heil geblieben und um diese zurückgebliebenen alten Nervenfasern später die Ursprünge des neuen Lebens zustande gekommen sind. Die ihrem Grundsatz, sich an irgendeine Stütze zu halten, treuen neugebildeten Achsenzylinder bahnen sich auch in dem vorliegenden Fall den Weg neben den alten Bündeln oder neben den Capillaren. Wenn das Capillargefäß in der Querrichtung verläuft, so werden auch die wachsenden Fasern diese Richtung einhalten, wenn aber diese Richtung eine longitudinale ist (altes Bündel), dann wird auch das Wachstum derselben mit der Längsrichtung zusammenfallen.

Aus zufälligen Gründen befand sich zum 200. Tage in der weißen Substanz ein unüberwindbares Hindernis für das Wachstum der Achsenzylinder in Form eines Knochensplitters. Dieser Versuch hat nun jedoch eine Bedeutung in dem Sinne, daß es den Grad des Unterganges der Nervenelemente infolge des Druckes angibt. Der Prozeß stellt sich verhältnismäßig abgeschlossen dar. Die vom Drucke freien Leitungsbahnen erweisen sich normal, an der Peripherie des Knochenstückens aber in der weißen Substanz kommt es zu einem ununterbrochenen Wachstumsversuch auf dem Hintergrund der langsamen Resorption der alten zugrunde gegangenen Nervenfasern.

Die graue Substanz hatte nirgends, niemals und unter keinen Umständen eine irgendwie ausgesprochene Neigung zur Regeneration, sie beschränkte sich nur durch geringfügige Versuche, feine seltene variköse Auswüchse von den heilgebliebenen Zellen zu entsenden.

Wenn die graue Substanz keine bedeutende Neigung zur Regeneration besitzt, so äußert die weiße Substanz, wenngleich sie eine außerordentliche Wachstumskraft hat, nichtsdestoweniger niemals diese Fähigkeit im vollen Maße. Ohne auf die Kritik der Theorie des Neurotropismus (*R. y Cajal*) einzugehen, müssen wir, uns auf diese unsere Präparate stützend, betonen, daß die Theorie der Odogenese von *Dustin* ihre Bestätigung findet. Nur dort, wo irgendeine Bahn für die wachsenden Achsenzylinder vorliegt, sieht man ihr Vorwärtsschreiten in größeren oder geringeren Mengen. Dort, wo diese Bahnen fehlen, und zwar in der Narbe mit querverlaufenden bindegewebigen Fasern oder Gefäßen, da finden sich nur einzelne Eindringlinge, welche zufällig das Hindernis überwunden haben.

Die Regeneration, welche man beim Kaninchen nach partieller Ver-

wundung beobachtet, ist vom theoretischen Standpunkt beachtenswert. Vom klinischen Standpunkte aus kann diese Regeneration nicht in Betracht gezogen werden, aber die Versuche sind lehrreich, weil sie einen Gegensatz der mikroskopischen zu den funktionellen Ergebnissen der experimentellen Durchschneidungen zeigen. Das Nichtentsprechen des ausgezeichneten Zustandes der hinteren Extremitäten mit den histologischen Bildern springt schroff in die Augen. Die Anpassungsfähigkeit der übrigbleibenden Leitungsbahnen des Rückenmarks gewinnt eine besondere Wichtigkeit.

Rothmann, der die Frage über die Zweckmäßigkeit der Schnitte am Rückenmark, um aus seiner Tiefe Neubildungen zu entfernen, aufgeworfen hat, stellte einige Versuche mit partiellen Durchschneidungen verschiedener Rückenmarkleitungsbahnen an. Die von ihm erwiesene Anpassungsfähigkeit der Leitungsbahnen an verschiedene Verhältnisse bei diesen Durchschneidungen mit fast völliger oder partieller Funktionswiederherstellung gibt die Erklärung für die in unseren Versuchen festgestellten Erscheinungen. Die breiten Narben im Rückenmark unserer Versuchstiere äußerten sich bei Lebzeiten durch nichts in funktioneller Hinsicht, und selbst das Vorhandensein eines Knochenstückchens in der linken Rückenmarkshälfte blieb während 200 Tagen nicht bemerkt und wurde erst bei der Obduktion des getöteten Tieres entdeckt.

Nach der Bekanntschaft mit den Literaturangaben über die Regeneration des Nervengewebes an Tieren und nach unseren entsprechenden Versuchen steigt die Frage auf: ob dieses Material irgendwelche Daten und Gründe für die Ausführung der Operationen an Menschen wie das Zusammennähen des Rückenmarks, uns liefert? Die einzig mögliche Antwort auf diese Frage muß wohl negativ sein, da die in funktioneller Hinsicht mögliche Regeneration der Achsenzyylinder gleich Null sein wird. Die andere Frage, ob überhaupt bei partieller und unvollständiger Verletzung des Rückenmarks operative Eingriffe rationell seien, ist im positiven Sinne zu beantworten. Die Laminektomie mit der Eröffnung der Dura muß in der Regel ausgeführt werden, um nach Möglichkeit alle Faktoren, welche die Kompression des unversehrt gebliebenen Rückenmarkabschnitts nach sich ziehen, auszuschalten, weiter ist die sorgfältigste Hämostase oder Tamponade im Lauf von 2—3 Tagen der teilweise vernähten Operationswunde auszuführen.

Wenn in experimenteller Hinsicht auch Versuche mit relativ glänzender Regeneration, wie in den Versuchen von *Lorento di No*, vorliegen, so hatte man stets die maximale Regeneration nur an Froschlarven festgestellt. Beim Menschen, der auf den höchsten Stufen der biologischen Leiter steht, kann man schwerlich entsprechende und um so mehr irgendwelche Ergebnisse von klinischer Bedeutung erwarten.

Schlußfolgerungen.

1. Nach experimenteller Verletzung des Kaninchenrückenmarks ist beim Vernähen der Hautwunde ein Tampon zu lassen, den man bis zur Pia mater einführt. Diese Technik beugt der Bildung eines Hämatoms vor, das das Mark komprimiert und die normale Funktion der rückbleibenden Leitungsbahnen verhindert.

2. Die graue Substanz des Rückenmarks regeneriert sich nicht.

3. Die weiße Substanz besitzt zwar die Fähigkeit zur Regeneration, aber zu ihrer Auswirkung fehlt es an passenden Bahnen für das Wachstum der Achsenzyylinder.

4. Bei der Regeneration der weißen Substanz sind zwei Zeitabschnitte zu unterscheiden: der erste schließt im Beginn des 2. Monats nach der Verletzung ab durch den Untergang der neugebildeten Achsenzyylinder infolge ihrer Resorption. Der zweite beginnt vom 3. Monat an und unterscheidet sich von dem ersten durch das Erhaltenbleiben der neugebildeten Fasern.

5. Die Regeneration des zweiten Zeitabschnitts äußert sich in einem Hindurchwachsen einzelner Achsenzyylinder durch die Narbe, hat aber keine klinische Bedeutung.

Am Schluß der vorliegenden Untersuchung sage ich meinen innigsten Dank dem hochverehrten Herrn Prof. Dr. S. S. Girgolaß für das vorgeschlagene Thema, für die beständige Hilfe und Anleitung bei der Ausführung meiner Arbeit. Außerdem danke ich den Herren Prof. D. I. Deyneka und Privatdozent B. S. Doinikoff für die Durchsicht meiner Präparate und für ihre wertvollen Hinweise.

Literaturverzeichnis.

¹⁾ *Brown-Sequard*, Expériences sur les plaies de la moelle épinière. Gazette médicale de Paris 1849, Nr. 12. — ²⁾ *Brown-Sequard*, Régénération des tissus de la moelle épinière. Ebenda 1850, Nr. 13. — ³⁾ *Brown-Sequard*, Sur plusieurs cas de cicatrisation de plaie faites à la moelle épinière, avec retour des fonctions perdues. Ebenda 1851, Nr. 31. — ⁴⁾ *Brown-Sequard*, De la régénération de la moelle épinière d'après l'experimentation et des faits cliniques. Archives de physiologie normale et pathologique. 5. série, 4. 1892. — ⁵⁾ *Caporaso, Luigi*, Sulla rigenerazione del medullo spinale della corda dei tritoni. Beitr. z. pathol. Anat. u. z. allg. Pathol. 5. 1889; zit. nach *Yamada*. — ⁶⁾ *Dentan*, Quelques recherches sur la régénération fonctionnelle et anatomique de la moelle épinière. Inaug.-Diss. Bern 1873; zit. nach *Yamada*. — ⁷⁾ *Dustin*, Le rôle des tropismes et de l'odogénèse dans la régénération du système nerveux. Arch. de biol. 25. 1910. — ⁸⁾ *D'Abundo*, Rivista ital. di neuropatologia, psichiatria ed elettroterapia 1 u. 2, fasc. 7 e 8. 1909; zit. nach *Dustin*, ibid. — ⁹⁾ *Eichhorst, H.*, und *B. Naunyn*, Über die Regeneration und Veränderungen im Rückenmark nach streckenweiser totaler Zerstörung desselben. Arch. f. exp. Pathol. u. Pharmakol. 2. 1874. — ¹⁰⁾ *Eichhorst, H.*, Über Regeneration und Degeneration des Rückenmarkes. Zeitschr. f. klin. Med. 1. 1880. — ¹¹⁾ *Enderlen*, Über Stichverletzungen des Rückenmarkes, experimentelle und klinische Untersuchungen. Dtsch. Zeitschr. f. Chir. 40. 1895. — ¹²⁾ *Eiselsberg*,

Zur Indikation und Technik erworbener Rückenmarkskrankheiten. Bruns' Beitr. z. klin. Chir. **122**, Heft 2. (Referat im Jahresbericht über die gesamte Chirurgie und ihre Grenzgebiete 1924.) — ¹³⁾ *Francotte*, Régénération des fonctions du train postérieur chez deux chiens ayant subi une section totale de la moëlle épinière à la partie inférieure de la région dorsale. Ann. de la soc. méd.-chir. de Liège 1889; zit. nach *Enderlen*. — ¹⁴⁾ *Фиников А. П.* К вопросу о лечении огнестрельных ран спинного мозга. Юбилейный сборник И. И. Грекова. Петроград 1921 г. — ¹⁵⁾ *Gley, E.*, La régénération de la moelle épinière, d'après les recherches de Sgobbo. Arch. de physiol. 1892. — ¹⁶⁾ *Henle, A.*, Die Chirurgie des Rückenmarkes und der Wirbelsäule. Handbuch der praktischen Chirurgie, Garrè, Kütnner und Lexer. Bd. IV. 1922. — ¹⁷⁾ *Lorento, R., de No.*, La regeneración de la medula espinal en las larvas de batracio. Trabajos del laborat. de investig. biol. de la univ. de Madrid **19**. 1921. ¹⁸⁾ *Masius und van Lair*, Anatomische und funktionelle Wiederherstellung des Rückenmarks beim Frosch. Zentralbl. f. d. med. Wissensch. 1869, Nr. 39. — ¹⁹⁾ *Максимов А. А.* Основы гистологии. Петроград 1917 г. — ²⁰⁾ *Marinesco et Minea*, Recherches sur la régénérescence de la moelle. Nouvelle iconographie de la Salpêtrière **19**. 1906. — ²¹⁾ *Müller, H.*, Über die Regeneration der Wirbelsäule und des Rückenmarkes bei Tritonen und Eidechsen. Abh. d. Senckenberg. Ges. **5**. Frankfurt 1864—1865; zit. nach *Yamada*. — ²²⁾ *Mauss, Theodor*, Über die traumatischen Rückenmarksschädigungen und deren Behandlung unter besonderer Berücksichtigung der Spätfälle. Zeitschr. f. d. ges. Neurol. u. Psychiatrie Bd. **66** (Referat). — ²³⁾ *Picollo und Santi Sirena*, Sulle ferite del midollo spinale. Giornale di scienze naturali... **2**. 1875; zit. nach *Enderlen*. — ²⁴⁾ *Ramon y Cajal*, Notas preventivas sobre la degeneración y regeneración de las vias nerviosas centrales. Trabajos del laborat. de investig. biol. de la univ. de Madrid **4**. 1906. — ²⁵⁾ *Schlieferdecker*, Über Regeneration, Degeneration und Architektur des Rückenmarks. Virchows Arch. f. pathol. Anat. u. Physiol. **67**. 1876. — ²⁶⁾ *Ströbe, H.*, Experimentelle Untersuchungen über die degenerativen und reparatorischen Vorgänge bei der Heilung von Verletzungen des Rückenmarks nebst Bemerkungen zur Histogenese der sekundären Degeneration im Rückenmark. Beitr. z. pathol. Anat. u. z. allg. Pathol. **15**. 1894. — ²⁶⁾ *Spielmeyer*, Histopathologie des Nervensystems. Berlin 1922. — ²⁷⁾ *Turner*, On hemisection of the spinal cord. Brain 1891. — ²⁸⁾ *Vulpian, A.*, Maladies du système nerveux. Paris 1879. — ²⁹⁾ *Yamada, T.*, Experimentelle Beiträge zu den Rückenmarksverletzungen. Mitteilungen aus der med. Fakultät der kaiserl. japanischen Universität. Bd. VII. 1906—1908.