

VI.

Aus dem physiologischen Institut der Universität Rostock
(Prof. Langendorff).

Ueber den Einfluss der Anämie auf die Erregbarkeit der weissen Substanz des Central-nervensystems.

Von

Dr. U. Scheven,

Privatdozent der Psychiatrie in Rostock.



Wenn man beim Kaninchen die 4 Kopfarterien unterbindet, so lassen sich in der Regel nach wenigen Minuten durch faradische Reizung der Hirnrinde keine Zuckungen der Kopf- und Extremitäten-Muskeln mehr auslösen, und zwar bleibt die Reizung erfolglos sowohl bei Anwendung stärkster Ströme als auch bei Versenkung der Elektroden in beliebiger Richtung und in beliebige Tiefe. Diese letztere Beobachtung, welche ich bei meinen Versuchen über die Wiederkehr der elektrischen Hirnerregbarkeit nach temporärer Anämie häufig gemacht habe, legt den Gedanken nahe, dass bei der Anämisirung des nervösen Central-organs nicht nur die graue Substanz sehr schnell durch den elektrischen Strom unerregbar wird, sondern dass auch die Erregbarkeit der weissen Substanz fast ebenso schnell durch die Anämie aufgehoben wird. Da unter normalen Verhältnissen nach Abtragung des motorischen Rindengebietes durch Reizung der freigelegten Marksubstanz noch isolirte Reizerfolge zu erzielen sind, so müsste, wenn durch die Anämie ausschliesslich die graue Rindsubstanz unerregbar gemacht würde, bei Verstärkung des Stromes, in Folge grösserer Verbreitung der Stromschleifen, wie bei Versenkung der Elektroden, noch eine durch die weisse Substanz vermittelte Reizwirkung zu beobachten sein.

Die Annahme, dass die weisse Substanz des Centralnervensystems in ähnlicher Weise wie die graue Substanz durch die Blutleere eine

Lähmung erfährt, hat bisher nur ganz vereinzelte Vertreter gefunden. Nachdem die frühere Deutung des Stenson'schen Versuches, nach welcher die durch die Aortenabklemmung hervorgerufene Lähmung des Hintertieres die peripheren Nerven und Muskeln betrifft, widerlegt und das Rückenmark als der Sitz der Lähmung festgestellt war, war man allgemein der Ansicht, dass durch die Anämie die graue Substanz gelähmt, in ihrer Function ausgeschaltet wird, während die weisse Substanz ebenso wie die peripheren Nerven die Anämie weit besser vertragen und noch nach stundenlanger Blutabsperrung ihre Erregbarkeit behalten. Von S. Mayer¹⁾ wurde dann auch eine durch die Anämie hervorgerufene Lähmung der weissen Substanz des Rückenmarks angenommen, indem er den nach Lösung einer länger dauernden hohen Aortenabklemmung eintretenden niedrigen „encephalo-paralytischen“ Blutdruck auf die durch die Anämie des Brustrückenmarks bedingte Lähmung der in diesem Teile des Rückenmarks verlaufenden vasoconstrictorischen Nervenbahnen zurückführte. Er widerspricht der Annahme, dass zwischen den peripheren Nerven und den weissen Rückenmarkssträngen kein Unterschied in ihrem Verhalten gegenüber der Anämie bestehe, sondern er ist der Meinung, dass in dieser Hinsicht die weisse Substanz des Rückenmarks zwischen grauer Substanz und peripheren Nerven steht, indem sie der Anämie allerdings viel später als die erstere, andererseits viel früher als die letzteren unterliegt. Gegen die Begründung dieser Annahme ist jedoch der Einwand zu erheben, dass wahrscheinlich auch jene vasoconstrictorischen Fasern in dem Grau des genannten Rückenmarksabschnittes eine Unterbrechung durch Ganglienzellen erfahren, und so die Befunde S. Mayer's auch allein durch die Anämisirung der grauen Substanz zu erklären sind.

Bezüglich des Verhaltens der weissen Hirnsubstanz gegenüber der Anämie haben ähnlichen Erwägungen, wie sie meine oben genannten Versuche nahelegten, bereits Minkowski²⁾ und H. E. Hering³⁾ Ausdruck gegeben. Minkowski trug, nachdem nach der Ligatur der 4 Kopfarterien die Gehirnoberfläche für den elektrischen Strom unerregbar geworden war, die excitablen Gebiete der Rinde ab und

1) S. Mayer, Ueber die Erscheinungen im Kreislaufapparate nach zeitweiliger Verschliessung der Aorta. Sitzungsber. der Wiener Akademie, Bd. 79.

2) O. Minkowski, Ueber die Änderungen der elektrischen Erregbarkeit des Gehirns nach Verschluss der Kopfarterien. Inaug.-Dissertation. Königsberg 1881.

3) H. E. Hering, Das Verhalten der langen Bahnen des centralen Nervensystems nach Anämisirung. Centralbl. f. Physiol. 1898, Heft 10.

konnte dann ebenso wenig wie vorher durch die Reizung der freigelegten Marksubstanz eine Muskelzuckung hervorrufen. Nach der Aufhebung des Gefäßverschlusses kehrte die Erregbarkeit der weissen Substanz in ähnlicher Weise wieder zurück, wie die der Rindensubstanz in den Versuchen ohne Rindenabtragung. Wenn bei Hunden das Erlöschen der elektrischen Hirnerregbarkeit bei dem Fehlen von allgemeinen Krämpfen wie von Respirations- und Circulationsstörungen darauf hinwies, dass die Elemente, an welche die Unerregbarkeit des Gehirns gebunden ist, nicht im Bulbus, sondern in höheren Gehirnteilen zu suchen sind, andererseits aber die anatomischen Untersuchungen den Verlauf der motorischen, erregbaren Fasern durch die innere Kapsel in den Hirnschenkelfuss ergeben haben, so bleibt nach Minkowski bezüglich seiner obigen Befunde nur die Möglichkeit übrig, dass in Folge der Anämie auch die in der Marksubstanz gelegenen Leitungsbahnen ihre Erregbarkeit eingebüßt haben. H. E. Hering hat dann bei Kaninchen wie bei Hunden nach Abbindung der Hirnarterien nicht nur eine vollständige Unerregbarkeit der Hirnrinde festgestellt, sondern er konnte auch bei Versenkung der Elektroden wie nach schichtweiser Abtragung der Hemisphären und bei Anwendung der stärksten Induktionsströme durch die Reizung einen Bewegungseffekt nicht mehr erzielen. Da er die Annahme einer Unterbrechung der corticofugalen Pyramidenbahnen durch Ganglienzellen im Gehirn in Rücksicht auf die bekannte Art der secundären Degeneration dieser Bahnen für unzulässig hält, kommt er zu demselben Resultat wie Minkowski, dass durch die Anämierung des Gehirns nicht nur die graue, sondern auch die weisse Substanz unerregbar wird.

Den Einwand, dass der Einfluss der Anämie auf die Erregbarkeit des Gehirns nicht auf die Absperrung des Nährmaterials sondern im Wesentlichen auf physikalische Momente zurückzuführen sei, hat bereits Orschansky¹⁾ widerlegt. Wenn durch die Verminderung des Flüssigkeitsgehaltes des Gehirns die elektrische Leistungsfähigkeit desselben herabgesetzt und dadurch eine Verminderung der Erregbarkeit vortäuscht werden kann, so muss dem entgegengesetzt die Trockenheit des Gehirns durch Verminderung der Diffusion des Stromes eine grössere Concentration des letzteren bedingen. Andererseits wird durch die von Orschansky in seinen Versuchen mit successiver Blutentziehung festgestellte Phase der erhöhten Erregbarkeit, die Ausgleichung der herabgesetzten Erregbarkeit u. A. direkt bewiesen, dass bei der Wirkung der

1) J. Orschansky, Ueber den Einfluss der Anämie auf die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns. Archiv f. Anat. u. Physiol. (Phys. Abth.). 1883.

Blutleere auf die Erregbarkeit des Gehirns die Veränderung der physikalischen Bedingungen keinesfalls das wesentliche Moment darstellen kann.

Ich habe nun die Frage nach dem Verhalten der weissen Substanz bei Anämisirung des Gehirns in einer besonderen Versuchsreihe weiter verfolgt. Auch diese Versuche sind im physiologischen Laboratorium des Herrn Prof. Langendorff ausgeführt, dem ich mich für das Interesse und die Unterstützung, welche er mir auch bei diesen Arbeiten erwiesen hat, zu besonderem Danke verpflichtet fühle.

Der Plan bei meinen Versuchen war wiederum der: einen Theil der corticofugalen Pyramidenbahn der Anämie zu unterwerfen und festzustellen, ob bei Reizung der Nervenfasern des anämisierten Abschnittes noch Erregungen zu den Endstätten der Leitungsbahn fortgeleitet werden und Bewegungseffecte auslösen. Für solche Versuche an Kaninchen musste die Methode der Arterienunterbindung verworfen werden. Einmal wird bei derselben stets auch das spinale motorische Centrum für die vordere Extremität durch Anämisirung des oberen Halsmarkes gelähmt, sodass eine Prüfung des zu diesem Centrum führenden Theils der Pyramidenbahn unmöglich ist. Andererseits kann wegen des Mangels eines bestimmten Rindencentrums für die hintere Extremität beim Kaninchen der zu dem spinalen motorischen Centrum der hinteren Extremität herabsteigende Theil der Pyramidenbahn ebenfalls vom Gehirn aus nicht auf seine Erregbarkeit geprüft werden. Ich habe mich deshalb zu dem genannten Zwecke der Embolisirungsmethode bedient. Und zwar habe ich in der Annahme, dass auch beim Kaninchen eine vollständige Unterbrechung der Pyramidenbahn durch Ganglienzellen schon im Grosshirn nicht wahrscheinlich ist, zunächst versucht, beim Kaninchen das Grosshirn allein zu anämisiren und den Erfolg der Reizung der Marksubstanz mit versenkten Elektroden und stärksten Inductionsströmen zu beobachten. Das Kaninchenhirn eignet sich insfern besonders zu solchen Versuchen, als an demselben in der Regel Grosshirn, Mittel- und Kleinhirn, Brücke und Nachhirn von getrennten Gefässstämmen mit Blut versorgt werden — eine Thatsache, auf welche schon Markwaldt aufmerksam gemacht hat. Ich wählte zu der partiellen Anämisirung des Gehirns die Methode der Paraffininjection in die Carotis, wie sie nach dem Vorschlage von Kronecker, von Markwaldt¹⁾ und später von Asher und Lüscher²⁾ angewandt worden ist.

1) M. Markwaldt, Die Bedeutung des Mittelhirns für die Athmung. Zeitschr. f. Biologie Bd. XXVI.

2) L. Asher und F. Lüscher, Untersuchungen über die Innervation der

Ich stellte eine Mischung von geschmolzenem Paraffin (Schmelzpunkt 45°) und Paraffinum liquidum her, deren Erstarrungspunkt auf 41,2°, deren Schmelzpunkt auf 40,5° bestimmt wurde. Gefärbt wurde diese Mischung mit Alkannin, dessen rote Farbe in alkalisch gemachtem Alkohol, in welchem die Gehirne conservirt wurden, in eine blaue Farbe übergeht. Die Paraffinlösung hat beim Einziehen in die Spritze eine Temperatur von 45°, sodass in Anbetracht der äusserst schnellen Abkühlung besonders auch in der Canüle eine Schädigung des Hirngewebes durch übermässige Hitze der Lösung ausgeschlossen werden konnte. Die Versuche wurden an Kaninchen in der Weise vorgenommen, dass nach der auf jeden Fall ausgeführten Tracheotomie und der Anschlingung einer Carotis communis auf beiden Seiten trepanirt und das Rindencentrum für die vordere Extremität durch Reizung bestimmt wurde. Die Paraffinlösung wurde nun in das periphere Ende der Carotis eingespritzt und dann wieder Reizungen des Gehirns mit dem faradischen Strom vorgenommen. Da bei dieser Injectionsweise ein wesentlich grösseres Quantum Paraffin einzuführen ist, als wenn vorher die Carotis externa unterbunden oder die Injection in die Carotis interna gemacht wird, so konnte von der Anwendung einer "Mikrosyringe", wie sie von den anderen Autoren benutzt wurde, abgesehen und eine metallische Pravazspritze verwandt werden. Es zeigte sich nun zunächst, dass bei Injectionen von 0,5—0,75 ccm der Paraffinlösung die Erscheinungen der Blutleere des ganzen Gehirns eintraten: mehr oder weniger starker, allgemeiner Krampf, Stillstand der Atmung, Erlöschen der Reflexe am Vordertier, Unerregbarkeit des Gehirns durch den Inductionsstrom. Die Section ergab in diesen Fällen vollständige Injection der Arterien der Hirnbasis bis in die Vertebrales hinab. (Denselben Erfolg erzielte übrigens Markwaldt bei der gleichen Injectionsweise ebenfalls mit einem Injectionsquantum von 0,5—0,8 ccm Paraffinlösung.) Nach solchen Injectionen tritt ebenso wie nach der Ligatur der 4 Hirnarterien ein starkes Zurücksinken und ein Abblassen des Gehirns ein, sowie ein Sistiren der respiratorischen und circulatorischen Bewegungen desselben. Wurden die Injectionsmengen verringert bis auf 0,25—0,3 ccm, so gelang es in einzelnen Versuchen, eine Ausschaltung der Grosshirnhemisphären allein durch die Anämie herbeizuführen. Der Krampf blieb dann aus, die Atmung ging nach vorübergehender Störung weiter, die vorderen Extremitäten reagirten lebhaft auf Druckkreuze, zuweilen blieb auch der Cornealreflex, wenigstens auf der der Injection entgegengesetzten Seite, erhalten. Da-

gegen war auch in diesen Fällen die electrische Erregbarkeit des Gehirns bei Versenkung der Electroden und Anwendung stärkster Ströme ebenso schnell erloschen als bei Anämisirung des ganzen Gehirns. Die Section ergab in solchen Fällen eine Injection der Carotis int. mit ihren Verzweigungen, den Artt. cerebri med. und ant., wie durch Vermittelung des vordersten Theils des Circulus Willisii auch der anderseitigen Grosshirnarterien. Die Injection setzte sich höchstens eine ganz geringe Strecke in die hintere Art. communicans fort, während die zum Mittel- und Hinterhirn führenden Arterien ganz leer geblieben waren. In einem dieser Versuche war die Gehirnerregbarkeit nur auf der Seite der Injection erloschen, während durch Reizung der anderen Hemisphäre isolirte, lebhafte Zuckungen der contralateralen vorderen Extremität bei R.A. 10 hervorzurufen waren. Dementsprechend war hier bei der Section festzustellen, dass die Injection der Grosshirnarterien ganz auf die eine Seite beschränkt war.

Diese Versuche an Kaninchen zeigen, dass bei Anämisirung der Grosshirnhemisphären die electrische Reizung derselben, welche sich bei Versenkung der Electroden und Anwendung stärkster Inductionsströme auch auf die weisse Substanz erstrecken muss, keine Bewegung an den Extremitäten hervorruft. Man wird aus diesem Resultat den Schluss ziehen können, dass infolge der durch die Gefässinjection bedingten Absperrung der Blutzufuhr auch die weisse Substanz des Gehirns ihre Erregbarkeit eingebüßt hat. Andernfalls müsste man doch der Annahme zuneigen, dass die Pyramidenbahnen beim Kaninchen schon in den Grosshirnganglien eine vollständige Unterbrechung erfahren, dass infolge der durch die Anämie gesetzten Ausschaltung von subcorticalen motorischen Centren die Fortleitung der Erregung zum Rückenmarksgrau verhindert wird. Es sind ja die subcorticalen motorischen Centren und Bahnen in neuerer Zeit der Gegenstand eingehender Untersuchungen gewesen. Es hat sich dabei gezeigt, dass je weiter man vom Menschen in der Thierreihe hinabsteigt, desto geringer die Ausbildung der corticospinalen Pyramidenbahn ist, während die subcorticalen, die sogen. primären motorischen Centren und Bahnen an Umfang und Bedeutung zunehmen. So haben speciell für das Kaninchen Münzer und Wiener¹⁾ festgestellt, dass die Mehrzahl der in den Pyramidenbahnen nach abwärts ziehenden Fasern noch vor dem Erreichen der Medulla oblongata

1) E. Münzer und H. Wiener, Das Zwischen- und Mittelhirn des Kaninchens und die Beziehungen dieser Theile zum übrigen Nervensystem mit besonderer Berücksichtigung der Pyramidenbahn und der Schleife. Monatschrift f. Psychiatrie und Neurologie Bd. 12.

endigt, und dass selbst nach ausgedehnten Verletzungen des Gehirns nur spärliche degenerirte Fasern absteigend bis ins Halsmark zu verfolgen sind. Dagegen ist beim Kaninchen eine subcorticale, vom roten Kern der Haube entspringende, motorische Bahn — Tractus rubrospinalis (Monakow'sches Bündel, Probst, Rothmann u. A.) — stark entwickelt, welches im Rückenmark zusammen mit ebenfalls zahlreichen endogenen Fasern die Hauptmasse des Pyramidenseitenstrangs ausmacht. Auf Grund dieser anatomischen Thatsachen könnte man bei unseren genannten Versuchen gegen die Annahme der Unerregbarkeit der weissen Substanz den Einwand erheben, dass vielleicht doch durch die Gefässverstopfung subcorticale motorische Centren, in denen auch die grösste Zahl der Pyramidenfasern ihr Ende findet — hier kommt vor allem der Sehhügel und der rothe Kern in Betracht — ausgeschaltet sind, und dadurch ein Bewegungseffekt an den Extremitäten bei Reizung der Marksubstanz verhindert ist.

Es schien deshalb angezeigt, in dem weiteren Verfolg der Frage nach dem Verhalten der weissen Substanz bei Anämie die Versuche an Hunden fortzusetzen, bei denen nach den neueren Untersuchungen die Pyramidenbahnen an Umfang den durch subcorticale Centren unterbrochenen, indirekten motorischen Fasern gleichkommen. Da beim Hunde eine von der motorischen Rinde ununterbrochen bis zum Lumbosacralmark verlaufende Bahn sicher vorhanden ist, konnte in den folgenden Versuchen von einer, hier sehr schwierigen, partiellen Anämisirung des Gehirns abgesehen, vielmehr ein vollständiger, event. auch die Blutzufuhr zum oberen Halsmark beschränkender Verschluss der Hirnarterien angestrebt werden, indem man die Beobachtung auf die zu dem spinalen motorischen Centrum der hinteren Extremität führende Pyramidenbahn beschränkte. Die Versuche an Hunden wurden in der Weise vorgenommen, dass nach der Anschlingung der Carotiden und der Tracheotomie die Trepanation ausgeführt und durch elektrische Reizung das Rindencentrum für die hintere Extremität bestimmt wurde. Das letztere war in allen Versuchen genau den Hitzig'schen Angaben entsprechend localisiert. Es wurde dann, nachdem die Carotis communis, meist auf beiden Seiten, unterbunden war, in den peripheren Theil der Arterie die Paraffinlösung eingespritzt. Es zeigte sich, das bei schneller Einspritzung durch ein Quantum von 1,5 bis 2 ccm der Paraffinlösung die Arterien der Hirnbasis vollständig injicirt wurden. Wie bei der Unterbindung der 4 Hirnarterien tritt beim Hunde — nach vorangegangener Morphin-Chloroformnarkose — bei der Verstopfung der Hirnbasisarterien kein Krampf auf, die Athmung besteht fort, zuweilen nach schnell vorübergehender Störung. Sogleich nach der Injection

wurde das Gehirn im Bereich des als Centrum der hinteren Extremität festgestellten Bezirks mit dem faradischen Strom gereizt. Der Erfolg war in 3 Versuchen der folgende. Unmittelbar nach der Injection konnten durch die Reizung isolirte Zuckungen des contralateralen Hinterbeins ausgelöst werden. Nach 4—6 Minuten war dagegen die Erregbarkeit des Gehirns vollständig erloschen, auch bei Versenkung der Elektroden und Anwendung der stärksten Inductionsströme. Dabei war die Intactheit des spinalen motorischen Centrums für die hintere Extremität durch die Auslösung von Sehnenreflexen wie von Reflexbewegungen an dem betreffenden Hinterbein durch Kneifen der Zehen u. a. festzustellen. Hier war also der proximale Abschnitt der vom Cortex zum spinalen motorischen Centrum der hinteren Extremität führenden Pyramidenbahn durch die Paraffininjection anämisirt worden. Dass nun auch hier die Hirnerregbarkeit schon wenige Minuten nach dem Gefässverschluss vollständig erloschen war, auch bei einer Reizung, welche zweifellos auch die Marksubstanz bezw. die motorischen Leitungsfasern mit betraf, lässt wohl kaum eine andere Erklärung zu, als dass durch die Aufhebung der Blutzufuhr die weisse Substanz des Gehirns in fast derselben Weise ihre Erregbarkeit eingebüßt hat, wie die graue Substanz. Bei der sogleich nach der Injection vorgenommenen Prüfung der Hirnerregbarkeit wurde zunächst die bei der Bestimmung des Rindencentrums benutzte Stromstärke angewandt, dann mit Erlöschen der Erregbarkeit der Rollenabstand schnell vermindert und, sobald auch die stärksten Ströme erfolglos waren, die Versenkung der Elektroden vorgenommen. Es muss bei dieser Art der Prüfung unentschieden bleiben, ob nicht die weisse Substanz der Anämie doch etwas länger widersteht als die graue und noch, wenn auch nur kurze Zeit, durch stärkere Ströme erregbar sein kann, während die Erregbarkeit der grauen Substanz bereits vollständig erloschen ist.

Als Stütze der obigen Annahme können die neueren Untersuchungen über die Erfolge der elektrischen Rindenreizung nach Ausschaltung der motorischen Bahnen durch isolirte Zerstörung dienen, wie sie besonders von Probst¹⁾ und Rothmann²⁾, von letzterem speziell auch an Hunden, ausgeführt sind. Nach diesen Untersuchungen muss bei Katzen und

1) M. Probst, Ueber Rindenreizungen nach Zerstörung der primären und secundären motorischen Bahnen, über die Bedeutung der motorischen Haubenbahnen u. s. w. Monatsschrift f. Psychiatrie u. Neurologie Bd. 11.

2) M. Rothmann, Die Erregbarkeit der Extremitätenregion der Hirnrinde nach Ausschaltung cerebrospinaler Bahnen. Zeitschrift f. klin. Medicin. Band 44.

Hunden als das hauptsächlichste Aequivalent der Pyramidenbahn das Monakow'sche Bündel angesehen werden, welches vom roten Kern der Haube entspringt und durch den Sehhügel mit der Extremitätenregion der Hirnrinde in Beziehung stehen soll (Grosshirnrinde — Thalamus — Nucleus ruber — Rückenmark — Bahn). Nach der Ausschaltung dieser indirekten motorischen Bahn zugleich mit der Pyramidenbahn ist durch Reizung der Hirnrinde kein Bewegungseffect an den Extremitäten mehr hervorzurufen. Die Ausschaltung der indirekten motorischen Bahn allein, speziell des Monakow'schen Bündels, hat keinen Einfluss auf den Erfolg der Rindenreizung. Ebenso wird die letztere durch die Ausschaltung der Pyramidenbahn allein nicht wesentlich eingeschränkt, nur sind dann zur Erzielung des Bewegungseffectes stärkere Ströme erforderlich. Es geschieht demnach die Fortleitung der Erregung auf der Pyramidenbahn leichter, d. h. bei geringerer Stromstärke als auf den anderen motorischen Bahnen. Nach diesen Beobachtungen müsste also in unseren Versuchen, in denen durch den Verschluss der Hirnarterien von der indirekten motorischen Bahn auch die subcorticalen Centren ausgeschaltet sein können, von der Pyramidenbahn aber nur der obere Abschnitt anämisiert ist, durch Reizung der unter der corticalen Extremitätenregion liegenden Marksubstanz noch Bewegungen an der hinteren Extremität zu erzielen sein — wenn nicht mit der weissen Substanz auch die Markfasern der Pyramidenbahn durch die Anämie ebenfalls unerregbar geworden wären.

Wenn wir nun so durch unsere experimentellen Ergebnisse zu der Annahme gedrängt werden, dass durch die Anämisirung auch die weisse Substanz des Centralnervensystems schnell ihre Erregbarkeit einbüsst, so stehen einer solchen Annahme doch gewichtige physiologische Bedenken entgegen. Wie man sich an jedem Injektionspräparat aus dem Centralnervensystem überzeugen kann, steht das Gefässnetz der Marksubstanz an Dichtigkeit und Feinheit weit zurück hinter dem der grauen Substanz. Entsprechend dieser reicheren Blutversorgung muss in der letzteren auch der Stoffwechsel ein viel intensiverer, und damit müsste auch die Abhängigkeit derselben von der Blutzufuhr eine viel grösse sein, als bei der weissen Substanz. Ist es doch bekannt, dass die alkalische Reaction der Rindensubstanz nach dem Tode, wie bei Erstickung des Tieres durch Abklemmung der Gehirnarterien oder durch Verblutung schon in wenigen Minuten in eine saure Reaction übergeht (Langendorff). Man müsste demnach doch annehmen, dass die weisse Substanz eine geringere Empfindlichkeit gegen die Absperrung der arteriellen Blutzufuhr besitze, dass sie eine solche länger ohne völlige Aufhebung

ihrer Function ertragen könne, als die graue Substanz. Derartige Erwägungen sind auch den konstanten Ergebnissen unserer Versuche gegenüber nicht ohne Weiteres zurückzudrängen, wenn auch zur Zeit über die Stoffwechselverhältnisse der einzelnen Teile des Centralnervensystems zu wenig bekannt ist, um bestimmtere Einwände gegen unsere Annahme erheben zu können. In dieser Hinsicht dürfte aber die letztere noch nicht als eine völlig gesicherte anzusehen sein.

Ein Bedenken gegen die Richtigkeit unserer Annahme könnte auch auf Grund der pathologisch-anatomischen Befunde bei länger dauernder Anämisierung des Centralnervensystems geltend gemacht werden. Von einer Reihe von Autoren, wie Ehrlich und Brieger¹⁾, Singer²⁾, Münzer und Wiener³⁾, Rothmann⁴⁾ u. A. ist festgestellt worden, dass bei länger fortgesetzter Anämisierung des Lendenmarks durch Abklemmung der Aorta ausschliesslich die graue Substanz sehr schnell eintretende Veränderungen zeigt, während die weisse Substanz des Rückenmarks relativ intakt bleibt, und die in ihr auftretenden Degenerationen als secundäre, d. h. in ihrem Umfang und ihrer Längsausdehnung im Rückenmark von der Ausdehnung der Nekrose in der grauen Substanz abhängig sich erweisen. Diese Befunde scheinen unserer Annahme zu widersprechen. Denn, wenn die weisse Substanz des Centralnervensystems fast ebenso schnell wie die graue durch die Blutabsperrung eine funktionelle Veränderung erleidet, so müssten doch auch in der weissen Substanz nach länger dauernder Anämisierung pathologisch-anatomische, degenerative Veränderungen primärer Art nachweisbar sein.

Eine andere Frage ist es, ob ähnliche Erwägungen zu der Ansicht führen können, dass die weisse Substanz des Centralnervensystems bezüglich der Blutversorgung, der Intensität des Stoffwechsels, der Abhängigkeit von der Blutzufuhr mit den peripheren Nerven auf dieselbe Stufe zu stellen ist. Mir scheint nach den histologischen Bildern aller-

1) Ehrlich und Brieger, Ueber die Ausschaltung des Lendenmarkgrau. Zeitschrift f. klin. Medicin. Bd. VII. 1884.

2) Singer, Ueber die Veränderungen am Rückenmark nach zeitweiser Verschliessung der Bauchaorta. Sitzungsber. d. Wiener Akademie. Bd. XCVI. Abth. III. 1887.

3) Münzer und Wiener, Ueber die Ausschaltung des Lendenmarkgrau. Archiv f. experiment. Pathol. und Pharmakol. Bd. XXXV.

4) Rothmann, Die sacrolumbale „Kleinhirnseitenstrangbahn“. Ausschaltung der grauen Substanz des Lumbosacralmarks durch Anämie beim Hunde. Neurol. Centralbl. 1900. No. 1 und 2.

dings nicht injicirter Präparate, dass die Blutversorgung der centralen Marksubstanz doch nicht unerheblich reicher ist, als die der peripheren Nerven. Danach wäre doch eine Differenz zwischen centralen und peripheren Nervenfasern hinsichtlich ihrer Abängigkeit von der Blutzufuhr wohl erklärlich. Und wenn man wirklich der weissen Substanz bezüglich ihrer Ernährungs- und Stoffwechselverhältnisse die gleichen Eigenchaften zuschreiben dürfte, wie den peripheren Nerven, wie sollte man dann erst die Befunde in unseren Versuchen erklären?

Dass die peripheren Nerven die Aufhebung der Blutzufuhr viel länger ertragen können, ohne ihre Erregbarkeit zu verlieren, als die centrale graue Substanz, ist ja bekannt. Ich habe mich von dieser Widerstandsfähigkeit der peripheren Nerven überzeugt, indem ich nach dem von Stefani und Cavazzani¹⁾ eingeschlagenen Verfahren die Anämisirung von Extremitätennerven vorgenommen habe. Die genannten Autoren haben an Kaninchen nach Ligatur der Art. axillaris unterhalb der freigelegten, vom Perineurium möglichst entblössten Nn. medianus und cubitalis eine Umschnürung der ganzen vorderen Extremität ausgeführt. Sie konnten dann noch lange nach dem Erlöschen der directen Muskelerregbarkeit, bis zu 10 Stunden nach Aufhebung der Blutzufuhr, durch faradische Reizung der Nervenstämmen Schmerzreaktionen des Thieres wie Veränderungen des Blutdrucks beobachten. Ich habe nach in ähnlicher Weise vorgenommener Anämisirung der Nerven ebenfalls stundenlang nach dem Beginn derselben durch elektrische Reizung der auch am Unterarm isolirten Nn. medianus und ulnaris lebhafte Bewegungen des ganzen Thieres hervorrufen können. Es zeigte sich übrigens bei einigen Vorversuchen, auch mit nachfolgender Injection von indischwefelsaurem Natron in die V. jugularis, dass auch beim Kaninchen durch Verschluss des Truncus brachio-cephalicus bzw. anonymus keine Anämie der rechten vorderen Extremität zu erzielen ist, sondern zu diesem Zwecke stets auch totale Umschnürungen oder mehrere Massenligaturen, ev. auch mit Durchsägung des Humerus, erforderlich sind. Bei der geschilderten Methode war die Anämisirung des Nerven jedenfalls eine annähernd totale; es könnten ja höchstens im Nervenstamme verlaufende Gefäße in Betracht kommen, welche auch dem Collateralkreislauf zugänglich wären.

Wenn wir nun eine so bedeutende Widerstandsfähigkeit gegen die Anämisirung, wie sie die peripheren Nerven zeigen, auch für die weisse

1) A. Stefani e E. Cavazzani, Quale azioni spieghi l'anemia sulle fibre nervose. Memoria letta all' academia medico chirurgica di Ferrara. 1888.

Substanz des Centralorgans in Anspruch nehmen wollten, so sprechen doch die in unseren Versuchen konstant sich ergebenden Befunde entschieden dagegen, welche bei einer solchen Annahme jeder Erklärung spotten würden.

Meine obigen Ausführungen lassen sich dahin zusammenfassen, dass auf Grund der vorliegenden Versuchsergebnisse die Annahme berechtigt erscheint, dass bei der Anämisirung des Centralnervensystems die weisse Substanz in ähnlicher Weise wie die graue ihre Erregbarkeit durch den Inductionsstrom einbüsst, wenn auch bei den dieser Annahme gegenüberstehenden Bedenken das letzte Wort in dieser Frage noch nicht gesprochen sein dürfte.
