

Das Hebephänomen beim Frosch und seine Erklärung durch den Ausfall der reflectorischen antagonistischen Muskelspannung.

Von

Dr. **H. Ewald Hering.**

Gewidmet meinem hochverehrten Lehrer Professor Philipp Knoll.

Die Aufgabe, welche ich mir vor Jahresfrist stellte, die Ataxie bei der Tabes zu erklären, glaube ich jetzt im Principe gelöst zu haben. Der Standpunkt, den ich auch bei Bearbeitung dieser Frage einnahm, war der, dass ich die Bewegungen der Individuen und ihre Störungen physiologisch zu erklären suchte und nicht psychologisch, ein Standpunkt, den ich schon in meiner ersten in diesem Archive publicirten Arbeit betont habe und der mich davor geschützt hat, die Bewegungen der Thiere auf Empfindungen, Vorstellungen etc. zurückzuführen, d. h. auf etwas, was sich an Thieren experimentell nicht zeigen lässt. Die Lösung der mir gestellten Aufgabe hielt ich nur unter Benützung der experimentellen Methode der Forschung für möglich.

Der Weg, die Versuche an relativ einfacher organisirten Thieren (Fröschen) zu beginnen und sie an höher stehenden Individuen (Hunden) fortzusetzen, also der vergleichend physiologische Weg, hat sich auch hier in vieler Beziehung als vortheilhaft erwiesen. Während der noch zu beschreibende Mechanismus sich hier wie dort als principiell gleich feststellen liess, waren gewisse Einzelheiten besser bei der einen, andere besser bei der andern Thierart zu untersuchen, aber im Allgemeinen war die Analyse des Mechanismus beim Frosch, als der kleineren und sozusagen übersichtlicheren Thierart, leichter, wozu natürlich auch die zur Verwendung stehende viel grössere Zahl dieser Thiere beiträgt.

Hätte ich die Versuche nicht an Fröschen begonnen und wäre ich nicht immer wieder zu ihnen zurückgekehrt, so wäre ich in der experimentellen Analyse der centripetalen Ataxie noch nicht weiter,

als in meiner Mittheilung „Ueber Bewegungsstörungen nach centripetaler Lähmung“¹⁾, in der ich eine Erscheinung ausführlicher beschrieb, welche ich als Hebephänomen bezeichnet, im Jahre 1893 zuerst gesehen und im Februar 1896 im Prager Ärzteverein demonstriert habe.

Heute bin ich in der Lage, einen Mechanismus beschreiben zu können, welcher nicht nur das Hebephänomen beim Frosch erklärt, sondern im Principe sowohl beim Hunde als auch beim Menschen vorkommt, und dessen Ausfall bei Frosch, Hund und Mensch Ataxie zur Folge hat, welche sich natürlich entsprechend der Verschiedenheit der Locomotion dieser Individuen bei ihnen auch verschieden ausprägt, aber der gleichen Ursache ihren Ursprung verdankt.

In einer vorläufigen Mittheilung „Ueber centripetale Ataxie“²⁾ habe ich auch über Versuche an Hunden berichtet, und ich hatte bei der weiteren Fortsetzung dieser Experimente, deren Resultate ich später ausführlich mittheilen werde, Gelegenheit im Prager Ärzteverein, sowie in der Biologischen Gesellschaft in Leipzig (18. Decemb. 1896), die Ataxie und auch noch andere Störungen an einem grossen Hunde zu demonstrieren, dem ich 12 hintere Wurzeln, je 6 für ein Hinterbein, durchschnitten hatte und der drei Monate nach der Operation bis zu seiner absichtlich erfolgten Tödtung am Leben blieb.³⁾

Nachdem ich mich überzeugt hatte, dass auch beim Hund nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln Ataxie auftritt, kehrte ich wieder zu dem einfacheren Object, dem Frosch, zurück, um jene Schleuderbewegung, das ataktische Hebephänomen, weiter zu analysiren. Meine Studien über die Art und Weise, wie die Antagonisten sich bei einer durch die Agonisten erzeugten Bewegung verhalten, haben mich bei der Erkenntniss der normalen wie der pathologischen Bewegung der Extremitäten wesentlich unterstützt.

Schon zu der Zeit, als ich die Versuche über Bewegungsstörungen nach centripetaler Lähmung anstellte, machte ich die Be-

1) Archiv für experimentelle Pathologie u. Pharmakologie Bd. XXXVIII S. 266.

2) Prager Med. Wochenschrift 1896, Nr. 41.

3) Ich besitze jetzt einen Hund, dem ich vor 7 Monaten auf einer Seite 6 hintere Lendenwurzeln durchschnitten habe und den ich leben lasse, um zu sehen, ob der Patellarreflex dieser Seite wiederkehrt, und ob sich anatomisch wie physiologisch eine Regeneration der hinteren Wurzeln nachweisen lässt.

obachtung, dass man nach Durchschneidung der Achillessehne des Frosches einen Theil des Hebephänomens zum Vorschein bringen kann. Zum Studium dieses Theilphänomens kehrte ich nun zurück und habe hiebei ein zweites Theilphänomen gefunden, welches sich als der wesentlichere Theil des Hebephänomens erwies. Der Zusammenhang dieser Theilphänomene mit dem Hebephänomen giebt nicht nur die Erklärung für letzteres, sondern auch die Grundlage für den Nachweis eines einfachen Mechanismus bei der Locomotion, der schon — besonders von Tschirjew — vermuthet worden ist, hinsichtlich dessen aber bis jetzt nur gezeigt worden war, dass der Muskel nach Lähmung der centripetalen Nerven länger wird. Ich kann nun an dem sich bewegenden Thiere selbst die Folgen des Ausfalles, beziehungsweise der Herabsetzung der Muskelspannung für die Bewegung demonstrieren und zeigen, dass die reflectorische Muskelspannung eine sehr wesentliche Bedingung für die normale Locomotion ist.

Erstes Theilphänomen.

1. Durchschneidet man bei einem normalen Frosche (*Rana temporaria*) den N. peroneus, so zeigt derselbe gleich nach der Operation Folgendes: Nach dem Sprung beim Anziehen der Hinterbeine in die Sitzstellung oder auch bei Bewegungen in der Sitzstellung selbst wird der Oberschenkel sammt dem Unterschenkel in die Höhe gehoben, bezw. geschleudert, worauf beide wieder niederfallen. Der Unterschenkel ist dabei stärker gegen den Oberschenkel gebeugt, als normaler Weise. Den N. peroneus findet man nach einem kleinen Hautschnitt an der Dorsalseite des proximalen Theiles des Unterschenkels sehr leicht zwischen dem M. gastrocnemius und M. peroneus.

2. Durchschneidet man statt des N. peroneus nur die Sehnen der von ihm versorgten Muskeln: M. peroneus, M. tibialis anticus longus und M. extensor cruris brevis, so tritt ebenfalls das Theilphänomen auf.

Wir werden später noch sehen, wie und in welchem Ausmaasse die vom N. peroneus innervirten Muskeln an diesem Phänomen theiligt sind.

3. Durchschneidet man die hinteren Wurzeln der Hinterbeine, so tritt gleichfalls dieses Phänomen auf; hier erscheint es als ein Theil des von mir beschriebenen Hebe-
phänomens, welches in der Hebung, bezw. in dem Hinaufschleudern des ganzen in den Gelenken stark gebeugten Hinterbeines besteht. Die bei dem Hebephänomen mit erfolgende Beugung und Hebung des Fusses ist nach Durchschneidung des N. peroneus wegen der Lähmung der hiebei wirksamen Muskeln nicht möglich und nach Durchtrennung der Sehnen der genannten Muskeln, da der Tibialis anticus longus ein Fussbeuger ist, abgeschwächt.

Das Fussheben soll als zweites Theilphänomen gesondert besprochen werden.

Zweites Theilphänomen.

1. Durchschneidet man den N. tibialis, so wird der Fuss nach dem Sprung oder bei der Innervation zur Sprungbereitschaft stärker als normal gehoben. Wie beim Hebephänomen liegen die Zehen oft auf der Dorsalseite des Vorderbeines, was hie und da auch beim normalen Frosch, wenngleich in geringerem Grade, zu sehen ist. Der Fuss bezw. die Zehen werden in der Sitzstellung auch etwas höher gehalten, und der Aussenrand des Fusses steht, wie nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln, stärker vom Boden ab.

2. Wie beim ersten Theilphänomen lässt sich auch das zweite hervorrufen, wenn man statt des Nerven nur die Sehnen der von ihm versorgten Muskeln durchtrennt, das sind hier im Wesentlichen der M. gastrocnemius und der M. tibialis posticus. Verstärkt wird das Heben der Zehen, wenn man auch die Aponeurosis plantaris in der Gegend des Tarsometatarsalgelenkes die Sehne des M. plantaris profundus, sowie die des M. flexor digitorum brevis superficialis durchschneidet, welche Muskeln plantarbeugend auf die Zehen wirken.

3. Nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln der Hinterbeine tritt das zweite Theilphänomen auch auf; in diesem Falle ist es, wie gesagt, verbunden mit dem ersten Theilphänomen.

Combination des ersten und zweiten Theilphänomens und die Beziehungen der einzelnen Theilphänomene zu dem Hebephänomen.

Durch eine entsprechende Combinirung der Theilphänomene ist es auch möglich, das Hebephänomen ziemlich gut zu imitiren. Es ist klar, dass dies nicht dadurch zu erreichen ist, dass die beiden Nerven (N. tibialis u. peroneus) gleichzeitig durchschnitten werden, da hiebei immer die Dorsalflexion des Fusses aufgehoben wird; combinirt man diese Nervendurchschneidungen, so bleibt, um es zu erwähnen, nur das erste Theilphänomen bestehen.

Die Imitation gelingt aber folgendermaassen:

1. Man combinirt die Methode der Nervendurchschneidung mit der der Sehnendurchschneidung. Durchtrennt man den N. tibialis und die Sehnen des M. peroneus, M. tibialis anticus longus und M. extensor cruris brevis, so sind auf diese Weise beide Theilphänomene mit einander verbunden und es ist die Dorsalflexion des Fusses möglich, da dieselbe vom M. tibialis anticus brevis im Vereine mit dem M. tarsalis anticus ausgeführt wird. Die Entspannung der Antagonisten in Folge der Durchschneidung des N. tibialis erleichtert nicht nur die Dorsalflexion sehr, so dass der Ausfall des fussbeugenden M. tibialis anticus longus nicht merkbar wird, sondern unterstützt auch das I. Theilphänomen, auf welchen Umstand ich noch zu sprechen komme.

2. Statt des N. tibialis kann man bei dem vorigen Experiment auch die Sehnen der von ihm innervirten und eben angeführten Muskeln durchschneiden, so dass durch blossе Sehnendurchschneidung das Hebephänomen nachahmbar ist.

Combinirt man die Theilphänomene mit dem Hebephänomen, so ergibt sich Folgendes:

1. Durchtrennt man nach der Wurzeldurchschneidung auch den N. peroneus, so bleibt natürlich nur das I. Theilphänomen bestehen.

2. Combinirt man jedoch die Wurzeldurchschneidung mit der des N. tibialis, so bemerkt man an dem Hebephänomen keine andere Änderung, als dass es nur ein wenig verstärkt erscheint.

Wir sahen also, gleichviel ob der gemischte Nerv, die Sehnen der Muskeln oder die hinteren Wurzeln, d. h. die

centripetalen Nerven, durchschnitten werden: immer treten die beschriebenen Theilphänomene ein, die beide zusammen im Wesentlichen das Hebephänomen bilden, daher man letzteres auch ziemlich gut, wie oben beschrieben, durch Combination der ersteren erzeugen kann.

Das Resultat, welches allen drei Methoden gemeinsam ist, ist die Herabsetzung der Muskelspannung, welche total ist nach Durchtrennung der Sehnen und sehr bedeutend ist nach Durchschneidung des gemischten Nerven wie der hinteren Wurzeln. Einen Unterschied in der Muskelschlaffheit zu finden zwischen der nach Durchschneidung der gemischten Nerven eines Hinterbeines und jener nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln, war ich nicht im Stande. Auch haben jene Versuche, die von der Verlängerung des Muskels nach Aufhebung des Reflextonus handeln, auf welche ich noch ausführlich zu sprechen komme, ergeben, dass im Allgemeinen die Verlängerung rascher erfolgt nach Lähmung der centrifugalen als nach der der centripetalen Nerven, nicht aber dass sie im ersten Falle wesentlich grösser wäre als im zweiten. Damit soll nicht jeder Grössenunterschied in der Herabsetzung der Muskelspannung zwischen der nach centrifugaler und der nach centripetaler Lähmung geleugnet werden, wie ja auf einen geringgradigen Unterschied auch jenes Experiment hinweist, in welchem nach Combination der Wurzelschneidung mit der des N. tibialis das Hebephänomen ein wenig verstärkt erscheint, sondern es soll nur hervorgehoben werden, dass der Unterschied jedenfalls ein geringer ist.

In meiner ersten Mittheilung über das Hebephänomen kam ich zu dem Schluss, dass es bedingt ist durch den Ausfall einer centripetalen Hemmung, indem ich mir die Hemmung in der Art vorstellte, dass reflectorisch die jener starken Beugung und Hebung entgegenwirkenden Muskeln innervirt werden. Die hier mitgetheilten Versuche lassen in der That wohl keine andere Erklärung zu, als dass das Hebephänomen bedingt ist durch den Ausfall der reflectorischen Muskelspannung. Das Nähere hierüber folgt in den nächsten Capiteln.¹⁾

1) In einer Mittheilung „On efferent fibres in the posterior Roots of the frog“ (Foster's Journ. of Physiol. vol. XXI, 1897) wiederholte R. J. Horton-Smith die Versuche von Steinach und Wiener „über die motorische Innervation des Darmtractus durch die hinteren Spinalnervenzwurzeln“. Bei seinen Experimenten fand Horton-Smith hie und da ‚efferent fibres‘ in den hinteren

Experimente über den Bewegungsmodus der Hinterbeine.

Das Folgende handelt von der Thatsache, dass beim Frosch auch in der ruhigen Sitzstellung eine Anzahl Muskeln des Hinterbeins, mehrgelenkige wie auch eingelenkige, und zwar von letzteren jene, die über die Streckseite der Gelenke gehen, sich in einer gewissen Spannung befinden; ferner von dem Zustandekommen dieser Spannung bei Einnahme der Sitzstellung, sowie von der Bedeutung der Spannung für den Bewegungsablauf. Eine Anzahl Experimente bezieht sich auf die Art und Weise der Betheiligung gewisser Muskeln der Hinterbeine an der Einnahme der Sitzstellung.

Wird das Hinterbein nach dem Absprung in die Sitzstellung gebracht oder befindet es sich schon in derselben, so ist es im Hüft-, Knie- und Fussgelenk gebeugt. Hierbei werden die über die Streckseite dieser Gelenke ziehenden Muskeln gespannt, die über die Beugseite ziehenden Muskeln entspannt. Handelt es sich um zweigelenkige Muskeln, wie den *M. tibialis anticus longus* (*M. t. a. l.*) oder *M. gastrocnemius* (*M. g.*), so werden dieselben dadurch, dass sie über eine Streckseite ziehen, gespannt, dadurch, dass sie auch über eine

Wurzeln der Frösche für einige Skelettmuskeln. Seine Zusammenstellung lautet:

In all 125 9th posterior roots were examined:

efferent fibres were found in 10 cases = 8 p. c.									
" "	128	8th	"	"	"	"	"	16	" = 12.5 p. c.
" "	38	7th	"	"	"	"	"	1	" = 2.5 p. c.
" "	11	6th	"	"	"	"	"	0	" = 0 p. c.

Ich habe (wie wahrscheinlich schon viele Andere) vor der Publication meiner Mittheilung „Ueber Bewegungsstörungen nach centripetaler Lähmung“ die peripheren Stümpfe der hinteren Wurzeln, welche die Hinterbeine des Frosches versorgen, gereizt, um zu sehen, ob sie einen Einfluss haben auf die Skelettmuskeln. Immer mit negativem Resultat. Auch noch in anderer Hinsicht habe ich die Reizung vorgenommen, worüber ich auf S. 281 obiger Mittheilung berichtet habe.

Ich habe nun neuerdings die 7., 8., 9. und 10. hintere Wurzel nacheinander und auf beiden Seiten bei *R. temporaria* wie bei *R. esculenta* elektrisch gereizt, immer mit negativem Erfolg. Ich reizte faradisch bis zu Rollenabstand 0; die vorderen Wurzeln reagirten schon bei einem Rollenabstand von 60 ctm.

Es muss demnach der Befund von Horton-Smith in der That sehr selten sein. Solche seltene Anomalien des Faserverlaufes sind schon bekannt. So habe ich ein „Anomales Vorkommen von Herzhemmungsfasern im rechten N. depressor eines Kaninchens“ in diesem Arch. Bd. LVII, 1894 beschrieben, also auch centrifugal wirkende Fasern in einem centripetalen Nerven, was ich „als wahrscheinlich seltene Anomalie“ betrachtet habe.

Beugseite ziehen, entspannt; die resultirende Spannung ist um so grösser, je stärker die Beugung jenes Gelenkes ist, über deren Streckseite der Muskel zieht, und je schwächer die Beugung des anderen Gelenkes ist. Entspannt ist der M. t. a. l., wenn das Fussgelenk gebeugt und das Kniegelenk gestreckt ist, während hingegen der M. g. entspannt ist, wenn das Fussgelenk gestreckt und das Kniegelenk gebeugt ist. Die Entspannung geht unter diesen Umständen so weit, dass der Gastrocnemius sich geradezu faltet, wenn man den Ursprung und Ansatz des Muskels auf die angegebene Weise einander nähert. Es hat daher die vielfach verbreitete Anschauung, dass bei allen Muskeln des Körpers die Entfernung der Ansatzpunkte stets grösser ist, als die natürliche Länge des ausgeschnittenen Muskels, für diese Muskeln des Frosches keine Gültigkeit, wenn die Anschauung überhaupt gilt. Nach Durchschneidung der Sehne des Gastrocnemius oder des M. t. a. l. in der geschilderten entspannenden Stellung der Gelenke weichen die Schnittenden beim entnervten Frosch nicht zurück und nur, wenn man, wie in der Sitzstellung, das Fuss- und Kniegelenk beugt, gehen die Schnittenden der entsprechenden Muskeln weit auseinander.

Wird nun das Knie- und Fussgelenk, wie in der Sitzstellung, gebeugt, so werden dadurch beide Muskeln gespannt, der M. t. a. l., weil er über die Streckseite des Kniegelenkes, der M. g., weil er über die Streckseite des Fussgelenkes geht.

Von den nach Durchschneidung des N. peroneus gelähmten Muskeln entspringen der M. peroneus, M. tibialis anticus longus und M. extensor cruris brevis am Oberschenkel, daher sie, wie das für den M. t. a. l. auch aus meiner letzten Mittheilung¹⁾ hervorging, den Unterschenkel gegen den Oberschenkel und umgekehrt zu strecken vermögen.

Auch Gaupp macht in der soeben erschienenen ersten Abtheilung der von ihm in neuer, sehr verbesserter Auflage herausgegebenen „Anatomie des Frosches“ diesbezüglich auf pag. 190 eine Bemerkung: „Der Umstand, dass der Extensor cruris brevis, Tibialis anticus longus und Peroneus mit schlanken Sehnen über das Kniegelenk hinauf an den Oberschenkel greifen, spricht dafür, dass diesen Muskeln eine besondere Bedeutung beim Sprunge zukommt, indem sie den Oberschenkel gegen den Unterschenkel strecken.“

1) Ueber die Wirkung zweigelenkiger Muskeln auf drei Gelenke und über die pseudoantagonistische Synergie. Pflüger's Archiv Bd. LXV, S. 627.

Jene genannten Muskeln werden dadurch, dass das Kniegelenk in der Sitzstellung gebeugt ist, in eine gewisse Spannung versetzt. Herbeigeführt wird die Beugung im Kniegelenk durch eine Anzahl zweigelenkiger Muskeln, welche vom Becken über das Hüftgelenk zum Unterschenkel gehen.

Bezüglich der Unterschenkelbeugung durch diese Muskeln hat Gad¹⁾ sich folgendermaassen geäussert: „Um letztere Bewegung zu vermitteln, brauchen diese Muskeln gar nicht einmal contrahirt zu werden, denn ihre natürliche Länge ist schon im ruhenden Zustande so klein, dass am todten Thier die durch Zug am Ileopsoas bewirkte Beugung der Hüfte sich ohne Weiteres mit der Beugung des Knies vergesellschaftet.“ Auch meint Gad: „Beim gewöhnlichen Anziehen der Beine in die sprungbereite Haltung wird der Frosch also — ausser gewissen Zehenmuskeln, von denen wir hier absehen wollen — wenigstens den M. ileopsoas und die Mm. tibialis ant. und peroneus innerviren müssen; die Innervation dieser Muskeln genügt aber auch.“ — Um zu verstehen, wie die Spannung jener über die Streckseite des Kniegelenkes ziehenden Muskeln herbeigeführt und wodurch sie unterstützt wird, sei zunächst Folgendes über den Gelenksmechanismus, sowie über die Bewegungen und Stellungen der Knochen zu einander erwähnt.

Man kann sich leicht davon überzeugen (am besten, wenn alle Muskeln des Hinterbeins entfernt werden, so dass nur die Knochen und der Bandapparat der Gelenke erhalten sind), dass der Oberschenkel, um aus der Strecklage in die wirkliche Sitzstellung zu gelangen, ausser der Beugung und Hebung auch eine Rotation nach aussen machen muss; hierdurch kommt das distale Oberschenkelende über das proximale Unterschenkelende zu liegen, während der Unterschenkel ohne jene Aussenrotation des Oberschenkels nur neben letzteren zu liegen kommen würde, also statt mehr vertical übereinander mehr horizontal nebeneinander. Rotirt man in der Sitzstellung des Hinterbeins den Oberschenkel nach aussen, so kommt der Unterschenkel so viel als möglich unter den Oberschenkel zu liegen; führt man jedoch mit dem Oberschenkel eine Rotation nach innen aus, so wird der Unterschenkel und der Fuss vom Boden abgehoben.

1) Einiges über Centren und Leitungsbahnen im Rückenmark des Frosches Verh. der physik.-med. Ges. zu Würzburg N. F. Bd. XVIII Nr. 8, 1884.

Dreht man andererseits in der Sitzstellung des Hinterbeins den Unterschenkel so, dass seine Dorsalseite nach aussen kommt, dann rotirt der Oberschenkel nach aussen, bewegt sich abwärts und kann nicht mehr nach hinten gestreckt werden; denn wenn man zu der Rotation einen Zug am Unterschenkel nach rückwärts im Sinne der Streckung hinzufügt, so gelingt es, den Oberschenkel höchstens bis 90° nach rückwärts zu bringen, und das nur unter Anwendung grosser Gewalt; je stärker man den Unterschenkel nach aussen rotirt, um so weniger lässt sich der Oberschenkel strecken. Dies gilt natürlich nur von dem horizontal sitzenden Frosch; denn wenn man die Unterlage wegnimmt, ist die Streckung unter Abwärtsbewegung des Oberschenkels möglich.

Rotirt man den Unterschenkel in der Sitzstellung so, dass seine Dorsalseite nach innen kommt, so dreht sich der Oberschenkel nach innen und wird, was besonders zur Geltung kommt, in die Höhe gehoben.

Liegt das Knochenpräparat ausgestreckt auf einer gut befeuchteten Glasplatte und streckt man die Hinterbeine durch Zug nach hinten, so bemerkt man nach dem Loslassen, dass die Hinterbeine immer in eine leichte Beugstellung zurückkehren und dass man einen Widerstand zu überwinden hat, wenn man die Beine ganz zu strecken sucht. Bringt man das Präparat aus der horizontalen in die verticale Lage, so nimmt die Beugung in den Gelenken unter dem Einfluss der Schwere ein wenig ab, ohne jedoch zu verschwinden. Die Beugung erstreckt sich auf Hüft-, Knie- und Fussgelenk.

Ich erwähne dies, weil daraus hervorgeht, dass schon durch den Bau der Knochenverbindungen der Beugung ein Vorzug gegeben ist, so dass letztere hierdurch bei dem Uebergang aus der Streckung jedenfalls unterstützt wird. Auch für die Beurtheilung der Grösse der Beugungswinkel beim Brondgeest'schen Phänomen kommt die Kenntniss dieser Thatsache in Betracht.

In Bezug auf den Mechanismus des Kniegelenkes äussert sich Gaupp auf pag. 90 der Anatomie des Frosches:

„Federnde Kräfte spielen im Mechanismus des Gelenkes eine besondere Rolle. So kann die Streckbewegung zwar ausgeführt werden, doch aber nur gegen die elastischen Widerstände der Ligg. cruciata, besonders des dicken Polsters zwischen den medialen Condylen, und somit nur als „Durchgangsbewegung“ beim Sprunge und beim Schwimmen, die alsbald nach Nachlass der

Muskelcontraction zum Theil von selbst wieder in die Beugung übergeht. Die Muskeln an der Vorderfläche des Crus, die bemerkenswerthar Weise ihre Sehnen proximal haben, gewinnen dadurch, dass sie das Kniegelenk überspringen und hier auf der Rolle des Crus mit sehr geringer Reibung gleiten, einen bedeutenden Einfluss auf die Streckung des Oberschenkels im Kniegelenke, der für den Peroneus und Tibialis anticus longus noch erhöht wird im Augenblick der Plantarflexion des Fusses durch den Plantaris longus. Indem aber die Contraction des Plantaris longus (*M. gastrocnemius*) auch zugleich den tiefen Sehnenbogen an der Hinterfläche des Kniegelenkes anspannt, wird die Streckung des Gelenkes nicht nur straffer, exacter, sondern auch von hinten her ein elastischer Apparat in Wirksamkeit gesetzt, der das Bein nach der Streckung wieder in die Beugung zurückziehen hilft. Die gewöhnlich zu gleicher Zeit und zu gleichem Zwecke erfolgende Verwendung des Knie- und Tarsocrural-Gelenkes prägt sich somit schon in der Anordnung der Muskeln aus, die beide Gelenke in Abhängigkeit von einander setzen, während das Uebergreifen der vorderen Unterschenkelmuskeln auf das Femur auf die Bedeutung hinweist, die der kraftvollen Streckung des Kniegelenkes bei der Fortbewegung des Thieres zukommt.“

Die Einnahme der wirklichen Sitzstellung nach dem Sprung erfolgt also in der Form, dass das Hinterbein einen Bogen, dessen Grösse mit der Grösse des Sprunges zunimmt, nach aussen beschreibend im Hüft-, Knie- und Fussgelenk gebeugt, der Oberschenkel gehoben und dann nach aussen rotirt wird, so dass die Knieenden von Ober- und Unterschenkel unter einander zu liegen kommen; drückt man in der Sitzstellung auf das distale Unterschenkelende von oben, so wird der Oberschenkel gehoben.

Folgender Versuch, wie auch ein später erwähntes Experiment am lebenden Frosch, ergaben, dass die Fussbeugung bei der Einnahme der Sitzstellung bis zu einem gewissen Grade durch passive Muskelspannung herbeigeführt wird.

Bringt man das herabhängende Hinterbein einer vertical gehaltenen, eben getödteten entnervten *Temporaria* durch Heben des Oberschenkels bis zum Anliegen an den Leib und durch Anziehen des Unterschenkels an den Oberschenkel in die Beugestellung, so tritt auch gleichzeitig eine Beugung im Fussgelenk ein; diese Beugung wird noch stärker, so dass der Fuss fast einen Beugungswinkel von 90° mit dem Unterschenkel bildet, wenn man, um die richtige Sitzstellung zu bekommen, dem Oberschenkel die oben erwähnte Aussenrotation erteilt. Dabei darf man nicht übersehen, worauf eben in dieser Mittheilung besonders aufmerksam gemacht werden soll, dass die mit der Einnahme der Sitzstellung verbundene rein passive Spannung einer Anzahl von Muskeln noch verstärkt

wird durch den reflectorisch vermittelten Spannungszuwachs, durch welchen auch die eben besprochene passive Fussbeugung noch eine Verstärkung erfahren wird; denn der dabei sehr wesentlich theiligte Muskel ist der über die Streckseite des Kniegelenkes ziehende und bei Einnahme der Sitzstellung gespannt werdende T. a. l.; durchschneidet man seine Sehne, so wird die passive Fussbeugung wesentlich geringer.

Um den Fuss jedoch wirklich nach dem Sprung in die Sitzstellung zu bringen, bedarf es noch der Innervation mindestens eines Fussbeugers; denn, wenn der Fuss auch nach Durchschneidung des N. peroneus hie und da in die Beugstellung kommt, besser gesagt fliegt, so ist das doch selten der Fall^a und weist höchstens darauf hin, dass die Fussbeugung durch Hilfskräfte erleichtert und daher keiner grossen activen Muskelthätigkeit bedürfen wird.

Abgesehen nun davon, ob der M. t. a. l. bei der Kniebeugung gespannt wird, hat es mich auch interessirt zu untersuchen, ob er bei der Einnahme der Sitzstellung innervirt wird, oder ob hierbei andere fussbeugende Muskeln die Fussbeugung bewirken, und zwar aus dem Grunde, weil ich bei dieser Gelegenheit gleichzeitig, so weit es diese Versuche ergeben, folgendes Problem streifen kann: Wenn eine Bewegung von mehreren Muskeln ausgeführt werden kann, nehmen dann bei einer einfachen, ohne Anstrengung ausgeführten Bewegung alle jene Muskeln Theil oder nicht? Diese Frage ist, wie man sehen wird, durch Experimente an Thieren sehr schwierig zu lösen.

Die Fussbeugung kann im Wesentlichen durch folgende drei Muskeln ausgeführt werden: einen zweigelenkigen, den M. t. a. l., und zwei eingelenkige, den M. tibialis anticus brevis und den ziemlich starken M. tarsalis anticus, welche beide nach Gaupp den Fuss auch supiniren. Da nach Gaupp der M. peroneus den Fuss nur pronirt, so könnte die combinirte Thätigkeit dieses Muskels mit einem oder beiden supinirenden Beugemuskeln eine einfache Dorsalflexion bewirken, welche der M. t. a. l., da er eine laterale Sehne zur Pronation und eine mediale Sehne zur Supination besitzt, allein ausführen kann. Nach Gaupp ist „in Folge der Insertion des Muskels nahe am Hypomochlion die Dorsalflexion des Fusses schon bei ganz geringer Contraction eine bedeutende“.

Gegen die Annahme, dass alle drei genannten Fussbeuger an der Fussbeugung bei Einnahme der Sitzstellung theiligt sind, liesse sich sagen, dass es einfacher und sparsamer erscheint, wenn nicht

alle drei Muskeln an dieser nicht viel Kraft erfordernden Bewegung Antheil nehmen. Da der *M. t. a. l.* in Folge seiner Befestigungsweise die Beugung sehr leicht bewerkstelligen kann, so würde man geneigt sein zu glauben, dass dieser Muskel allein die Fussbeugung besorgt. Doch scheint dagegen, nach demselben Sparsamkeitsprincip, Folgendes zu sprechen. Der *M. t. a. l.* wird dadurch, dass er am Oberschenkel entspringt, bei der Kniebeugung gespannt und erschwert so die Kniebeugung etwas; wird er bei der Einnahme der Sitzstellung innervirt, so wirkt er fussbeugend und kniestreckend; da die Kniestreckung durch andere Muskeln verhindert wird, so wird zwar nur seine fussbeugende Wirkung sichtbar, aber doch ein Zug im Sinne der Streckung auf das Kniegelenk ausgeübt. Es erscheint nun sparsamer, wenn er nicht innervirt wird, da die Kniebeugung hierdurch anscheinend noch mehr erschwert wird, als es schon ohne directe Innervation der Fall ist.

Wie dem auch sei, die Versuche ergaben folgendes Resultat. Durchschneidet man die Sehne des *M. t. a. l.*, so kann der Fuss trotzdem in die Sitzstellung gebracht werden, aber der Fuss wird meistens im Crurotarsalgelenk weniger stark gebeugt; minder auffällig wird dies, wenn man statt der Sehne nur die Nerven des Muskels durchschneidet, aber geschwächt scheint die Fussbeugung doch zu sein, wenn dies auch nicht nach jedem Sprung deutlich zu sehen ist. Ebenso erscheint bei vielen Sprüngen die Fussbeugung unvollständig, wenn man nur die Sehnen der anderen Fussbeuger, *M. t. a. brevis* und *M. tarsalis anticus*, durchtrennt.

Nach dieser Methode lässt sich das Problem nicht lösen, denn aus der verschieden stark in Erscheinung tretenden Schwächung kann man nicht mit Sicherheit auf die normale Innervation dieser Muskeln bei der Einnahme der Sitzstellung schliessen, da mit der Grösse der Sprünge die Grösse der Bewegung und die Stärke und Ausbreitung der Innervation sich ändert.

Ich hoffte jedoch, bezüglich der Innervation des *M. t. a. l.* auf folgende Weise einen Aufschluss zu bekommen. Da derselbe nicht nur Fussbeuger sondern auch Kniestrecker ist, so müsste er, dachte ich mir, wenn er bei Einnahme der Sitzstellung innervirt wird, seine kniestreckende Wirkung zeigen, sobald man alle Kniebeuger functionsunfähig gemacht hat¹⁾.

1) In meiner Mittheilung „Ueber die Wirkung zweigelenkiger Muskeln auf drei Gelenke u. s. w.“ habe ich die Wirkung der faradischen Reizung des *M.*

Ich habe nun eine Anzahl Experimente gemacht, die, ausser über die Function des M. t. a. l. bei der Einnahme der Sitzstellung, auch gleichzeitig über die Function anderer Muskeln einen Aufschluss geben.

1. Durchschneidet man die Sehnen bezw. die Ansätze aller den Unterschenkel beugenden Muskeln (auch die zwei am Oberschenkel entspringenden Sehnen des Gastrocnemius oder den N. tibialis) eines Hinterbeins und lässt den Frosch nun springen, so sieht man, dass das Hinterbein bei der Einnahme der Sitzstellung in folgende Lage kommt: der Oberschenkel wird stärker gebeugt, vom Boden abgehoben sammt dem Unterschenkel, welcher vom Oberschenkel absteht, während der Fuss mit der Planta nach aussen gekehrt dicht am Unterschenkel liegt.

Bei kleineren Sprüngen steht der Unterschenkel gewöhnlich soweit vom Oberschenkel ab, dass er der Längsachse des Frosches ungefähr parallel liegt (Parallelstellung); nach grösseren Sprüngen geht er häufig über diese Parallelstellung hinaus bis zum rechtwinkligen Abstehen. Ein weiteres Abstehen ist selten, kommt aber

gastrocnemius und des M. tibialis anticus longus beschrieben, ohne auf die Abhängigkeit der resultirenden Gelenksstellungen von schwacher Reizung (ich reizte maximal), von der passiven Spannung anderer Muskeln (die ich entfernt hatte), oder von der Ausgangsstellung der Gelenke einzugehen. Auf letzteren Punkt, den Einfluss der Ausgangsstellung, hat Otto Fischer in einer Mittheilung „Ueber die Wirkung der Schwere und beliebiger Muskeln auf das zweigliedrige System“ (Bd. XXIII Nr. 6 der Abhandlungen der Königl. Sächs. Ges. d. Wiss. math.-phys. Klasse) hingewiesen. Um nur diesen Punkt hier zu berühren, theile ich noch folgendes experimentelle Ergebniss ganz kurz mit, welches sich auf die Ausgangsstellung bei gebeugtem Hüft-, Knie- und Fussgelenk (ähnlich wie in der Sitzstellung) bezieht, während in meiner ersten Mittheilung die gestreckte Lage jener Gelenke die Ausgangsstellung bildete. Also bei schon gebeugten Gelenken ergibt die faradische Reizung des M. gastrocnemius: Streckung im Fussgelenk, geringere Beugung im Knie- und Hüftgelenk als zuvor; das ganze Bein macht bei der Zuckung eine kleine Rückwärtsbewegung im Sinne der Streckung; dauert aber der Reiz an, so wird das Kniegelenk und das Hüftgelenk wieder etwas mehr gebeugt, so dass das Resultat schliesslich dasselbe ist, wie nach der Reizung in der Ausgangsstellung bei gestreckten Gelenken.

Das Resultat der Reizung des M. tibialis anticus longus in der Ausgangsstellung bei gebeugten Gelenken war im Princip nicht verschieden von jenem in der Ausgangsstellung bei gestreckten Gelenken. Das Fussgelenk war gebeugt, der Unterschenkel gegen den Oberschenkel und der Oberschenkel im Hüftgelenk gestreckt; reizte man weiter, so wurde die Gelenksstellung nur in demselben Sinne verstärkt.

vor, sodass der Unterschenkel fast ganz gestreckt ist gegen den Oberschenkel und das Bein dann so gestreckt schief nach vorn liegt.

Die nachfolgende Stellung des Beines hängt augenscheinlich auch von der Ausgangsstellung mit ab, denn das Abstehen erschien im Allgemeinen nach dem Sprung geringer, wenn der Frosch vor dem Absprung besser sass, während der schon vorher stärker abstehende Unterschenkel nach dem Sprung gewöhnlich noch mehr abstand.

2. Durchschneidet man ausserdem noch den N. peroneus, so wird der Oberschenkel noch stärker gebeugt und gehoben bzw. hinauf geschleudert, das Abstehen des Unterschenkels geht in der Regel nicht über die Parallelstellung hinaus, während der Fuss beiläufig im rechten Winkel gegen den Unterschenkel gebeugt ist, was also rein passiv erfolgt. Aber auch jetzt kommt es noch vor, dass der Unterschenkel weiter absteht, als wie eben geschildert, und hie und da liegt er auch fast ganz gestreckt gegen den Oberschenkel. Dies ist nur dann der Fall, wenn der Oberschenkel bei einer kräftigen Action den Unterschenkel nach vorn schleudert. Aber leider werden eben dadurch, dass der Oberschenkel so stark gebeugt und gehoben wird und der Unterschenkel mit nach vorn fliegt, diese Versuche unrein.

Dass dieses Nachvornschleudern von den Muskeln mit abhängt, deren Sehnen vom Unterschenkel über die Streckseite des Kniegelenkes ziehen, beweisen folgende Experimente.

3. Hat man die Sehnen der Unterschenkelbeuger, den N. tibialis und nur die über das Kniegelenk ziehende Sehne des M. t. a. l. durchschnitten, so tritt Folgendes nach dem Sprunge ein: der Oberschenkel wird gebeugt und gehoben, der Unterschenkel jetzt aber gegen die Rückenseite des Frosches zugeschleudert und steht dann ein wenig vom Oberschenkel ab; das Crurotarsalgelenk ist meist weniger gebeugt als das Tarsometatarsalgelenk.

4. Durchschneidet man nun auch noch den N. peroneus, so wird der Oberschenkel stark nach aufwärts geschleudert und der Unterschenkel fliegt jetzt fast jedes Mal ganz auf den Rücken des Frosches, wenn die Sprünge nicht zu klein sind.

Aus den Versuchen geht in Bezug auf die Innervation des M. t. a. l. bei der Einnahme der Sitzstellung nichts ganz Einwandfreies hervor; sie sprechen anscheinend für eine Innervation; aber man bedenke Folgendes. Da nach Durchschneidung des N. peroneus

(2. Versuch) der Unterschenkel vom Oberschenkel absteht, indem die passive Spannung der Muskeln (wie Versuch 3 zeigt besonders des M. t. a. l.) dazu und zu der beschriebenen Winkelstellung des Fusses hinreicht, so ist es möglich, dass bei intaktem N. peroneus auch die jetzt nicht eliminirte und die rein passive Muskelspannung verstärkende reflectorische Muskelspannung hinreicht, um das bei intaktem N. peroneus meist etwas stärkere Absteigen des Unterschenkels zu bewirken.

Ich habe daher auch bei Fröschen, denen ich die hinteren Wurzeln für ein Hinterbein durchschnitten hatte, später an diesem Hinterbein die Sehnen der Unterschenkelbeuger und den N. tibialis durchschnitten. Aber auch dieses Experiment bringt keine Entscheidung in dieser Frage, nicht nur wegen der Abhängigkeit von der Grösse des Sprunges und der nachfolgenden Stellung von der vorausgegangenen, sondern auch wegen des Nachvornschleuderns des Unterschenkels durch den hinauf und nach vorn geschleuderten Oberschenkel. Die Winkel des Unterschenkels gegen den Oberschenkel sind wechselnd; gewöhnlich ist die oben definirte Parallelstellung, aber es kommt, wenn auch selten, fast vollständige Streckung nach vorn vor.

So ist denn das Ergebniss in Bezug auf die Frage der Innervation des M. t. a. l. bei Einnahme der Sitzstellung kein reines. Durch seine passive und reflectorische Spannung hat er jedoch jedenfalls einen starken Einfluss auf die Kniestreckung und Fussbeugung. —

Bevor ich dazu übergehe, den Zusammenhang der Erscheinungen darzustellen, sei noch Folgendes erwähnt.

Nach Durchschneidung der Sehnen des M. t. a. l. ist das I. Theilphänomen zu bemerken; dasselbe ist aber deutlich schwächer ausgeprägt, als wenn auch noch die Sehnen der übrigen vom N. peroneus versorgten Muskeln durchschnitten sind. — Dafür, dass das I. Theilphänomen (Heraufschleudern des Oberschenkels) durch eine stärkere Innervation der den Oberschenkel hebenden Muskeln bewirkt würde, ist gar kein Anhaltspunkt vorhanden; da dieses Heben bezw. Heraufschleudern auch erfolgt, wenn die centripetalen Nerven der hebenden Muskeln erhalten sind, so lässt sich das Heraufschleudern beim Hebephänomen nicht derart erklären, dass man sagt, nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln erfolge eine stärkere Contraction der hebenden Muskeln als vor der Durchschneidung der Wurzeln.

Dieser Umstand weist darauf hin, dass, wenn nur die Agonisten der centripetalen Nerven beraubt wären, eine durch sie ausgeführte Bewegung nicht den Charakter der Schleuderbewegung haben würde.

Uebrigens geht aus Versuchen, auf die ich schon in meiner ersten Mittheilung hingewiesen habe, hervor, dass der Effect der Innervation der Agonisten nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln in Bezug auf die Sprungweite abnimmt. Während der Ablauf der alternirenden Beugung und Streckung der Hinterbeine im Principe auch nach der centripetalen Lähmung erfolgt, zeigen doch beide Phasen der Bewegung Abweichungen von der Norm.

Am normalen Frosche werden bei der Beugung die Strecker und bei der Streckung die Beuger gedehnt; mit der zunehmenden Dehnung nimmt die Spannung der gedehnten Muskeln durch den reflectorischen Spannungszuwachs zu, und so tritt einerseits eine Regulirung gegen ein Uebermaass der Bewegung ein, andererseits werden dadurch die, die nachfolgende Bewegung ausführenden Muskeln vorher stärker gespannt, so dass der Bewegungseffect hierdurch ein grösserer wird. Dieser reflectorische Spannungszuwachs fällt nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln aus, und so sieht man einerseits die Frösche Bewegungen ausführen, die über das normale Maass hinausgehen, das Hebephänomen, andererseits Bewegungen mit geringerem Effect zu Stande bringen, sie machen kleinere Sprünge.

Diese Sprünge sind übrigens mit denen solcher Frösche vergleichbar, denen nur der N. tibialis durchschnitten worden ist, und welche die Streckung der Hinterbeine in Folge der Lähmung der Fussstrecker weniger kräftig ausführen. Noch in einer anderen Beziehung verhalten sich Frösche, denen man einseitig entweder die hinteren Wurzeln oder den N. tibialis durchschnitten hat, ganz ähnlich. Normale Frösche bringen, wie schon erwähnt, die Hinterbeine nach dem Absprung in der Weise wieder zur Sitzstellung, dass das Hinterbein, einen Bogen nach aussen beschreibend, angezogen wird. Dieser Auswärtsbogen wird nun sowohl von dem Bein, dessen hintere Wurzeln durchschnitten sind, als auch von dem, dessen N. tibialis durchtrennt wurde, in deutlich schwächerem Maasse ausgeführt, als von dem entsprechenden normalen Hinterbeine. Das hängt bei beiden Fröschen mit davon ab, dass sie das Hinterbein der operirten Seite nicht soweit strecken, als das normale. So sieht man denn, wenn nur die Sprünge nicht zu klein sind, das normale Hinterbein nicht nur den grösseren Bogen machen, sondern auch

deutlich später in die Sitzstellung gelangen, als das Bein der operirten Seite, und der Frosch sitzt nach dem Sprunge schief zur ursprünglichen Absprungsstellung. Auf Grund der hier mitgetheilten Experimente lässt der Zusammenhang der Erscheinungen sich folgendermaassen darstellen.

Der normale Frosch nimmt auf den leichtesten Reiz hin die sprungbereite Haltung ein. Dieselbe wird, wie auch jedes Zurechtssetzen in der Sitzstellung, immer begonnen mit einem leichten Heben der gebeugten Hinterbeine, was man am Oberschenkel und besonders deutlich an den langen Zehen sehen kann. Sind die hinteren Wurzeln durchschnitten, so tritt diese Erscheinung in übertriebenem Maasse auf (je frischer der Frosch, um so stärker), so dass das gebeugte Hinterbein stark gehoben wird. Das Hochheben der Hinterbeine erfolgt auf den leichtesten Reiz hin, nicht nur in der Sitzstellung selbst, sondern auch im Anschluss an den Sprung, wenn die Hinterbeine in die Sitzstellung übergehen, wobei sie oft hoch gegen den Rücken des Frosches geschleudert werden. Zwingt man den Frosch zum Kriechen, so kann man das Hebephänomen noch besser im Einzelnen verfolgen, als wenn der Frosch, wie beim Sprung, eine grössere Ortsveränderung vornimmt.

Wie das Hebephänomen treten auch die einzelnen Theilphänomene auf den leichtesten Reiz hin ein, welche folgendermaassen ihre Erklärung finden.

Wenn beim Uebergang in die Sitzstellung der Unterschenkel gegen den Oberschenkel mittelst der kniebeugenden Muskeln (unterstützt von den Gelenkbändern) gebeugt wird, werden die über die Streckseite des Kniegelenkes ziehenden Muskeln des Unterschenkels (die denselben gegen den Oberschenkel strecken und umgekehrt) gespannt. Diese Spannung wird dadurch, dass das distale Ende des Unterschenkels unter das proximale Oberschenkelende zu liegen kommt, verstärkt. Wird nun die Spannung jener über die Streckseite des Kniegelenkes ziehenden Muskeln aufgehoben oder vermindert (Durchschneidung der Sehnen, des N. peroneus oder der hinteren Wurzeln; nach Durchschneidung der Wurzeln fehlt ausserdem die reflectorische Spannung derjenigen Muskeln, welche von der Hüfte, sei es zum Oberschenkel, sei es zum Unterschenkel, ziehend der übermässigen Beugung und Hebung des Oberschenkels normaler Weise auch entgegenwirken), so wird nach dem Sprung oder auch in der Sitzstellung der Oberschenkel in Folge des Aus-

fallendes oder der Minderung der normalen Spannung unter stärkerer Beugung gehoben bzw. hinaufgeschleudert, um so höher, je stärker die Spannungsabnahme jener Muskeln ist und je frischer der Frosch seine Bewegungen ausführt.

Werden die Fussbeuger, wie nach der Durchschneidung des *N. peroneus*, gelähmt, so kann der Fuss nicht in die Sitzstellung gebracht und der *Gastrocnemius* nicht gespannt werden; daher wird auch seine kniebeugende Wirkung ausfallen.

Bei dem zweiten Theilphänomen handelt es sich um die Spannungsaufhebung bzw. -Abnahme jener Muskeln, deren Sehnen über die Streckseite des *Crurotarsalgelenkes* (die Sehne des *M. tibialis posticus* tritt durch das obere Sprunggelenk hindurch) gehen, und jener, die an der Plantarfläche des *Tarsometatarsalgelenkes* gelegen sind, und welche im Sinne der Plantarflexion auf Fuss und Zehen wirken. Antagonisten jener Muskeln heben den Fuss und die Zehen. Wird die Spannung jener im Sinne der Plantarflexion wirkenden Muskeln auf die mehrfach angegebene Weise aufgehoben oder herabgesetzt, so werden bei der Action der Dorsalflexoren der Fuss und die Zehen stärker gebeugt bzw. gehoben als in der Norm, was sich besonders bei der in der Sitzstellung erfolgenden Hebung gut beobachten lässt und was sehr oft dazu führt, dass der Fuss auf die Dorsalseite des Vorderbeines zu liegen kommt, wie ich dies auch in meiner ersten Mittheilung abgebildet habe.

Durch Combination der Theilphänomene lässt sich das Hebephänomen imitiren und es lassen sich durch Aufhebung oder Herabsetzung der Spannung von Antagonisten auch noch andere Schleuderbewegungen demonstrieren.

Genügen schon die angeführten Thatsachen für die Erklärung des Hebephänomens als einer Bewegungserscheinung bedingt durch den Ausfall der reflectorischen Muskelspannung, so sollen doch im folgenden Capitel, unter Anführung der früheren Erfahrungen, unsere Kenntniss der reflectorischen Muskelspannung und die Bedeutung der letzteren noch besonders besprochen werden.

Die reflectorische Muskelspannung.

Brondgeest wies 1860 auf das Vorhandensein eines reflectorischen Muskeltonus hin; sein Versuch erstreckt sich nur auf die tonische Erregung der Beugemuskeln der Hinterbeine des Frosches. Ueber das

bekannte Brondgeest'sche Phänomen wurde einige Zeit hindurch viel publicirt. Heute sind wohl alle Experimentatoren, die sich mit diesem Phänomen beschäftigt haben, darüber einig, dass die Beugstellung des herabhängenden Hinterbeines abhängt von einer reflectorischen Erregung der Beugemuskeln. Zur Bestätigung dieser Auffassung haben besonders die Arbeiten von E. Cyon (1865—1873), B. v. Anrep (1880) und Mommsen (1885) beigetragen¹⁾.

Bevor ich zur Besprechung der genannten Arbeiten übergehe, möchte ich noch folgende Beobachtung erwähnen: das normale Hinterbein eines Frosches, dem man in tiefer Aethernarkose die hinteren Wurzeln des anderen Hinterbeines durchschnitten hat, und der, auf einer gut befeuchteten Glasplatte liegend, sich aus der Narkose wieder allmähig erholt, geht sehr bald in eine leichte Beugstellung über, welche, wenn das Bein passiv gestreckt worden ist, unter Umständen schon zu einer Zeit bemerkbar ist, in welcher der Cornealreflex noch fehlt. Je mehr sich der Frosch erholt, desto stärker wird die Beugstellung, und diese Extremität kann schon ganz gebeugt sein, während das Hinterbein der operirten Seite noch schlaff daliegt.

Auch bei nicht narkotisirten Fröschen wird das Hinterbein der operirten Seite am spätesten bewegt, wie ich dies schon in meiner ersten Mittheilung auf S. 270 erwähnt habe. Diese Beobachtung hebe ich aus dem Grunde nochmals hervor, weil bei den Versuchen über den Einfluss der hinteren Wurzeln auf die Erregbarkeit der vorderen dieser Umstand eine Rolle spielen wird. Wahrscheinlich werden in der Zeit, während welcher diese Extremität noch nicht bewegt wird, die Versuchsergebnisse andere sein als zu jener Zeit, in der die Innervation dieser Muskeln wieder erfolgt.

Anm. Es würde sich wohl lohnen, diese Erscheinung, welche möglicher Weise eine vorübergehende Reflexlähmung ist, hervorgerufen durch den Durchschneidungsreiz, näher zu studiren. Wie letztere eigentlich zu Stande kommt, ist bis jetzt nicht zu sagen; aber wahrscheinlich wird auch die Function jener Ganglienzellen (des Vorderhorns) gestört, welche die, woher immer kommende, Innervation für die Extremitätenmuskeln vermitteln. Es ist wohl ein Beispiel für das, was man im allgemeinen mit dem seiner tieferen Bedeutung nach noch ziemlich unklaren Namen Shok bezeichnet.

Mit Hilfe abgestufter Reizung der centralen Stümpfe der hinteren Wurzeln liesse sich feststellen, ob der Reiz, der eine Reflexzuckung auslösen soll, um so

1) In Bezug auf die übrige Literatur, soweit sie in dieser Arbeit nicht angegeben wird, verweise ich auf die Zusammenstellung in den Arbeiten der genannten Autoren.

grösser sein muss, je eher er dem Durchschneidungsreiz folgt; ferner, wie viel Zeit nach der Durchschneidung es erfordert, bis ein Reiz von gewisser Grösse eine Reflexzuckung auslöst, u. s. w.

Von E. Cyon wurden im Ludwig'schen Institute 1865 Versuche gemacht „Ueber den Einfluss der hinteren Nervenwurzeln des Rückenmarkes auf die Erregbarkeit der vorderen“¹⁾, welche das Vorhandensein eines solchen Einflusses gezeigt haben. Damals hielten Cyon mehrere Bedenken ab, seinen Versuch „nur als eine andere Modification des Brondgeest'schen“ anzusehen, wozu ihm auch der Befund Anlass gab, dass „die Streckmuskeln der unteren Extremität bei Unversehrtheit der hinteren Wurzeln ebenfalls reizbarer waren als nach Verletzung derselben“, was Cyon wunderte, da sie „doch zu den Hautnerven in einer weniger ausgesprochenen Beziehung stehen“ als „die Nerven der Muskeln, welche vom Brondgeest'schen Tonus ergriffen werden“.

In späteren Mittheilungen²⁾ (1870 und 1873) sagt Cyon jedoch dass seine Versuche „das Vorhandensein des von Brondgeest zuerst beobachteten Reflextonus der Muskeln bestätigte“. Er theilt in diesen Arbeiten eine Reihe nach anderer Methode ausgeführter Versuche mit, durch welche er zeigte, dass der Gastrocnemius nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln sich verlängert. In Pflüger's Archiv (1873) beschreibt Cyon diesen Versuch, den er, wie er sagt, „als Vorlesungsversuch benutzte, um den Brondgeest'schen Tonus zu demonstriren“, wie folgt:

„Man verbindet den *M. gastrocnemius*, der mit etwa 20–30 g belastet ist, mit dem Marey'schen Myographion und lässt diesen ruhenden Muskel während einiger Zeit seine Länge auf der rotirenden Trommel aufzeichnen. Sodann durchschneidet man vorsichtig und mit einer sehr scharfen Scheere die hinteren Wurzeln und lässt den Muskel seine Länge weiter fortzeichnen: der belastete Muskel verlängert sich dabei entweder sofort oder im Verlauf einer Minute um eine relativ bedeutende Grösse.“

Die ersten Versuche Cyon's sind von P. Guttman im Laboratorium von du Bois-Reymond wiederholt und bestätigt worden; den gegentheiligen Ansichten von Bezold und Uspensky, sowie von Grünhagen und Georg Heidenhain ist Cyon in Gemeinschaft mit F. Steinmann durch Versuche entgegengetreten, in

1) Berichte der Königl. Sächs. Gesellschaft der Wissenschaften 1865.

2) Ueber den Tonus der willkürlichen Muskeln (Bulletin de l'Académie des Sciences de St.-Petersbourg, 22. Déc. 1870) und „Ueber den Einfluss der hinteren Wurzeln auf die Erregbarkeit der vorderen“ (Pflüger's Archiv, 1873).

denen er unter Verwendung der zweiten Methode das Vorhandensein des Brondgeest'schen Tonus bestätigte. Der Einfluss der hinteren Wurzeln giebt sich also nach Cyon's Arbeiten auf zweifache Weise zu erkennen: 1) dadurch, dass man nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln grössere Reize braucht, um die vorderen Wurzeln zu erregen, als vor der Durchschneidung, 2) dadurch, dass nach der Durchschneidung der hinteren Wurzeln der belastete Muskel sich verlängert.

Man darf diese zwei nach verschiedenen Methoden gewonnenen Resultate nicht ohne Weiteres miteinander vermengen; denn wenn das erste Resultat dem zweiten auch zur Bestätigung dient, so bestimmt doch die erste Methode nicht die Abnahme des Muskeltonus. Auch ist es noch nicht sicher, ob das erste Resultat dauernd dasselbe bleibt, während der Ausfall der reflectorischen Muskelspannung nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln sicher ein dauernder ist.

Unter der Leitung von Luciani sind 1890 von E. Belmondo und R. Oddi¹⁾ an Hunden Versuche gemacht worden, welche die Cyon'sche Angabe bestätigten. Nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln oder nach Cocainbepinselung derselben nahm die Erregbarkeit der entsprechenden vorderen Wurzel ab, indem die vorderen Wurzeln „auf Reize geringsten Grades, die vorher wirksam waren, nicht mehr reagiren“, „und es — um Muskelcontraction zu erwirken — um so viel heftigerer Reizung bedarf, je stärker die Abnahme ihrer Erregbarkeit geworden ist“. (Citirt nach Luciani, Das Kleinhirn.)

Cyon hat bekanntlich diesen Umstand zur Erklärung der Ataxie bei der Tabes benutzt. Damals (1867) bezog Cyon in seinem Buche „Die Lehre von der Tabes dorsualis“ die Ataxie bei der Tabes S. 24 einerseits darauf, dass die Tabetiker zu stark innerviren, da die Erregbarkeit der motorischen Nerven vermindert sei, andererseits darauf, „dass bei jeder Bewegung einige Muskeln zu schwach erregt werden, so dass ihre Antagonisten nicht gehemmt werden und daher sich excessiv contrahiren“. Letztere Meinung hing mit seiner auf S. 18 geäusserten Ansicht über die gleichzeitige Innervation der Antagonisten bei einer Bewegung zusammen. Dass diese vielfach verbreitete Ansicht nicht der Wirklichkeit entspricht, habe ich in meiner

1) In torno all' influenza delle radici spinali posteriori sull' eccitabilità delle anteriori (Rivista speriment. di Freniatr. e Medic. legale, Reggio-Emilia, 1890).

Arbeit, „Beitrag zur Frage der gleichzeitigen Thätigkeit antagonistisch wirkender Muskeln“¹⁾, gezeigt. Wie Cyon seit seinen Arbeiten (1870), welche die Verlängerung des Muskels nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln betreffen, über das Zustandekommen der Ataxie bei der Tabes denkt, weiss ich nicht.

Im Jahre 1879 hat S. Tschirjew²⁾ Versuche mitgetheilt, welche er theils bei E. du Bois-Reymond, theils bei Marey ausgeführt hat. Seine Versuche, die er an morphinisirten Kaninchen vornahm, ergaben, dass der belastete Quadriceps sich nach Durchschneidung des N. cruralis verlängert.

Ein anderer Versuch (S. 83), den Tschirjew anführt, ist in der ausgeführten Art und Weise vieldeutig, da Tschirjew dabei einen gemischten undurchschnittenen Nerven reizte, so dass der Reiz centripetale wie centrifugale Nerven gleichzeitig traf.

Hingegen hat Cyon in einer Mittheilung „Ueber die durch Reizung der Rückenmarkswurzeln erzeugte Muskelzuckung“³⁾ zwei Versuche mitgetheilt, welche hierher gehören. Erstens giebt Cyon an, dass die Muskelcurve anders sich gestaltet, wenn der Muskel reflectorisch von den hinteren Wurzeln aus erregt wird, als wenn man den Nervenstamm direct reizt.

Die Muskelcurve ist verlängert („wie dies schon Wundt beobachtet hat“), und zwar ist „diese Verlängerung nur in dem absteigenden Theile der Curve sichtbar, welcher, anstatt nach der Abscisse hin concav zu sein, wie das bei den gewöhnlichen Zuckungen der Fall ist, im Gegentheil nach dieser Richtung hin convex ist. Nur sehr allmählig wird die Abscisse von dieser Curve erreicht.“ Die Erklärung dieses Phänomens beruht nach Cyon darauf, „dass eine, einer Ganglienzelle mitgetheilte Reizung daselbst während längerer Dauer fortbesteht, als wenn sie direct auf die Nervenfasern eingewirkt hat; in Folge dieses Fortbestehens verschwindet die Muskelverkürzung nur sehr langsam.“

Der zweite Versuch lautet: „Wenn die Muskelzuckung durch eine einzige Reizung einer mit dem Rückenmark noch in Zusammenhang stehenden vorderen Wurzel hervorgerufen wird, bietet die Curve denselben Charakter dar, wie diejenige einer reflectorischen Erschütterung.“ Cyon erklärt diese Erscheinung mit Hilfe der Annahme, dass die der vorderen Wurzel ertheilte Erregung sich gleichzeitig nach zwei entgegengesetzten Richtungen fortpflanzt.

1) Zeitschrift für Heilkunde 1895, XVI. Bd.

2) Tonus quergestreifter Muskeln, Arch. für Anat. und Physiol. 1879, S. 78.

3) Bulletin de la Société de Biologie. Paris 1876.

Da Cyon bei diesen Versuchen nicht angiebt, ob die hinteren Wurzeln durchschnitten waren oder nicht, so fragt sich, ob nicht eine andere Erklärung möglich wäre. Man hat physiologisch wenig an Muskeln gearbeitet, deren centripetale Nerven noch mit dem Centralnervensystem in Zusammenhang stehen. Wahrscheinlich ist unter diesen Umständen der Ablauf der Muskelcontraction ein anderer, als am herausgeschnittenen Muskel, den man gewöhnlich zu Versuchen zu benützen pflegt. Nicht nur die Verlängerung des Muskels wird in anderer Weise erfolgen, wenn seine centripetalen Nerven unversehrt sind, indem dieselben reflectorisch die Längenausdehnung des Muskels beeinflussen werden, so dass, wenn diese reflectorische Regulation fortfällt, der Muskel mit dem Aufhören der Innervation sich rascher und stärker verlängert, als bei erhaltener Regulirung, sondern es wird ein Muskel auch ausgiebiger und vielleicht rascher seine Leistungen vollführen, wenn er schon vorher auf reflectorischem Wege in eine gewisse Spannung versetzt ist, als wenn diese reflectorische Spannung fehlt, da nun Zeit und Kraft verloren geht, um die Endpunkte des Muskels einander zu nähern.

Ich erinnere auch an das, was ich in meiner ersten Mittheilung schon bemerkte, dass wir, um einen möglichst grossen äusseren Effect bei einer Bewegung zu erreichen, z. B. beim Steinwerfen, beim Sprung etc., vorher gerade jene Muskeln dehnen, die dann die Bewegung ausführen. Fällt jedoch der reflectorische Spannungszuwachs bei dieser Anspannung bzw. Dehnung weg, so wird auch der Bewegungseffect ein geringerer sein. In Folge des Wegfalles der reflectorischen Muskelspannung wird man zwar durch entsprechend stärkere Innervation noch verhältnissmässig grosse Kraftleistungen produciren können, wofür auch das Verhalten hochgradiger Tabiker spricht, aber eine wesentliche Unterstützung und Regulirung bei der Ausführung der Bewegungen fällt weg.

Der regulirende Einfluss der centripetalen Nerven des Muskels auf seinen Zuckungsablauf, wenn er seine Erregung auf dem Wege der centrifugalen Nerven erhält, wird sich, wie ich hoffe, auf folgende Art in beweisender Form demonstrieren lassen. Man reizt den Muskel von der undurchschnittenen vorderen Wurzel aus und verzeichnet seine Curve erst vor Durchschneidung, der hinteren Wurzeln und dann nach Durchschneidung derselben. Dieser Versuch ist noch nicht gemacht worden. —

Bevor ich in der Besprechung der Ansichten Tschirjew's

fortfahre, will ich die Resultate der Arbeiten von v. Anrep und von Mommsen anführen.

B. v. Anrep's sorgfältige „Studien über Tonus und Elasticität der Muskeln“¹⁾, welche am M. adductor magnus und semimembranosus des Frosches ausgeführt worden sind, führten ihn zu dem Ergebniss: 1. „dass die lebendigen Extremitätenmuskeln sich in einer tonischen Spannung befinden“, womit er nicht einen dauernden Tonus versteht, sondern der Meinung Tschirjew's beipflichtet, dass die Spannung des Muskels ein Reizmoment für den Tonus sei und dass der letztere nur bei gewisser Spannung des Muskels vorkommt; 2. „dass die tonische Spannung ein reflectorischer Act ist“ und 3. „dass sie aufgehoben wird durch Lähmung der motorischen (bezw. durch deren Durchschneidung) sowohl wie der sensiblen Nerven.“

J. Mommsen hat in seinem „Beitrag zur Kenntniss des Muskeltonus“²⁾ entgegen den Angaben von Cohnstein (1861) angegeben, dass der Brondgeest'sche Reflextonus auch bei Anästhesie der Haut und nach Enthäutung bestehen bleibt, wenn auch der Tonus zuweilen etwas geringer war. Seine Ergebnisse lauten: „Der Tonus ist ein Reflexvorgang. Der Reflex ist nicht ausschliesslich abhängig von der Thätigkeit sensibler Hautnerven. Der Tonus muss daher bei dem Mangel anderer Ausgangspunkte, welche denselben in Gang halten könnten, als ein Muskelreflex aufgefasst werden, das Wort Muskel im weitesten Sinne genommen. Das Reizmoment ist ein mechanisches: die continuirliche Anspannung des Muskels und seiner Adnexa bedingt durch die anatomische Fixation der Muskelenden.“ Ich kann Mommsen's Angaben über den Einfluss der Hautnerven bestätigen und muss sagen, die Hautnerven bewirken den Muskeltonus nicht, wenn sie ihn auch vielleicht unterstützen. Wie ich schon mitgetheilt habe, tritt auch das Hebephänomen nach Enthäutung nicht auf.

Tschirjew kommt in seiner oben genannten Arbeit zu dem Schluss, dass es keinen dauernden Muskeltonus giebt, dass er reflectorischer Natur ist, und dass die Muskeln „nur bei gewisser Spannung in eine tonische Contraction verfallen, die bei sonst gleichen Bedingungen so lange dauert, wie die Muskelspannung“.

1) Pfüger's Archiv Bd. XXI, S. 78.

2) Virchow's Archiv Bd. CI S. 22.

In Bezug auf die Ataxie bei der Tabes meint Tschirjew, dass „die bekannte spezifische Ataxie der Tabischen, nämlich die schwankenden Bewegungen der Extremitäten um den Zielpunkt“, jedes Mal eintritt, wenn die reflectorische Muskelerregung unmöglich wird. Anfangs war es mir nicht verständlich, warum Tschirjew am Schlusse seiner Mittheilung sagt: „Bei den Tabischen bekommen die Bewegungen einen werfenden Charakter, und es entstehen diese bekannten schwankenden Bewegungen um den Zielpunkt, wenn man den Kranken auffordert, sein Bein bis zu einem gewissen Punkte in die Höhe zu heben und in dieser Lage zu fixiren. Diese Bewegungsstörungen hängen sichtlich nur vom Verlust dieser peripherischen Regulirung ab, und können nicht etwa als ataktische Bewegungen im eigentlichen Sinne (in Folge der Innervationsstörung) angesehen werden.“

Bei denselben Bewegungsstörungen spricht Tschirjew erst von der „specifischen Ataxie der Tabischen“ und dann davon, dass man sie nicht etwa als ataktische Bewegungen im eigentlichen Sinne ansehen kann.

Nachträglich ersah ich aus einer andern Mittheilung¹⁾ von Tschirjew, die gegen Senator gerichtet ist, dass Tschirjew gar nicht weiss, dass er den Ausdruck „specifisch“ in seiner Arbeit gebraucht hat. Die Anmerkung lautet: „Hr. Prof. Senator sagt unter Anderem, ich irre mich bezüglich der Auffassung der bekannten specifischen Ataxie der Tabischen. Ist das ein Fehler des Citats und will er sagen: Der peripherischen Ataxie? Oder meint er damit eine andere Art der Ataxie?“

Man sieht daraus, dass Tschirjew statt spezifische wahrscheinlich periphere Ataxie sagen wollte, welchen Ausdruck er aber in der Arbeit „Tonus quergestreifter Muskeln“ nirgends gebraucht.

In der Mittheilung vom Jahre 1880 sagt Tschirjew S. 570: „Ich unterscheide nämlich unter den Bewegungsstörungen der Tabischen hauptsächlich zwei Gruppen: eigentliche Coordinationsstörungen (centrale Ataxie, wenn man will) und werfende Bewegungen (peripherische Ataxie)“; die centrale Ataxie, die Tschirjew mit E. Cyon wieder in zwei Gruppen (Combinationsstörung und Innervationsstörung) trennt, wird „höchst wahrscheinlich durch Veränderung physiologischer Eigenschaften der Coordinationscentra hervorgerufen“. Ich gehe hier auf diese Ansicht von einer centralen Ataxie bei der Tabes nicht ein, sondern will mich nur noch auf jene Bemerkungen Tschirjew's beschränken, die sich auf den reflectorischen Muskeltonus und die Folgen seines Ausfalles beziehen.

Tschirjew erklärt die periphere Regulirung der Bewegungen auf folgende Weise: „Wenn man irgend eine Muskelgruppe innervirt, so nimmt bei den normalen Bedingungen der Tonus der Antagonisten in Folge ihrer grösseren Dehnung zu. Dadurch wird ein viel grösserer Widerstand seitens der Antagonisten geleistet und in Folge dessen wird einerseits der zu bewegende Hebel in seiner Excursion stärker gehemmt, seine Bewegung verliert den Charakter einer

1) Kniephänomen und Tabes dorsalis. Du Bois-Reymond's Arch. 1880, S. 566.

werfenden Bewegung.“ Was Tschirjew über die elastischen Schwankungen sagt, lasse ich vor der Hand dahingestellt, bis ich selbst hierüber experimentirt habe.

Meine Ansicht, die ich auf Grund meiner Versuche für richtig ansehe, und die mit der soeben citirten Ansicht Tschirjew's im Princip übereinstimmt, möchte ich folgendermaassen ausdrücken: Bei einer durch die Thätigkeit der Agonisten herbeigeführten, von äusseren Widerständen unbehinderten Bewegung einer Extremität oder eines Theiles derselben werden die antagonistisch auf jene Bewegung wirkenden Muskeln gedehnt. Die bei der Dehnung erfolgende Spannung der antagonistisch wirkenden Muskeln wird verstärkt durch die reflectorische Spannung dieser Muskeln, wodurch der Ablauf der Bewegung regulirt wird. Fällt die reflectorische Spannung weg, so tritt Ataxie ein, welche um so deutlicher in Erscheinung tritt, je stärker und rascher die Bewegungen veranlasst werden.

Ich sagte ausdrücklich: bei einer unbehinderten Bewegung; denn wird die von den Agonisten intendirte Bewegung durch einen äusseren Widerstand verhindert, so sind die Antagonisten schlaff; auf diese jeder Zeit leicht zu demonstrirende Thatsache komme ich bei anderer Gelegenheit zurück, desgleichen auf die verschiedenen Formen des Muskelantagonismus.

Da ich auf die Ataxie bei der Tabes noch in einer späteren Mittheilung zu sprechen komme, beschränke ich mich hier nur noch auf folgende Bemerkungen: Man darf nicht vergessen, dass die Folgen des Ausfalles der reflectorischen Muskelspannung viel reiner beim Frosch und auch beim Hund in Erscheinung treten als beim Menschen, der mit Hülfe einer Regulirung auf anderem Wege durch absichtlich geänderte Innervation den Bewegungsablauf seiner Extremitäten in verschiedener Weise beeinflusst. Der Frosch und auch der Hund kann bei der Locomotion die Hinterbeine nicht sehen, wie der Mensch seine unteren Extremitäten, und wenn die centripetalen Nerven, die die Hinterbeine versorgen, durchschnitten sind, können dem Centralnervensystem keine Erregungen von den Hinterbeinen zugehen, und so kann auf diese Weise auch keine Regulirung ihrer Bewegungen erfolgen.

Ein besonderer Vorthail des Thierexperimentes besteht ja gerade

darin, dass wir es mit reinen Fällen zu thun haben können, die uns die sichere und richtige Analyse complicirter pathologischer Fälle erst ermöglichen hilft.

Im Jahre 1896 sind zwei Mittheilungen, eine von Frenkel: „Ueber Muskelschlaffheit (Hypotonie) bei der Tabes dorsalis“¹⁾, und eine von E. Jendrassik, „Zur Lehre vom Muskeltonus“²⁾, erschienen, in denen auch der Zusammenhang zwischen Ataxie und Hypotonie berücksichtigt wird. Frenkel ist geneigt, einen solchen Zusammenhang anzunehmen, war aber noch nicht im Stande, denselben constant nachzuweisen, während Jendrassik aus der Untersuchung seiner Fälle zu dem Schluss kommt, dass „diese passive Muskeldehnbarkeit mit der Ataxie in gar keinem Verhältnisse zu sein scheint“. Seine Untersuchung ist gewiss sehr verdienstlich und sollte wiederholt werden, aber der Schluss, den Jendrassik zieht, ist nicht genügend begründet.

Ich habe gerade jetzt einen Tabiker zu untersuchen Gelegenheit gehabt, bei dem sich diese Muskeldehnbarkeit nur an zwei Gelenken, am linken Hüftgelenk und am rechten Fussgelenk, besonders deutlich ausprägte. Bei im Knie gestrecktem Beine liess sich der rechte Fuss leichter und stärker passiv dorsal flectiren als der linke, während das linke Bein bei ganz gestrecktem Kniegelenk sich stärker im Hüftgelenk beugen liess als das rechte, und, wenn das linke Bein activ so gehoben wurde, rotirte es in dieser Stellung nach aussen, was am rechten Hüftgelenk nicht zu bemerken war. Die ataktischen Bewegungen prägten sich demgemäss auch an den beiden Extremitäten etwas verschieden aus.

Ich erwähne diesen Fall nur, weil er zeigt, dass bei der Tabes, wie dies übrigens auch aus vielen anderen Beobachtungen hervorgeht, nicht alle hinteren Wurzeln bzw. centripetalen Fasern auf einmal durch die pathologische Ursache functionsunfähig werden, wie es z. B. bei der Durchschneidung aller ein Hinterbein versorgender hinterer Wurzeln der Fall ist, sondern dass ein Bein und gewisse Theile von ihm stärker afficirt sein können als andere Theile desselben oder des anderen Beines.

Ich will schliesslich noch meine Meinung über den Antheil der Sehnenreflexe an der centripetalen Ataxie und über die Beziehung

1) Neurolog. Centralblatt April 1896 S. 355.

2) Ebendasselbst S. 781.

der ersteren zum Muskeltonus, soweit die vorliegende Arbeit dazu Veranlassung giebt, kurz äussern¹⁾).

Exner hat als eine Function der Sehnenreflexe die durch sie vermittelte reflectorische Fixation der Extremitäten in den Gelenken bezeichnet. Sternberg, der sich besonders ausführlich mit den Sehnenreflexen beschäftigt hat, spricht sich in seinem Buche auf S. 273 folgendermaassen aus: „Die Sehnenreflexe bilden also einen Apparat zur reflectorischen Fixation der Gelenke bei Stössen und Zerrungen, eine Schutzvorrichtung des Organismus, um seine Gelenke unverehrt zu halten.“

Zu dieser Anschauung möchte ich hinzufügen, dass meiner Meinung nach auch die hier besprochene reflectorische Spannung der Muskeln an der Fixation der Extremitäten in den Gelenken theiligt ist.

Die Analyse der Frage, welche centripetale Nerven — die der Muskeln und seiner Sehnen oder nur die der Muskeln — jene hier besprochene reflectorische Spannung, welche man als Reflexonus zu bezeichnen pflegt, vermitteln, ist bis jetzt hauptsächlich nur auf Grund pathologischer Fälle möglich.

Senator²⁾ möchte auf Grund der experimentellen und anatomischen Untersuchungen, wie der klinischen Beobachtungen nicht als sicher, aber doch als einigermaassen wahrscheinlich bezeichnen,

1) Sternberg meinte in einem Referate des physiologischen Centralblattes (1896, S. 555) auf Grund irrthümlicher Auffassung meiner kurzen, vorläufigen Mittheilung „Ueber centripetale Ataxie“, dass ich die Ataxie eingetheilt hätte nach dem Verhalten der Sehnenreflexe. Dies habe ich jedoch keineswegs gethan, sondern nur das verschiedene Verhalten der Sehnenreflexe als klinische Theilerscheinung erwähnt, während ich zwei Formen der Ataxie auf Grund des verschiedenen Bewegungsablaufes und darnach unterschied, „ob die Function der aus dem Bewegungsopporport der Extremitäten entspringenden centripetalen Bahnen ausgefallen oder abnorm gesteigert ist“.

Ich kann Sternberg's Meinung nur der Auffassung jener Stelle zuschreiben, wo ich auf S. 2 von den Antagonisten sage, sie werden gedehnt, „und diese Dehnung erregt die peripheren Endorgane der centripetalen Nerven der Sehnen (etc.) derselben“; ich habe jedoch nicht umsonst dieses „(etc.)“ hinzugefügt, weil ich damit ausser den Muskelsehnen auch die Muskelfascien, das Perimysium externum und internum gemeint habe, auf diese Details aber absichtlich in der vorläufigen Mittheilung nicht eingehen wollte, zumal die Differenzirung der in Frage kommenden centripetalen Fasern eine längere Erörterung erfordert hätte.

2) Ueber Sehnenreflexe und ihre Beziehungen zum Muskeltonus. Du Bois-Reymond's Archiv 1880, S. 197.

dass in dem Grenzgebiet von Muskel und Sehne gewisse centripetale Nerveneinrichtungen sind [wobei Senator sich auf die „von A. Rollet und C. Sachs entdeckten, dann von Golgi und von Tschirjew genauer erforschten Muskel-Sehnennerven“ bezieht], welche nur durch ganz bestimmte mechanische Einwirkungen (Erschütterungen, plötzliche Dehnung) in Erregung versetzt werden, und welche durch diese Erregung reflectorisch einerseits den Muskeltonus, andernteils die Sehnenreflexe beherrschen.

Sternberg macht in seinem Buche in Bezug auf den Zusammenhang der Sehnenreflexe mit dem Muskeltonus darauf aufmerksam (S. 267), „dass, wie die genauere Analyse der Krankenbeobachtungen lehrt, die Veränderungen beider keineswegs stets im gleichen Sinne erfolgen“ und kommt nach Anführung von Versuchen von Lombard und seinen eigenen zu dem Schluss: „Im Allgemeinen sind Tonus und Sehnenreflexe von einander unabhängig.“

Ich finde es bis jetzt wahrscheinlich, dass die centripetalen Nerven der Sehnen den Reflextonus vielleicht unterstützen. Eine Verschiedenheit der Sehnenreflexe und des Reflextonus von einander kann man wohl auch darin erkennen, dass den Reflextonus schwächere Reize auslösen als den Sehnenreflex, und dass die Erregung des Reflextonus eben nur eine stärkere Spannung des Muskels, die Erregung eines wirklichen Sehnenreflexes aber eine Muskelzuckung zur Folge hat; ihre Aehnlichkeit liegt in der mechanischen Auslösbarkeit. Endigungen centripetaler Nerven im Perimysium des Muskels, die man mit der reflectorischen Spannung in Zusammenhang bringen kann, sind beschrieben worden, so dass das physiologische Postulat nicht ohne anatomisches Substrat ist¹⁾.

Auf Grund meiner bisher ausgeführten Experimente beschränke ich mich vorderhand darauf, zu sagen: Centripetale Ataxie tritt auf, wenn die centripetalen Nerven der Muskeln

1) Siehe die Mittheilungen von L. Kerschner im anatomischen Anzeiger, in denen sich auch die Literatur befindet. Besonders möchte ich auf eine Arbeit von Sherrington aufmerksam machen, die wenig bekannt zu sein scheint, in welcher Sherrington bewiesen hat, dass Spinalganglienfasern im Muskel endigen und zwar meistens in den von Kühne zuerst beschriebenen „Muskelspindeln“. In den Muskelnerven sind $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$ der Fasern centripetale. Die Nervenstämme sind senso-motorisch oder nur sensorisch, aber in keinem Fall nur motorisch (Journal of Physiology Vol. XVII Nos. 3 und 4 1894).

(worunter ich also zunächst den ganzen Muskel vom Ursprung bis zum Ansatz verstehe) functionsunfähig sind.

Ich habe, um es noch zu bemerken, deswegen den Ausdruck „reflectorische Muskelspannung“ den Ausdrücken Muskeltonus oder Reflextonus vorgezogen, da man unter Tonus eine dauernde, ständige Muskelspannung zu verstehen pflegt, während ich in Uebereinstimmung mit Tschirjew und v. Anrep nicht glaube, da hierzu auch gar keine Nöthigung vorliegt, dass die reflectorische Muskelspannung immer vorhanden und demnach eine dauernde ist, sondern vielmehr immer nur als Spannungszuwachs derjenigen Muskeln in Erscheinung tritt, die gerade unter dem Einflusse von Bewegungen und unter der Wirkung der Schwerkraft eine Dehnung erfahren.
