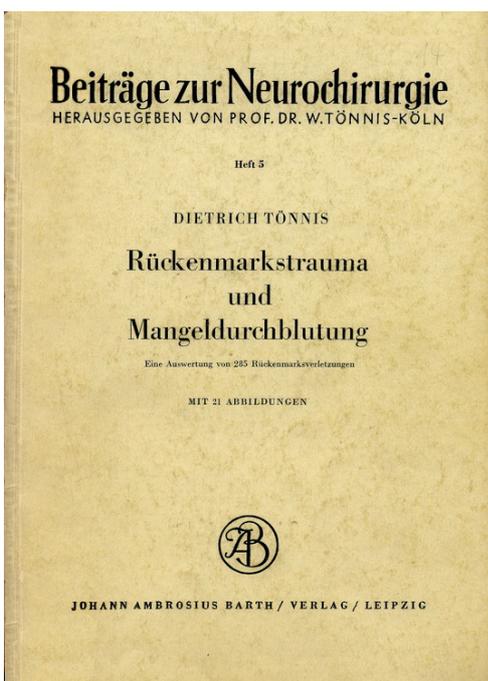


Die traumatische Querschnittslähmung - Welche Rolle spielen Durchblutungsstörungen?

Prof. Dr. med. Dietrich Tönnis

Mein Vater war, wie Sie wissen, Neurochirurg, zuletzt in Köln, sein Neuropathologe war Prof. Zülch, und beide arbeiteten eng mit dem bekannten Physiologen Prof. Max Schneider zusammen. Ich wußte zwar, dass ich Orthopäde werden wollte, gab aber der Empfehlung meines Vaters nach, so dass meine Ausbildung mit einem Jahr Physiologie bei Prof. Schneider begann, danach mit einem Jahr Neurologie. Dann wurde ich 1958 Assistent der Berufsgenossenschaftlichen Krankenanstalten Bergmannsheil in Bochum. Das lag auf meinem orthopädischen Weg. Dort bestand aber auch eine große Station für Querschnittsgelähmte.

Am Großhirn waren Syndrome von Durchblutungsstörungen schon seit längerem bekannt. Zülch konnte dann 1954 durch einzelne Sektionen zeigen, dass es auch am Rückenmark zu Gewebsveränderungen durch Mangel durchblutung an den Grenzen zwischen zwei Gefäßversorgungsgebieten kommen kann. Max Schneider hatte die Theorie von der frühen Trockenheit der sog. letzten Wiese zwischen zwei Quellgebieten aufgestellt.



(Abb. 1)

Ich wurde dann aufgefordert, das Krankengut von Wirbelsäulenverletzungen des "Bergmannsheils" auch auf die Bedeutung von Durchblutungsstörungen zu untersuchen.

Das erfolgte von 1958 bis 1960, die Veröffentlichung in den "Beiträgen zur Neurochirurgie" erschien 1963. Sie sehen hier das Titelblatt. Der Wissensstand ist also der von 1962.

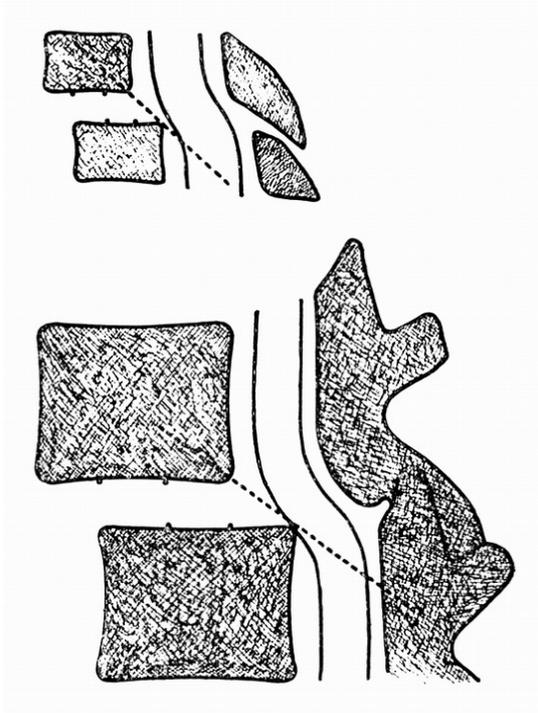
Unter 1855 WS-Verletzungen zwischen 1945 und 1959 fanden sich 285 mit neurologischen Ausfällen (15,4 %). Wir unterteilten in Teilausfälle, dann sensible Teilausfälle bei kompletten motorischen Ausfällen und ferner komplette Querschnittslähmungen (Tab. 1).

(Tab. 1) Unterteilung	
Teilausfälle	101 Fälle (35,4 %)
Sensible Teilausfälle bei kompletten motorischen Ausfällen	46 Fälle (16,2 %)
Komplette Querschnittslähmungen	138 Fälle (48,4 %)

(Tab. 2) Neurologische Ausfälle bei Prellungen der Wirbelsäule	
Teilschädigungen	3 Fälle
Sensible Teilschädigungen, motorisch komplette Lähmung	1 Fall
Komplette Querschnittslähmungen	9 Fälle

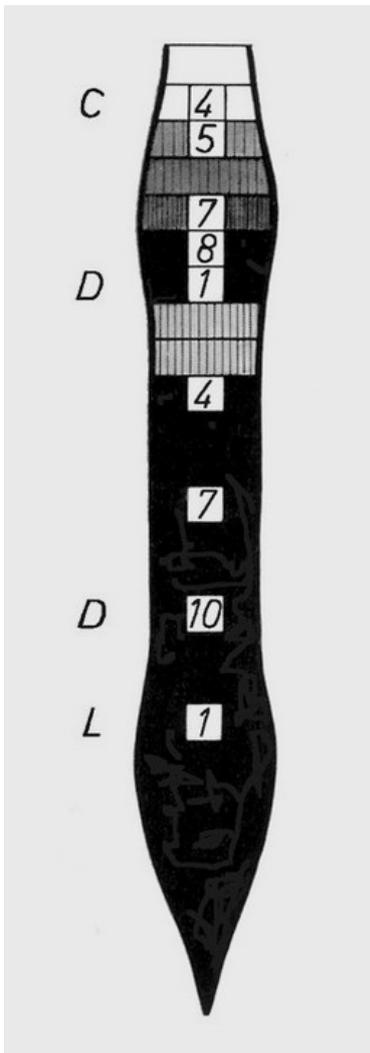
Diese kamen auch schon bei 13 Prellungen vor (Tab. 2), ferner bei Brüchen ohne Verschiebung (Tab. 3).

(Tab. 3) Neurologische Ausfälle bei Wirbelsäulenverletzungen Brüche ohne Verschiebungen			
	HWS	BWS	LWS
Teilausfälle	20	4	18
Sens. Teilschädigungen, motorisch komplette Lähmung		3	3
Komplette Querschnittslähmungen		3	6



Leichte und schwere Verrenkungen wurden dadurch unterschieden, ob sie unter oder über die 1/3 Wirbelkörperbreite hinaus verschoben waren (Abb. 2).

(Abb. 2)



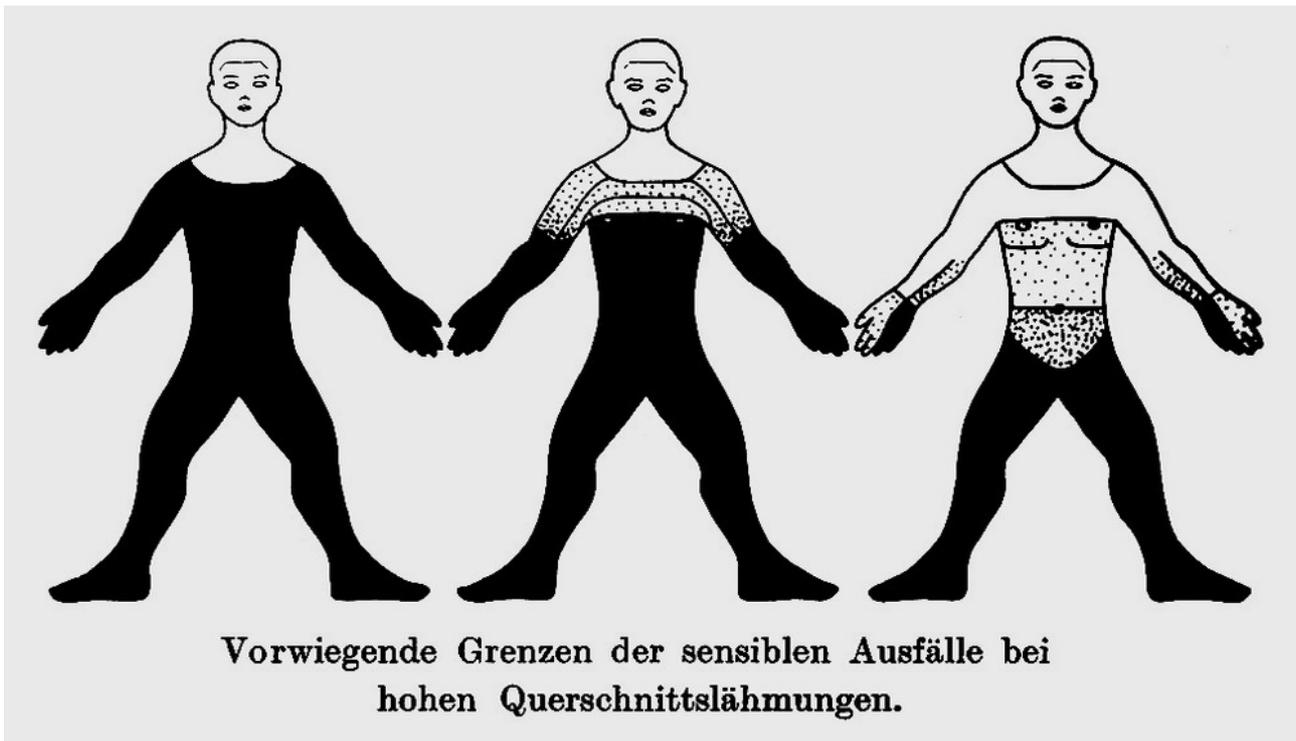
Dass sich die neurologischen Ausfälle nicht allein durch örtliche Druckschädigung des Rückenmarks erklären lassen, wird bereits bei vielen, selbst schweren Halswirbelverrenkungen deutlich.

In Abb. 3 sind die neurologischen Ausfälle in den einzelnen Segmenten des Rückenmarks dargestellt, leichte Ausfälle in D 2 und D 3 schraffiert, schwere schwarz in den Segmenten C7, 8 und D1. Die vollkommene Querschnittslähmung setzt dann erst bei D 4 in Höhe der Brustwarzen ein, sehr viel tiefer also als der Ort der Schädigung, der meist bei HW 6 und 7 liegt.

Zwei Drittel unserer schweren Halsmarkschädigungen zeigen eine solche Querschnittsbildung im Brustmark und nur ein Drittel im Halsmark, meist bei C 5 dann.

(Abb. 3)

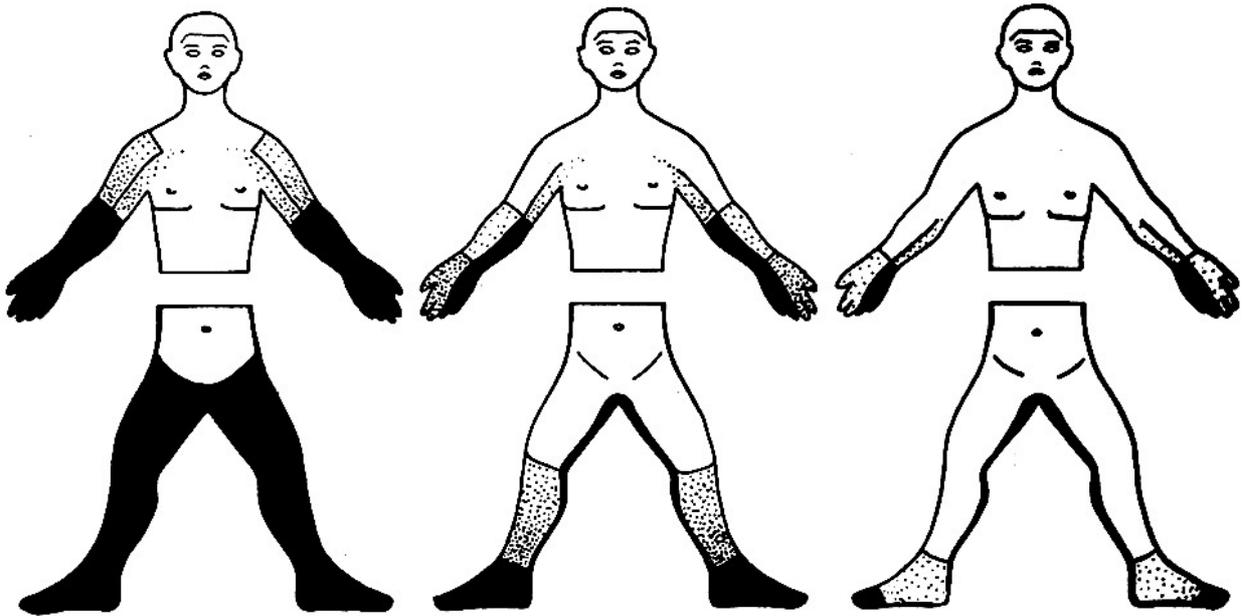
Halsmarkschädigungen, wenn sie schwerer sind, beginnen meist ab C 5, wie sie hier in der Umrandung sehen, auch wenn der 6. oder 7. Halswirbel geschädigt ist. Leichtere Verletzungen beschränken sich auf C 7 und 8. Brustmarkverletzungen zeigen Ausfälle vorwiegend ab D 4 und D 10. Verletzungen des unteren Brust- und des Lendenabschnittes beginnen meist ab L 1.



(Abb. 5)

Aber auch der Einzelfall zeigt anfangs und im späteren Verlauf häufig die Betonung bestimmter Grenzen der Sensibilität (Abb. 5). Die erste Figur links stellt eine vollkommene Halsmarklähmung dar, wie sie auch durch Abquetschung des Rückenmarks zustande gekommen sein kann. Auffällig für tiefere Halswirbelverletzungen bei C 6 und 7 ist allerdings der regelmäßige Beginn der Sensibilitätsstörung schon bei C 5. Auch in der zweiten Figur beginnen die Ausfälle noch in C 5, die vollständige Querschnittsbildung setzt aber erst bei D 4 in Höhe der Brustwarzen ein.

Bei der dritten Figur ist die Querschnittsbildung bei D 4 unvollkommen geblieben, erst bei D 10 oder L 1 finden wir vollkommene Ausfälle. Als leichtestes Zeichen sind schließlich Pyramidenbahnzeichen an den unteren Gliedmaßen bei Halsmarkschädigungen festzustellen. Nach Beseitigung von Wirbilverrenkungen der Halswirbelsäule sahen wir zweimal eine rasche Verschiebung zwischen den Grenzen D 4 und D 10.



**Vorwiegende Grenzen der sensiblen Ausfälle an den Armen und Beinen
und ihre Rückbildung.**

(Abb. 6)

Die Figurengruppe in Abb. 6 zeigt die leichteren Teilschädigungen an den Gliedmaßen, von schwereren übergehend zu leichteren, und in gleicher Weise sahen wir auch die Rückbildung der Schädigungen. An den Armen blieben meistens als letztes Gefühlsstörungen in C 8 und D 1, verbunden mit einer Schwäche der kleinen Handmuskeln.

Auffallend an den Beinen sind oft gute Besserungen in den Segmenten L 1 bis L 3. Von L 4, der unteren Kniegrenze ab, kommt es dann zum völligen Ausfall, oder, wie in der mittleren Figur dargestellt, zu teilweisen Ausfällen des Gefühls, häufig strumpfförmig auch angegeben mit völliger Gefühlsaufhebung erst von der Knöchelgabel ab. Seltener sind Ausfälle wie sie in der dritten Figur gezeigt sind, wo nur noch im Bereich der Sakralsegmente stärkere Ausfälle vorhanden sind, leichtere von der Knöchelgabel ab. An den Armen konnten wir bei einer ungebesserten Halswirbelverrenkung auch den umgekehrten Vorgang, nämlich eine von C 8 und D 1 auf den ganzen Arm sich ausbreitende Schädigung feststellen.

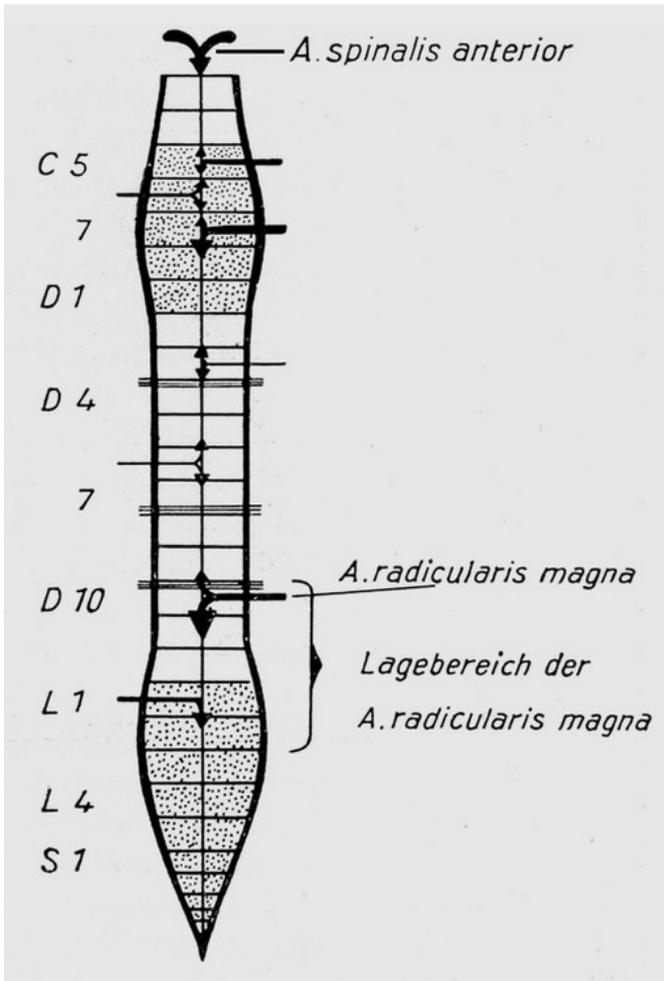
Wenn man die fließenden Übergänge betrachtet, beim Auftreten der Schädigungen und bei der Rückbildung, bei der Umwandlung von schlaffen in spastische Lähmungen und auch umgekehrt bei einem kurzen, anfänglichen Auftreten von Reflexen und spastischen Zeichen mit Umbildung in schlaffe Lähmungen, so gewinnt man den Eindruck, dass es sich hier weniger um verschiedene Vorgänge, als vielmehr um einen einzigen, mehr oder weniger reversibel ablaufenden Vorgang mit einzelnen Stadien handelt.

Diese Auffassung bekräftigen auch Tierexperimente. Zahlreiche Untersucher haben Ischämien durch Abklemmung der Bauchorta erzeugt. Yoss hat auch einzelne Rückenmarksgefäße unterbunden. Die Ausfälle an den unteren Gliedmaßen entsprachen weitgehend unseren Befunden.

Rexed konnte bei 15 minütiger Abklemmung der Bauchorta leichte vorübergehende Lähmungen der unteren Gliedmaßen mit kurzdauernder Spastik im Tierexperiment hervorrufen. Bei 15 - 25 Minuten Ischämie kam es zu schwerer, bleibender Spastik mit teilweiser Entartungsreaktion.

Bei Ischämie von mehr als 25 Minuten Dauer bildeten sich völlig schlaffe Lähmungen mit raschen Atrophien und totaler Entartungsreaktion aus. Wie auch histologisch besonders von Krogh nachgewiesen wurde, kommt es dabei rasch zu einer Schädigung der sehr sauerstoffbedürftigen Ganglienzellen durch Sauerstoffmangel.

Die Ausfälle sind also auf eine ischämische Durchblutungsstörung zurückzuführen, bei der die Sauerstoffmangelerscheinungen an den Ganglienzellen die Hauptursache der Schädigung bilden dürften.



(Abb. 7)

Betrachten wir nun eine Darstellung der Gefäßversorgung des Rückenmarks wie sie von Adamkiewicz und Kadyi zuerst beschrieben wurde, so lassen sich viele der zuvor beschriebenen Auffälligkeiten erklären (Abb. 7). Die Versorgung erfolgt danach weniger von segmentalen Gefäßen, als von einzelnen, stärker ausgebildeten. Besonders versorgt sind die Hals- und Lendenmarkanschwellung mit ihren Kernanhäufungen für die Gliedmaßenmuskeln. Der untere Rückenmarksabschnitt wird dabei im wesentlichen von einer besonders stark ausgebildeten Arterie versorgt, der A. radicularis magna. Sie liegt meist der Wurzel D 10, L 1 oder L 2 an.

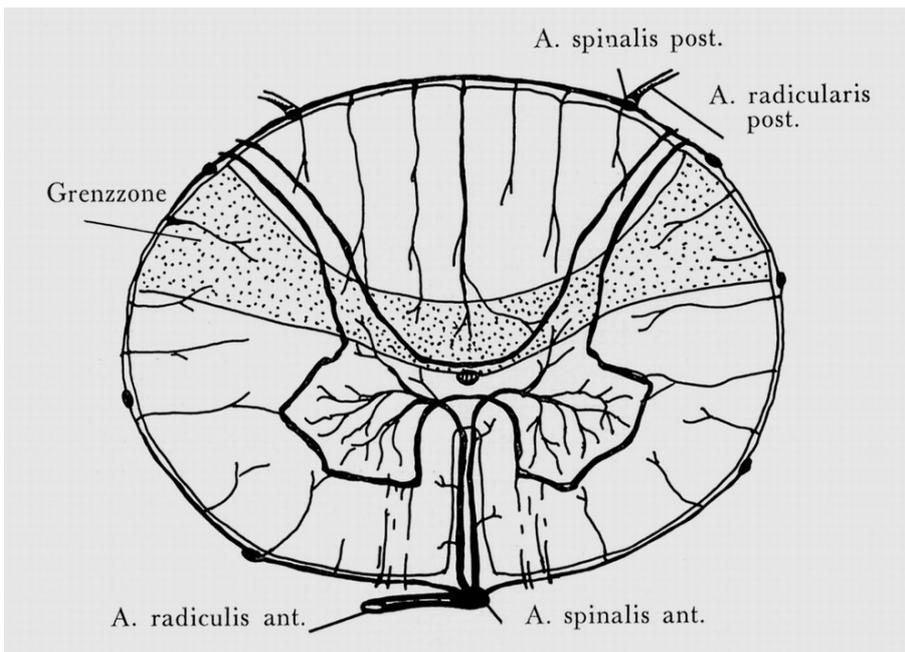
Zwischen den Rückenmarksanschwellungen liegt der größte Teil des Brustmarks, der nur spärlich von eigenen Gefäßen versorgt wird und auf die Zufuhr vom Hals- und Lendengebiet her angewiesen ist.

Kommt es bei Wirbelerletzungen zur Zerreißung von Gefäßen, Abquetschung, Gefäßspasmen und venösen Stauungen, so entsteht in dem betroffenen Gebiet eine Minderdurchblutung bzw. völlige Ischämie. Wie wir bereits sahen, verteilen sich die völligen Ausfälle an den Gliedmaßen genau auf das Gebiet der Hals- und Lendenmarkanschwellung, von C 5 bis D 1 also und von L 1 abwärts. In diesen Gebieten liegen die versorgenden Ganglienzellen der Gliedmaßen dicht gedrängt und erfordern, wie auch aus der Gefäßverteilung ersichtlich, eine reichliche Blutversorgung dieser Abschnitte.

Kommt es hier nun zur Mangeldurchblutung, so werden diese Gebiete sicherlich rascher als andere Ausfälle zeigen. Die distale Betonung der Ausfälle an den Gliedmaßen und die Besserung vom Körper zu den Gliedmaßen hin, erklärt sich unseres Erachtens durch die zusätzliche Blutversorgung, die sowohl im Hals- wie im Lendenmarkabschnitt von oben her möglich ist. Im Halsmarkabschnitt vermag sicherlich die starke A. spinalis anterior von oben her auszuweichen, wodurch die Ausfälle in C 5, 6 und auch C 7 abgeschwächt werden und die stärkeren Ausfälle in C 8 und D 1 im Sinne der "letzten Wiese" von Max Schneider auf eine schlechtere Durchblutung demgegenüber zurückzuführen sind. Vom Brustmark her ist eine zusätzliche Versorgung des Halsmarks bei der spärlichen eigenen Versorgung sicherlich kaum möglich. Im Lenden- und Sakralmarkabschnitt wird eine Durchblutungsstörung besonders leicht eintreten, da hier die Versorgung nur durch ein oder zwei starke Gefäße von oben her erfolgt.

Die Ausfälle an den unteren Gliedmaßen sind daher auch meist viel stärker, schlaff und zeigen weniger Neigung zur Besserung. Ist eine Versorgung von oben her aber doch noch möglich in einem gewissen Grade, so werden auch hier die untersten Abschnitte besonders Mangel leiden und sich schlechter wieder erholen. Daher auch hier die distale Betonung der Ausfälle.

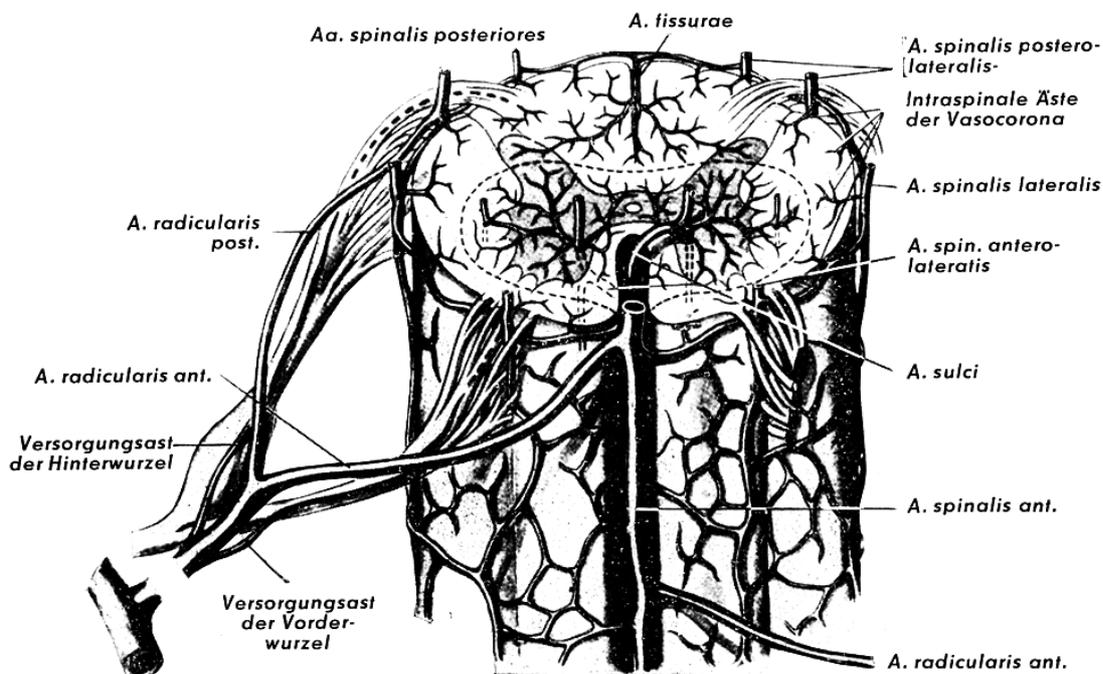
Neben diesen Gebieten zeigt nun noch das mittlere Brustmark eine besondere Empfindlichkeit gegenüber Mangeldurchblutung, da die spärlichen Gefäße hier auf die Unterstützung der Hals- und Lendenmarksgefäße angewiesen sind. Bartsch, Zülch und andere haben bei den verschiedensten Krankheitsbildern schon darauf aufmerksam gemacht, dass hier die ersten Ausfälle entstehen können. D 4, Brustwarzenhöhe, das etwa die Grenzzone zwischen den großen Gefäßen der Hals- und der Lendenmarkanschwellung bildet, ist dabei meist die obere Grenze. Die Querschnittsbildung, die wir bei Halswirbilverrenkungen sahen, erklärt sich also durch die mangelnde Blutversorgung des Brustmarks von den Halsmarkgefäßen her.



(Abb. 8)

Neben den Gefäßen der Rückenmarks-oberfläche müssen wir noch die Gefäße des Rückenmarksinneren betrachten, denn auch hier gibt es eine Grenzzone im Sinne der "letzten Wiese" (Abb. 8).

Mit den Nervenbahnen der Vorder- und Hinterwurzeln treten an verschiedenen Stellen ernährende Gefäße zum Rückenmark. Die Vorderwurzelarterien sind dabei besonders stark wie Sie hier im Bilde sehen. Sie münden in die A. spinalis anterior, von der dann wieder die sog. Zentralarterien oder Aa. sulci ins Innere der grauen Substanz ziehen.



Räumliche Darstellung der Gefäßversorgung des Rückenmarks (entnommen bei BECK, K.: Dt. Z. Nervenheilk., 167 (1952) 164—186, einige Namen wurden geändert. Die hintere Wurzelarterie mündet häufiger in die Aa. spinalis dorsales, nicht wie hier in die Aa. spinalis postero-laterales).

(Abb. 9)

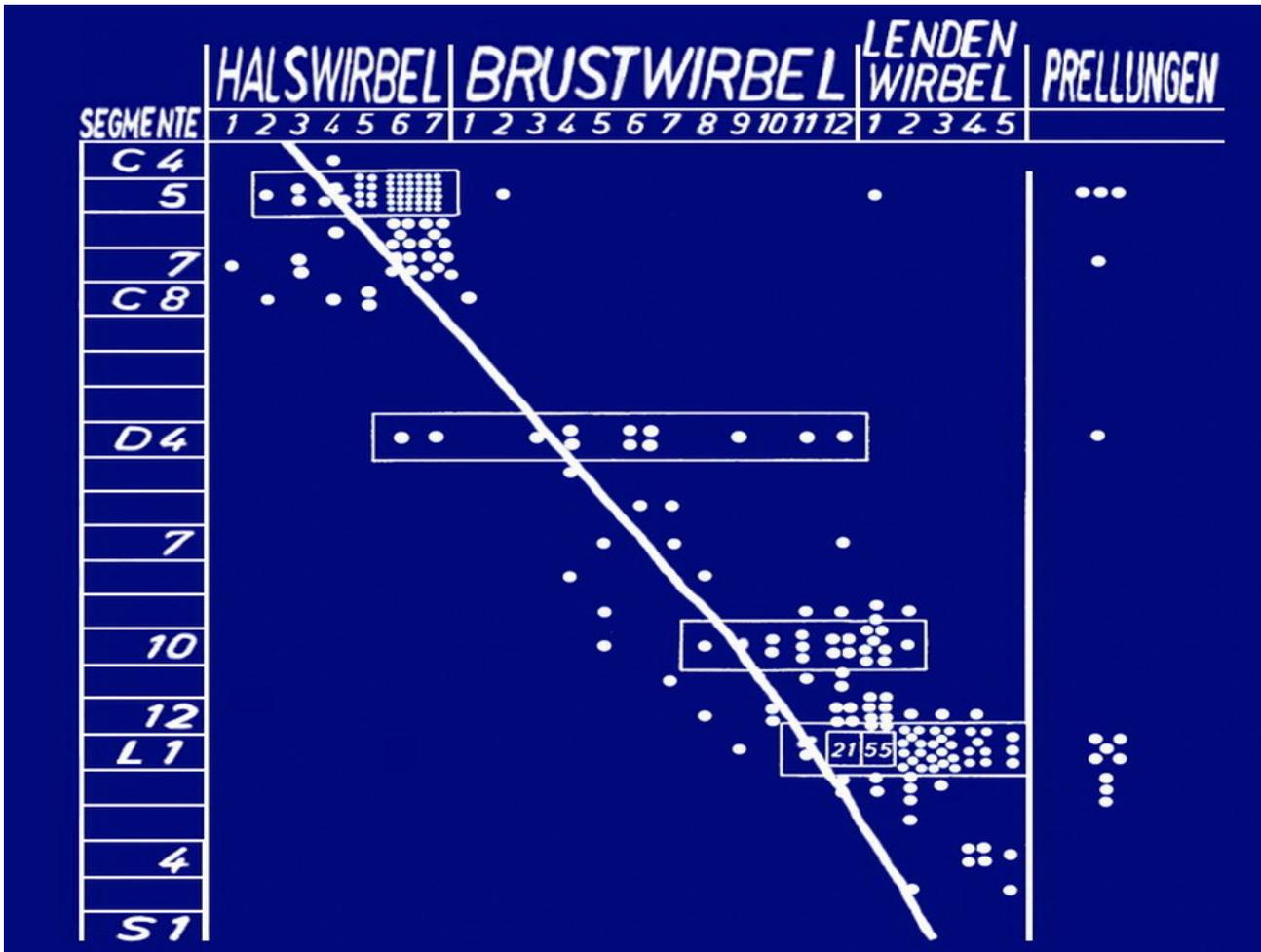
Das sieht man auf dieser Zeichnung (Abb. 9) noch besser. Sie versorgen den größten Teil der grauen und weißen Substanz, insgesamt etwa die vorderen zwei Drittel. Von den hinteren Wurzelarterien wird dem gegenüber wohl nur das hintere Rückenmarksdrittel versorgt.

Wenn die Übergänge zwischen den Versorgungsgebieten - wie hier gezeichnet - von ventral und dorsal auch fließend und individuell verschieden sind, so muss man doch nach pathologischen Befunden etwa die zuvor gezeigte Grenzzone annehmen. Es lassen sich viele Beispiele von Durchblutungsstörungen hier anführen. So wurde ab 1904 immer wieder das Syndrom der A.spinalis anterior beschrieben, bei dem durch Verschlüsse das Gebiet der Zentralarterien in der grauen Substanz geschädigt wurde. Bodechtel u. Guttman haben auch den Begriff der Rückenmarksmalazie (Erweichung) geprägt, bei dem die zentralen Abschnitte vorwiegend ausfallen, aber nach einem zeitlichen Intervall. Zülch wies dann 1954 nach Sektionen auf die Minderdurchblutung an der Grenzzone zweier Gefäßgebiete hin.

Im Schrifttum gibt es auch zahlreiche Berichte, die zeigen, dass neuro-logische Ausfälle auftreten, wenn Beeinträchtigungen der Durchblutung des Rückenmarks vorhanden sind und Herz-Kreislaufverschlechterungen hinzukommen. Bodechtel beschrieb zwei Patienten mit Skoliose, die mehrmals auf diese Weise eine Querschnittslähmung ab D 4 erlitten. Nach Besserung von Herz und Kreislauf kam es jedesmal zur Rückbildung. Becker und Hess beschrieben auch 2 Fälle mit Blockwirbelbildungen im unteren Wirbelsäulenbereich und Kyphoskoliosen, die Lähmungen bei Rechtsherzinsuffizienz entwickelten. Sie besserten sich bei der ersten Behandlung völlig, bei der zweiten nur noch teilweise.

Die ersten systematischen Untersuchungen derartiger Mangeldurchblutungserscheinungen des Rückenmarks an 17 Fällen verdanken wir Bartsch. Bei seinen Patienten bestanden einerseits deutliche osteochondrotische Veränderungen an den Foramina intervertebralia der Halswirbelsäule und zugleich Herz- und Kreislaufverschlechterungen. Die Ausfälle begannen auch in Brustwarzenhöhe. Bemerkenswert war, dass sich die Leistungsminderung von Herz und Kreislauf nicht immer mit den üblichen klinischen Methoden nachweisen ließ, sondern teilweise erst mit einer Belastungsprüfung durch Spiroergometrie.

Zur Behandlung verwendete Bartsch Hydergin, das nicht nur gefäßerweiternd, sondern vor allem lösend auf Gefäßspasmen wirken soll. Dies sind nur einige Beispiele, die die zusätzliche Rolle von Durchblutungsstörungen an der Grenze von Versorgungsbereichen der Blutgefäße zeigen.



(Abb. 10)

Die Antwort auf die Frage, welche Rolle Durchblutungsstörungen bei Querschnittslähmungen spielen, kann nur heißen: sie spielen eine sehr bedeutende Rolle in der ganz überwiegenden Mehrzahl. Sie sehen das hier noch einmal an diesem Bild (Abb. 10), wo die Punkte, die die Höhe der Ausfallgrenze zeigen, auf der schrägen langen Linie liegen müssten. Sie weichen aber fast alle davon ab, in der BWS und LWS noch weiter als in der Halswirbelsäule. Das erklären wir durch das Syndroms der letzten Wiese von Max Schneider, das sich hier bei D 4 und in der Betonung distaler Ausfälle zeigt und auch im Querschnitt des Markes zwischen grauer Substanz und den Hintersträngen.

Ich habe mir die neuere Literatur bis heute zu einem Teil auch durchgesehen. Die Befunde von experimentellen Untersuchungen an Tieren und die pathologischen Ergebnisse von MRI, Kontrastmitteluntersuchungen und Autopsien decken sich mit unseren Beobachtungen, auch im Querschnitt des Rückenmarks und der getrennten Versorgung der grauen Substanz und der Hinterstränge und ihrer Ausfälle. Es werden mechanische Faktoren ursächlich genannt, aber vielfach am Ende Durchblutungsstörungen. Typisch sind auch die neurologischen Ausfälle bei Rupturen und Aneurysmen der Aorta, wenn bei der Operation keine Bypassversorgung durchgeführt wird.

Domisse nannte den Bereich zwischen D 4 und D 9 auch die kritische Gefäßzone des Rückenmarks, da hier die Gefäßversorgung am geringsten ist und der Spinalkanal der engste.

Für die Praxis muss es heißen, dass Ischämien auf dem schnellsten Wege beseitigt werden sollten, wenn wir an die Tierversuche von Rexed denken, wo 20-25 Minuten Drosselung der Aorta zu bleibenden Lähmungen führten. Bürkle de la Camp und Lorenz Böhler haben daher schon früh die sofortige manuelle Einrenkung gefordert. Sie müsste im Idealfall am Unfallort erfolgen.

Hydergin gaben wir zur Ausschaltung von Gefäßreflexen, sofern nicht Kreislaufkollaps bestand. Ferner wurde Venostasin in höheren Dosen mehrfach täglich wie beim Hirnödem gegeben. Auch Kortison wurde empfohlen, ebenso bei Kreislaufkollaps durch Nebennierenversagen bei Brustmarkschädigungen. Die Gabe sollte aber in den ersten 3 Stunden erfolgen und dann für 24 Stunden fortgesetzt werden (Delamarter u. Coyle).

Damit möchte ich schließen. Ich danke Ihnen.