(Aus dem deutschen physiologischen Institut zu Prag.)

Die Wirkung der physiologischen Kochsalzlösung auf quergestreifte Muskeln.

Von

F. S. Locke aus Cambridge.

Hierzu Tafel V.

Nachdem Kölliker die „Indifferenz“ der Lösungen des Chlornatrium von 0,5–1 p. Ct. in Wasser gefunden hat, d. h. die Thatsache, dass sie z. B. mit den Muskeln lange in Berührung bleiben können, ohne dass letztere ihre Erregbarkeit verlieren, sind diese Lösungen allgemein gebraucht, um physiologische Präparate besonders von Nerven und Muskeln feucht zu erhalten, oder das Blut aus den Gefässen auszuspritzen. Die Thatsache, dass Muskeln in diesen Lösungen ihre Erregbarkeit erhalten, scheint als genügender Beweis dafür angesehen worden zu sein, dass sie keinen merklichen Einfluss auf die Eigenschaften von Muskeln haben, und dass ihr Gebrauch keine störenden Veränderungen mit sich bringt.

Erst in den letzten Jahren wurde durch die später zu besprechenden Untersuchungen diese Auffassung erschüttert. In wie mannigfacher Weise aber der Gebrauch solcher Lösungen bei Muskeluntersuchungen sehr störende Folgen bedingen kann, ist noch nicht dargelegt. Die Erörterung dieser Folgen ist der Gegenstand der vorliegenden Abhandlung, welche leider vorzeitig abgebrochen werden musste, und daher nicht den Anspruch auf irgend erschöpfende Behandlung ihres Gegenstandes macht.

I.

Im April 1891 sah ich mich gelegentlich veranlasst, in einem Controlversuche die Grösse der nach Momentanreiz erfolgenden negativen Schwankung bei Muskeln, welche in 0,6 procentige Kochsalzlösung (K.-S.-L.) durch eine halbe Stunde oder mehr gelegt worden waren (Kochsalzmuskeln), und bei solchen, die nicht in der Lösung gelegen hatten, vergleichsweise zu bestimmen. Ich war

überrascht, einen grossen Unterschied zu finden: die negativen Schwankungen eines Sartorius, der in K.-S.-L. gelegen hatte, waren viel grösser als diejenigen des andern Muskels, der entweder in der feuchten Kammer aufbewahrt oder frisch untersucht worden war.

In den vielen Versuchen, welche ich machte, war dieses Resultat ganz constant: zuweilen war der Unterschied nicht sehr gross, aber immer ganz deutlich.

Ich gebe zwei Protocolle als Beispiele.

Das untere Ende des Sartorius wurde mit einem erhitzten Glasstäbchen abgetödtet. Die eine Boussolelectrode wurde an dieses Ende, die andere ungefähr an die Mitte des Muskels angelegt. Die Platinelectroden zur Reizung wurden nahe dem oberen Ende angelegt. Verwendet wurde das Hermann'sche Galvanometer.

Nr. I. 18. April 1891. *Rana temporaria*. Curarisirter Sartorius, 35 Minuten in K. S. L. von 0,6% gelegt.

Electrodenstrom = -9^{sc} . Muskelstrom in Compens.-Graden = 609. Rollenabstand des Inductoriums = 4,7 cm, 1 Daniell im primären Kreise.

S. S. = Schliessungsinductionsschlag.

Oe. S. = Oeffnungsinductionsschlag.

< bedeutet langsame Zunahme des Muskelstromes.

S. S.	— 8,25	Zwischendurch noch acht Oeffnungsinductionsschläge durch den Muskel geschickt.
Oe. S.	— 82	
S. S.	— 6	
Oe. S.	— 44	
S. S.	— 6	
Oe. S.	— 16	
S. S.	— 5	Um 12 ^h 40 ^m wurde der Muskel wieder in K.S.L. gelegt.
Oe. S.	— 4,5	
S. S.	— 4	
Oe. S.	— 5	

Der andere Sartorius, der durch 70 Minuten in der feuchten Kammer gelegen hatte.

Muskelstrom in Comp.-Graden 553 <.

S. S.	— 4	Um 1 ^h 10 ^m wird der Muskel in dieselbe Lösung wie der erste Muskel gelegt. Um 3 ^h wieder untersucht. Muskelstrom in Comp. Graden 490 <.
Oe. S.	— 4,5	
S. S.	— 3	
Oe. S.	— 3,5	
S. S.	— 2,5	
Oe. S.	— 3,5	
S. S.	— 2,5	
Oe. S.	— 3	

Oe. S.	—	4	
S. S.	—	2	
Oe. S.	—	3	
S. S.	—	1,75	
Oe. S.	—	2	
S. S.	—	1	
Oe. S.	—	2	
S. S.	—	1,75	

Um 3^h 20^m wurde der erste Muskel wieder untersucht.
Muskelstrom in Comp.-Graden 459.

S. S.	—	2,5	Secundäre Spirale bis 1,7 cm Abstand verschoben.
Oe. S.	—	3	
Oe. S.	—	3	

Nr. II. 15. April 1891. *Rana temporaria*. Frischer curarisirter Sartorius.

E. S. — 1^{sc}. Muskelstrom in Comp.-Gr. = 378 <. Rollenabstand = 4,7 cm.

S. S.	—	2,75	
Oe. S.	—	2,75	
S. S.	—	2,75	
Oe. S.	—	2,75	

Der andere Sartorius war durch 2 Stunden 40 Min. in K. S. L. gewesen.
Muskelstrom in Comp.-Graden 420 <.

S. S.	—	21	
Oe. S.	—	52	
S. S.	—	14	
Oe. S.	—	26	
Oe. S.	—	15	

Bemerkenswerth ist die relativ viel grössere Wirksamkeit des Oeffnungsschlages und die mit jeder neuen Reizung eintretende Verminderung der negativen Schwankung. Ich unterliess es zunächst, besonders zu untersuchen, ob Ruhe des Muskels eine Rückkehr der grossen Schwankungen mit sich bringt. Aus später zu erwähnenden Gründen hielt ich dies für überflüssig.

Nachdem ich von der Constanz dieser Erscheinung überzeugt war, ging ich daran zu untersuchen, ob K.-S.-L. von 0,6% eine entsprechende Wirkung auf die Muskelcontraction hat.

II.

Es ist lange bekannt, dass die Natriumsalze einen Einfluss

auf die Muskelcontraction haben. O. Nasse¹⁾ beobachtete einen tetanischen Verlauf statt einer Zuckung, wenn der Muskel mit einer Lösung von Natriumsulfat oder -carbonat behandelt worden war, was Biedermann²⁾ gelegentlich bestätigen konnte. Brunton und Cash³⁾ fanden von Chlornatrium, dass „applied locally of the strength of 0,7 per cent there appears to be no active change in the curve (This is therefore rightly called normal salt solution)“⁴⁾. Sie arbeiteten mit einem dicken Muskel (Gastrocnemius). Ringer hat den Einfluss der 0,6% K.-S.-L. auf quergestreifte Muskeln zu bestimmen gesucht, indem er das eine Mal in solcher Lösung befindliche Sartorii in kurzen Intervallen reizte⁴⁾, das anderemal Gastrocnemii von Fröschen, die mit der Lösung durchströmt wurden, untersuchte⁵⁾. Letzteres hat auch Carslaw gemacht⁶⁾. Ringer fand eine contracturfördernde Wirkung der K.-S.-L. und erwähnt in seiner Abhandlung über die Perfusionswirkung der K.-S.-L.: „While the rate of contraction is slowed the period of relaxation is often enormously prolonged, and these changes are constant until contractility has quite disappeared. In some experiments we found that soon after the commencement of perfusion the amount of contraction, as shown by the height of the trace, is greatly increased, although the strength of the excitation remained the same“⁶⁾.

Carslaw arbeitete mit Lösungen, welche 0,5% NaCl und darüber enthielten, und fand: „ein Muskel, der von den genannten Lösungen viele Minuten lang durchflossen war, führt, wenn ein Inductionsschlag ihn reizbar findet, Zuckungen aus, die mit einer sogenannten Contractur behaftet sind. Die Contractur ist entweder die einfache, wie sie von Kronecker und Tiegel beschrieben wurde, oder es gleicht die Curve der Zuckung der eines dirotischen Pulses, indem die auf die erste Erhebung folgende Senkung von einem neuen Ansteigen unterbrochen wird.“ Carslaw scheint keine Erscheinungen, die auf gesteigerte Erregbarkeit der Muskeln deuten, gesehen zu haben. Bei meinen Versuchen liess ich Sartorien, die in 0,6% K.-S.-L. gelegen hatten,

1) Dieses Archiv II. S. 117.

2) Sitz.-Ber. der Wiener Akad. LXXX. Bd. III. Abth. S. 388.

3) Philos. Transact. 1884. S. 226.

4) Journ. of Physiol. VIII. S. 20.

5) Ebendas. VIII. S. 288.

6) Du Bois Reymond's Archiv. 1887. S. 429.

ihre Zuckungen aufschreiben. Die Muskeln waren noch in Verbindung mit den Knochenstümpfen. Die Inductionsströme wurden meist durch den ganzen Muskel, zuweilen auch durch zwei an den Verlauf des Muskels gelegte Platinelectroden geschickt und waren von derselben Stärke, wie bei meinen galvanometrischen Versuchen. Ganz in Uebereinstimmung mit letzteren zeigten sich sogleich bei den ersten Versuchen nicht einfache Zuckungen, sondern tetaniforme Contractionen von enormer Höhe und einer Dauer von mehreren Secunden, nach welchen der Muskel plötzlich erschlaffte und nur einen kleinen Verkürzungsrückstand zeigte. Weitere Versuche lehrten dann, dass diese eigenthümlichen Contractionen erst bei grösseren Reizstärken und, in Uebereinstimmung mit den galvanometrischen Erscheinungen, besonders bei Oeffnungs-Inductionsströmen (Oe.-I.-Strömen) auftraten. Wurde ein solcher Muskel zunächst mit den schwächsten, eben wirksamen Strömen gereizt, und durch Annäherung der Spiralen der Reiz stufenweise verstärkt, so waren die ersten Zuckungen stets normal; bei einem Rollenabstand von 4—5 cm (1 Daniell) schloss sich an die durch den Oe.-I.-Strom bewirkte Zuckung ein Verkürzungsrückstand an, der sich bei noch stärkeren Reizen vergrösserte; erst als die Rollen über einander geschoben waren, trat bei Reizung durch den Oe.-I.-Strom die tetanische Contraction auf (Fig. 1), jedoch nur einmal in voller Stärke. Wurden die Reizungen fortgesetzt, so verlor sich die tetanische Contraction wieder, und nach einem nochmaligen Stadium, in welchem sich lediglich ein Verkürzungsrückstand nach der Zuckung zeigte, gab der Muskel wieder nur noch einfache Zuckungen. Dies entspricht dem allgemeinen Verhalten der „Contractur“.

In solcher Weise verhielten sich Muskeln, welche ganz frisch oder nach nur wenigen vorläufigen Controlreizungen eine halbe Stunde oder länger in der K.-S.-L. gelegen hatten.

Wurde aber ein frischer Muskel häufig gereizt und dann eine halbe Stunde in die K.-S.-L. gelegt, oder wurde ein schon einmal in dieser Lösung gewesener und darnach häufig gereizter Muskel zum zweitenmale der halbstündigen Einwirkung der Kochsalzlösung ausgesetzt, so zeigte sich nachher an solchen Muskeln zwar auch die überwiegende Wirksamkeit der Oe.-I.-Ströme und es traten auch hier und zwar wieder erst bei genügender Reizstärke eigenthümliche Contractionen auf, aber dieselben waren nicht einfach tetaniform, sondern zweigipfelig, ähnlich der „Doppelzuckung“

eines veratrinisirten Muskels. Die Erschlaffung nach der ersten Zuckung war sehr ausgeprägt und erreichte bisweilen wieder die Abscisse; die zweite Zusammenziehung war etwas verzögert und konnte die erste Zuckung übertreffen oder nicht. Die auf diese zweite Contraction folgende Erschlaffung verlief viel schneller als am veratrinisirten Muskel und war zuweilen durch Verzögerungen oder nochmalige Zusammenziehungen unterbrochen, die gelegentlich die Höhe ihrer Vorgänger übertrafen. Bei Wiederholung der Reizung verschwanden diese eigenthümlichen Contractionerscheinungen wieder ebenso, wie im erstbeschriebenen Falle die rein tetaniformen Contractionen.

Die beschriebenen vorläufigen Versuche wurden in einer Woche des April angestellt, und ich war noch mit den Vorbereitungen zu einer eingehenden Untersuchung der in theoretischer und methodischer Hinsicht interessant scheinenden Thatsachen beschäftigt, als auf das bisher kühle Wetter plötzlich warme Witterung folgte.

Von da ab waren die Erscheinungen dahin geändert, dass die Einwirkung der K.-S.-L. nur einen einfachen Verkürzungsrückstand zur Folge hatte. Die Muskeln der Frösche und zwar sowohl der im Institut gehaltenen, als auch der frisch eingefangenen, hatten nicht mehr jene schöne rothe Farbe, die das Zeichen ihres guten Zustandes ist, bei welchem allein diese Wirkung der K.-S.-L. zu beobachten ist.

Die Frösche, womit ich gearbeitet hatte, waren nicht überwintert, sondern im Frühling eingefangen.

Erst Ende Mai und Anfang Juni konnte ich die Versuche fortsetzen und sah auch wieder gelegentlich tetaniforme Contractionen. Das Wetter war relativ kühl, die Muskeln schön roth und in sehr gutem Zustande. Die Folgen der Einwirkung der K.-S.-L. aber waren nicht ganz dieselben wie im April. Der Unterschied in der Wirkung der S.-I.-Ströme und Oe.-I.-Ströme war nicht so ausgeprägt. Häufig sah man ganz schwache Schläge sehr verlängerte Contractionen veranlassen, doch ohne bestimmte Regel (s. Fig. 6). Auch war der Einfluss der vorübergehenden Reizungen nicht so ausgeprägt. Nach wiederholten Reizungen bekam man immer noch verlängerte Contractionen: es gab nur eine Verminderung ihrer Höhe (s. Fig. 8). Bei höherer Aussentemperatur scheint sonach die Wirkung der K.-S.-L. eine grössere zu sein, wie dies

bekanntlich bei Veratrin der Fall ist. Ich sah jetzt auch nicht so ausgeprägte zweigipfelige Curven wie im Frühling. Die Contractionen waren beinahe immer einfach tetaniform, aber von verschiedener Dauer und Erschlaffungsschnelligkeit, oder verlängerte Zuckungen. Am häufigsten schloss sich unmittelbar an die Zuckung eine Contractur von grosser Höhe an, ohne eine zwischenliegende Einsenkung der Curve (s. Fig. 4, 6, 8 u. 9).

Die Regelmässigkeit einer Erscheinung, welche ich im Frühling gesehen, aber nicht besonders untersucht hatte, konnte ich jetzt vollkommen nachweisen. Wenn nach wiederholten Reizungen die Contractionen eines Kochsalzmuskels sich sehr vermindert haben, erreichen sie nach Ruhe (10 Minuten oder mehr) in K.-S.-L. beinahe oder vollkommen wieder ihre frühere Grösse. Diese „Erholung“ konnte mehrmals bei demselben Muskel vorkommen. Sie erinnert wieder an den veratrinisirten Muskel (s. Fig. 9).

Der Einfluss der Stromesrichtung auf die Folgen der Reizung ist häufig bei Kochsalzmuskeln besonders stark ausgeprägt und zwar nicht nur bei schwachen, sondern auch bei starken Reizen.

Wie man schon nach dem Vorigen erwarten kann, wird die Erregbarkeit des Muskels durch K.-S.-L. gesteigert. Dies zeigt sich beim Vergleich der Minimalreize vor und nach der Einwirkung der K.-S.-L. und auch beim Vergleich der Zuckungshöhen. Ueber den Einfluss von K.-S.-L. auf Muskelerregbarkeit werde ich später mehr zu sagen haben.

Auffallend ist die Leichtigkeit, womit man einen Kochsalzmuskel wieder normale Zuckungen geben lassen kann. Ringer hat gefunden, dass die Hinzusetzung von einem Theil CaCl_2 zu 5000 Theilen der K.-S.-L., in welcher der Muskel gereizt wird, den Verkürzungsrückstand, den er unter diesen Umständen beobachtete, vollkommen aufhebt. Dadurch angeregt, versuchte ich die Wirkung einer K.-S.-L., die 10 Procent einer gesättigten Lösung von CaSO_4 enthält, auf einen Kochsalzmuskel, der ganz ausgeprägt die Wirkung der K.-S.-L. zeigte. Nach 5 Minuten Eintauchung gab der Muskel mit allen Reizstärken nur einfache Zuckungen, nach welchen aber die Erschlaffung nicht sogleich vollkommen war; es blieb ein kleiner Verkürzungsrückstand, welcher nach längerer Eintauchung in der Ca-Lösung noch vorhanden ist. Nichts destoweniger ist die Wirkung von Ca sehr auffallend und ganz constant (s. Fig. 4 und 5). Taucht man einen mit CaSO_4 -K.-S.-L.

behandelten Muskel für eine halbe Stunde oder mehr in K.-S.-L. ein, so kehren die tetaniformen Contractionen zurück und können wieder durch CaSO_4 beseitigt werden.

Ich habe nicht weiter den Einfluss verschieden starker Zusätze von Ca-Salzen zur K.-S.-L. untersucht. Es scheint aber fast, als ob eine CaSO_4 -haltige K.-S.-L. mehr „physiologisch“ ist, als eine reine K.-S.-L. Hier möchte ich auch erwähnen, dass, soweit ich gelegentlich beobachtet habe, ein Sartorius in der CaSO_4 -haltigen K.-S.-L. nicht „spontan“ zuckt. Diesen Einfluss von Ca-Salzen hat schon Ringer gefunden.

Dies sind meine vorläufigen Ergebnisse, die noch mannigfache Ergänzung fordern. Insbesondere wäre noch näher zu untersuchen die Elasticität des Muskels während der langdauernden Contractionen, der Einfluss der Erwärmung und Abkühlung des Kochsalzmuskels auf seine Contractionen, die Wirkung der Kettenströme, bezüglich welcher ich vorläufig sagen kann, dass der Strom von 2 Daniell eine langdauernde Contraction auslösen kann. Auch das Verhalten eines Kochsalzmuskels bei indirekter Reizung ist noch nicht genügend untersucht. Ob ein Kochsalzmuskel in dieser Beziehung dem veratrinisirten Muskel gleicht, weiss ich nicht. Es sei erwähnt, dass Tiegel¹⁾ bei indirecter Reizung eine Contractur nicht beobachten konnte, obgleich er Frösche, deren Gefässe mit K.-S.-L. ausgespritzt worden waren, benützte. Die Thatsache aber, dass er auch bei noch bestehender Circulation Contractur ebenso wie bei Salzfröschen fand, scheint bei den von ihm benützten Fröschen eine Wirkung der K.-S.-L. auszuschliessen. Nichts destoweniger kann kaum davon abgesehen werden, dass die zwei Forscher, die zuerst „Abcissenerhebung“ oder „Contractur“ klar erkannten, Kronecker und Tiegel, in ihren Versuchen Salzfrösche benützten.

Es ist merkwürdig, dass Niemand, Ringer ausgenommen, und er nur gelegentlich beim Perfundiren der Muskeln, die von K.-S.-L. verursachten tetaniformen Contractionen von grosser Höhe gesehen hat. Ich bin überzeugt, dass gute rothe Muskeln sie immer zeigen. Dass Ringer dieselben bei Sartorien, die gleich nach dem Eintauchen in K.-S.-L. regelmässig gereizt wurden, nicht beobachtete, hing wohl davon ab, dass die vor dem Eindringen der

1) Dieses Archiv. XIII. S. 71.

K.-S.-L. erfolgten Reizungen selbst die Folgen der Wirkung der K.-S.-L. aufhoben; und vielleicht waren auch seine Muskeln nicht gut. In meinen Versuchen, habe ich die Muskeln nicht weniger als 10 Minuten in K.-S.-L. gelassen, ehe ich sie reizte. Einmal aber beobachtete ich bei einem Muskel, der, nachdem er etwas trocken geworden war, nur dreimal mit K.-S.-L. gut gepinselt wurde, ihre ausgeprägte Wirkung.

Ich muss hinzufügen, dass die in meinen Versuchen allgemein benützte K. S. L. mit Steinsalz gemacht war, und dass die Resultate mit einer chemisch reinen Lösung controlirt wurden.

Ich habe nur mit *Rana temporaria* gearbeitet.

III.

Eine der im letzten Abschnitte beschriebenen Folgen der Einwirkung der K.-S.-L. auf quergestreifte Muskeln ist die Erhöhung der Erregbarkeit. Diese Wirkung kann in gewissen Versuchen sehr eigenthümliche Resultate herbeiführen und zwar gerade bei Muskeln, bei denen sich die oben beschriebenen Einflüsse der K.-S.-L. auf die Contraction noch garnicht zeigen. Gerade deshalb darf diese Wirkung nicht vernachlässigt werden, wie die folgenden Erörterungen zeigen.

Versucht man den bekannten Einfluss der Stromesrichtung auf die Erregung eines Sartorius dadurch zu beseitigen, dass man den Muskel in ein mit K.-S.-L. gefülltes Rohr einführt, um die Stromfäden im Muskel möglichst parallel zu machen und die grössere Stromdichte am untern Muskelende zu beseitigen, so zeigt sich jener Einfluss nicht aufgehoben. Nachdem ich diese zunächst auffallende Erscheinung beobachtet hatte, fand ich, dass Leicher¹⁾ sie schon gesehen hat, und die Ursache davon „in den unregelmässigen Muskelenden“ sucht: „an dem tibialen Muskelende treten die Stromfäden in grösserer Ausdehnung aus dem natürlichen Längsschnitt des Muskels aus, als an dem Beckenende.“ Ich muss sagen, dass ich diese Erklärung nicht verstehen kann, und daher eine andere in dem Erregbarkeit steigernden Einflüsse der K.-S.-L. gesucht habe.

Darauf wurde ich durch die Beobachtung geleitet, dass der Einfluss der Stromesrichtung, statt nach Einführung der K.-S.-L. in das Rohr aufgehoben zu werden, trotz der jetzt kleineren

1) Untersuchungen aus d. physiol. Inst. in Halle. H. I. S. 20.

Stromesdichte am untern Muskelende sogar sehr vergrößert erschien. Die Erklärung dieser Thatsache kann sich nur darin finden, dass die Steigerung der Erregbarkeit durch die K.-S.-L. sich leichter am dünneren untern Muskelende entwickelt.

Ist diese Auffassung richtig, so muss man das umgekehrte Verhältniss beobachten, wenn statt der K.-S.-L. eine Erregbarkeit-herabsetzende Flüssigkeit benutzt wird. Darum stellte ich Versuche mit Lösungen von Kalisalzen an, die bekanntlich diese Eigenschaft besitzen, und fand nach vielen Versuchen eine 0,1 procentige KCl-Lösung am geeignetsten für diesen Zweck; stärkere Lösungen wirken zu stark chemisch erregend.

Wenn ein Sartorius, der stärker bei absteigenden als bei aufsteigenden Inductionsströmen zuckt, in eine 0,1 procentige Lösung von KCl für kurze Zeit (zwei oder mehr Minuten) eingetaucht wird, so findet man nach Entfernung der Lösung das umgekehrte Verhältniss und zwar entweder sogleich, oder wenn die Lösung nicht lange eingewirkt hat, nach einigen Minuten, weil die Kaliwirkung sich nach Entfernung der KCl-Lösung fortsetzt.

Beispiele dieser Wirkung einer 0,1 procentigen KCl-Lösung geben die folgenden Protocolle.

Nr. III. 20. Mai 1891. *Rana temporaria*, curarisirter Sartorius mit 3 gr Belastung (die wahre Spannung des Muskels betrug nur 0,35 davon). 5 Daniellsche Elemente im primären Kreise (so viele wurden benützt, um einen trägen Reizmarker arbeiten zu lassen)¹⁾.

Rollenabstand cm	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Schl. Ind. Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Offen. Ind. Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Bemerkungen
6,5	5,5	↓	0,5	↑	} frischer Muskel in der Luft gereizt.
6,5	0	↔	9,5	↔	
6,5	6	↔	1	↔	
6,5	0	↔	9	↔	
6	0	↔	10	↔	
6	0	↔	11	↔	
6	9	↔	6	↔	
6	9	↓	6	↑	} Jetzt wurde der Muskel durch 2 Min. 45 Sec. in KCl-Lösung eingetaucht.

1) Die im Allgemeinen unzweckmässige Einschaltung eines Elektromagneten in den primären Kreis erschien hier unbedenklich.

Rollenabstand cm	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Schl.-Ind.- Strom.	Stromesrich- tung im Muskel	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Offen.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Bemerkungen
6,5	0	↓	2,5	↑	
6,5	0	↑	2,5	↑	
6,5	0	↑	4,5	↑	
6,5	0	↑	4,5	↓	
6,5	0	↑	0	↓	Pause von 54 Sec.
6,5	0	↑	0	↓	} Hier ist bei geringer Erregbarkeit beider Enden das Beckenende das erregbarere.
6,5	0	↑	0,3	↑	
6,5	0	↓	0,3	↑	
6,5	0	↓	0,3	↑	Pause von 40 Sec.
3,5	2	↑	6	↓	} Unregelmässigkeit in der Wirkung des Schliessung-Induct.-Stromes.
3,5	2	↑	6	↓	
3,5	3	↑	8,8	↑	
3,5	1,7	↓	8,8	↑	
3,5	1	↓	8,8	↑	
3,5	0	↓	8	↑	Pause von 43 Sec.
3,5	0	↓	8	↑	
3,5	1	↑	6	↑	
3,5	1	↑	6	↓	
3,5	1	↑	6	↓	
3,5	0,5	↑	5	↓	Pause von 32 Sec.
3,5	0,5	↑	5	↓	} Abnahme der Muskeleerregbarkeit bei relativem Ueberwiegen der Erregbarkeit d. Beckenendes.
3,5	0	↓	7,5	↑	
3,5	0	↓	7,5	↑	
4,5	3	↑	13	↓	} Nach Einwirkung der K.-S.-L. erhöhte Muskeleerregbarkeit bei relativ überwiegender Erregbarkeit des Tibialendes.
4,5	11	↑	13	↑	
4,5	3	↑	13	↑	
4,5	11,5	↑	13	↑	
5,5	10,5	↑	11,2	↑	
5,5	0	↑	12,1	↑	
5,5	0	↑	12,2	↑	
5,5	10,5	↓	11,4	↑	

Nr. IV. 26. Mai 1891. Alles wie beim vorigen Versuche.

Rollenabstand cm	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Schl.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Offen.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Bemerkungen
8	0	↑	8	↓	
8	0	↑	8	↓	} Frischer Muskel in der Luft gereizt
8	6,5	↓	0,5	↑	
8	6,5	↓	0,5	↑	Muskel durch 4 Min. 25 Sek. in KCl-Lösung eingetaucht

Rollenabstand cm	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Schl.-Ind.- Strom	Stromrich- tung im Muskel	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Oeffn.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Bemerkungen
0	3,5	↓	10,5	↑	Das Beckenende ist bei geringer Muskel- erregbarkeit rela- tiv erregbarer geworden.
0	2	↓	10,5	↑	
0	6,5	↑	10	↓	
0	6,5	↑	10	↓	
2,5	5,5	↑	0,5	↓	
2,5	5,5	↑	0,5	↓	
2,5	0,5	↓	8	↑	
2,5	0,5	↓	8	↑	

Interessant ist zu sehen, wie die KCl-Wirkung durch eine mehrere Minuten lange Eintauchung des Muskels in K.-S.-L. aufgehoben wird und die normale stärkere Wirkung der absteigenden Ströme zurückkehrt. Es scheint mir, dass die beschriebenen Erscheinungen ihre Ursache nur darin finden können, dass das untere Ende des Sartorius leichter von Flüssigkeiten angegriffen wird, als das obere. Wenn also K.-S.-L. Erregbarkeit-erhöhend wirkt, kann man ganz gut verstehen, warum in Leicher's und in meinen Versuchen die Reizung des Muskels in einem Bette von K.-S.-L. nicht die Gleichheit der Wirksamkeit der aufsteigenden und absteigenden Ströme zur Folge hat.

Um die Erregbarkeit-erhöhende Wirkung der K.-S.-L. direkt zu beweisen, habe ich so schnell wie möglich präparierte Sartorii in das leere Glasrohr eingeführt, und nach einigen vorläufigen Reizungen nur das untere Ende des Rohres, welches das Beckenende des Muskels enthielt, durch ein Ansatzrohr mit K.-S.-L. gefüllt. Nach einer gewissen Zeit wurde die K.-S.-L. abgezogen und die Erregbarkeit des Muskels wieder geprüft. Die Ergebnisse dieser Versuche waren in mehr als einer Beziehung interessant.

Wenn man den mässig belasteten Muskel bei einem solchen Rollenabstande reizt, dass aufsteigende Oeffnungsschläge nur minimale Zuckungen hervorrufen, wobei die Zuckungen bei umgekehrter Stromesrichtung natürlich ziemlich gross sind, und dann für ein paar Minuten K.-S.-L. am obern Ende des Muskels applicirt, so findet man nach Entfernung der K.-S.-L. bei Anwendung derselben Reize, dass die Wirksamkeit der aufsteigenden Ind.-Ströme sehr vergrössert ist; sie kann sogar grösser sein, als die der ab-

steigenden, obgleich diese auch etwas vergrössert ist, wahrscheinlich durch den geringeren Widerstand des Muskels wegen Befeuchtung. Wenn man jetzt die Stärke des Reizes allmählich vermindert, dauert dieses Verhältniss nicht fort, sondern die Zuckungen verkleinern sich viel schneller bei aufsteigendem Strome als bei absteigendem Strome, sodass, wenn diese letzten noch ziemlich gross, die ersteren nur minimal sind. Wenn dann der Rollenabstand noch mehr vergrössert wird, rufen nur absteigende Ströme Zuckungen hervor. Es zeigt sich dann, dass, wenn man die scheinbaren Erregbarkeiten des untern und oberen Muskelendes durch die Methode der minimalen Reize vergleicht, die des untern Endes grösser ist; vergleicht man aber die scheinbaren Erregbarkeiten nach der Höhe der durch mittlere Reize hervorgerufenen Zuckungen, so scheint die Erregbarkeit des obern Endes die grössere zu sein, d. h. bei derselben Vergrösserung des Reizes wächst die Höhe der Zuckungen bei aufsteigendem Strome viel schneller als bei absteigendem Strome. Die Erklärung dieser zuerst überraschenden Erscheinung ergibt sich, wenn man nicht nur die Stärke des Reizes, sondern auch die Grösse der Belastung variirt. Es folgen die Einzelheiten eines solchen Versuches.

No. V. 11. Juni 1891. *Rana temporaria*, curarisirter Sartorius, zunächst mit 7 gr belastet, die mit ihrem ganzen Gewicht den Muskel spannten. 5 Daniell'sche Elemente im primären Kreise.

Rollenabstand cm	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Schl.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Oeffn.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Bemerkungen
5	30	↕	27	↕	Frischer Muskel an der Luft gereizt. Der ↓ S.-I.-Strom wirkt hier stärker als der ↑ Oe.-Z.- Strom.
5	30	↕	27	↕	
5	0	↕	35	↕	
5	0	↕	36	↕	
7,2	0	↕	29	↕	
7,2	0	↕	30	↕	
7,2	18	↕	2,5	↕	
7,2	16	↕	2,5	↕	
					Hier wurde das Ende des Rohrs mit K.-S.-L. gefüllt, so dass das obere Viertel des Muskels ein- getaucht wurde.

Rollenabstand cm	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Schl.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Oeffn.-Ind.- Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Bemerkungen
7,2	23	↓	19	↑	} Diese Reizungen begannen 55 } Sec. nach partieller Füllung des } Rohres.
7,2	22	↓	20	↑	
7,2	0	↑	33	↓	
7,2	0	↑	34	↓	
					Nach einer Einwirkung von 1 Min. 50 Sec. wurde die K.-S.-L. ab- geleitet.
7,2	0	↑	30	↓	} Gleiche Wirkung des ↓ und ↑ } Oe.-I.-Stromes.
7,2	0	↑	30	↓	
7,2	21	↓	29	↑	
7,2	21	↓	30	↑	
8	5	↓	0,1	↑	} Bei dieser schwächeren Reizung } viel stärkere Wirkung d. ↓ Stro- } mes, sowohl des S.-I.-Stromes } als des Oe.-I.-Stromes.
8	4	↓	0,1	↑	
8	0	↑	20	↓	
8	0	↑	19,5	↓	
7	0	↑	2,4	↓	
7	0	↑	2,4	↓	
7	12	↓	24	↑	
7	12	↓	23,5	↑	
					4 Min. 15 Sec. Zwischenzeit.
7	0	↑	24,5	↓	} Bei Verminderung der Reiz- } stärke wird die Wirkung der ↓ } Ströme relativ grösser als die } ↑ Ströme.
7	0	↑	24	↓	
7	14	↓	29	↑	
7	16	↓	29	↑	
7,5	11	↓	23	↑	
7,5	10	↓	23	↑	
7,5	0	↑	20	↓	
7,5	0	↑	19,5	↓	
7	14	↓	30	↑	
7	14	↓	30	↑	
7	0	↑	24	↓	
7	0	↑	22,5	↓	
8	0	↑	15,5	↓	
8	0	↑	15,5	↓	
8	0	↑	4,5	↓	
8	0	↑	4,5	↓	
					Hier war eine Zwischenzeit von 3 Min.; danach wurde d. Muskel mit 3 gr statt 7 gr belastet; die Abseisse stieg 12 mm.
7	0	↑	40	↓	
7	0	↑	37	↓	
7	23	↓	45	↑	
7	26	↓	45	↑	
8	0	↑	28	↓	
8	0	↑	29	↓	
8	0	↑	6	↑	
8	0	↑	5,5	↑	

Rollenabstand cm	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Schl. Ind. Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Verzeichnete Zuckungshöhe bei Oeffn. Ind. Strom	Stromesrich- tung im Muskel	Bemerkungen
7,5	0	↑	34	↓	} Vergl. die vorhergehenden u. die folgenden Reizungen bei 7 gr Be- lastung. Bei d. kleinen Belastung sind die Wirkungen der ↑ u. ↓ Oe.-I.-Ströme gleich.
7,5	0	↑	32	↓	
7,5	17	↑	32	↓	
7,5	17,5	↓	35	↑	
					Jetzt wurde mit 7 gr belastet. Die Abscisse sank 13,5 mm.
7,5	9	↓	26	↑	} Die Wirkung des ↑ Oe.-I.-Stro- mes wieder grösser als die des ↓ Oe.-I.-Stromes.
7,5	7	↓	25,5	↑	
7,5	0	↑	18	↓	
7,5	0	↑	18	↓	
					Jetzt mit 10 gr belastet. Die Ab- scisse sank 7 mm.
7,5	3	↓	19	↑	
7,5	3	↓	19	↑	
7,5	0	↑	13	↓	
7,5	0	↑	13	↓	
					Jetzt wieder mit 3 gr belastet. Die Abscisse stieg wieder.
7,5	0	↑	32	↓	} Wirkung des ↑ u. ↓ Oe.-I.-Stro- mes ist wieder gleich.
7,5	0	↑	32	↓	
7,5	17,5	↓	32	↑	
7,5	17	↓	31	↑	

Aus diesem Versuche — und das Resultat war immer constant — ersieht man, dass abgesehen von minimalen und beinahe minimalen Reizungen die scheinbare relative Erregbarkeit der Muskelenden eine Function sowohl der Reizstärke als der Belastungsgrösse ist. Vergrössert man bei constanter Reizstärke die Belastung, so steigt die scheinbare relative Erregbarkeit des Beckenendes; vergrössert man bei constanter Belastungsgrösse den Reiz, so ist dasselbe der Fall. Dies letztere sieht man ganz deutlich ohne Verschiebung der secundären Rolle, wenn die Oeffnungsschläge stark genug sind, um aufsteigend höhere Zuckungen hervorzurufen als absteigend. Beachtet man die Wirkungen der Schliessungsschläge, so sieht man, dass dieselben aufsteigend wirkungslos sind; es gibt nur bei absteigendem Schliessungsschläge Zuckungen (s. Protocoll in vielen Stellen). Bei Schliessungsschlägen scheint das Tibialende, bei Oeffnungsschlägen das Beckenende das erregbarere.

Der Einfluss der Belastungsgrösse lässt kaum einen Zweifel, dass der asymmetrische Bau des Sartorius die Ursache der beschriebenen scheinbaren Erregbarkeitsumkehrung ist. Dieser asymmetrische Bau ist unzweifelhaft die Ursache der von Biedermann beschriebenen und erklärten grössern Wirksamkeit der absteigenden Durchströmung, indem er eine grössere Stromdichte am untern Ende des Muskels bedingt.

Bedenkt man, dass schwache absteigende Ströme zunächst nur am äussersten (untern) Ende des Muskels die nöthige Dichte haben, um die bis dahin reichenden Muskelfasern zu erregen, so erkennt man, dass bei solchen Strömen der Muskel zunächst nur mit einem Theil seiner Fasern in Action tritt, während die übrigen sich bei der Zuckung passiv verhalten. Der aufsteigende Strom versetzt aber, sobald er am Beckenende die zur Erregung nöthige Dichte erreicht, alle Fasern des Muskels gleichzeitig in Thätigkeit. Die in beiden Fällen ausgelösten Kräfte sind also sehr verschieden. Ob man beim normalen Sartorius diesen Unterschied direkt beweisen kann, habe ich leider nicht Gelegenheit gehabt zu untersuchen.

Obgleich man leicht sehen kann, dass der asymmetrische Bau des Sartorius die oben beschriebenen Erscheinungen bedingt, so ist es doch nicht leicht, genau anzugeben, in welcher Weise er sie bedingt. Einige Punkte darf ich hier erörtern.

Offenbar ist bei absteigender Reizung das hierbei allein in Action tretende Faserbündel gleichsam relativ überlastet. Im Ruhezustand wird die Last von allen Fasern des Muskels getragen; bei der Zuckung aber wird diese elastische Stütze allmählich weggenommen und so contrahirt sich der thätige Muskeltheil, wenn man von der Trägheit des Gewichtes etc. absieht, gegen eine continuirlich zunehmende Kraft.

Wenn man nun das Weber'sche Muskelelasticitätsschema auf die Zuckungen appliciren dürfte, würde die Sache eine sehr einfache Erklärung finden. Wir haben gesehen, dass es unter den gegebenen Versuchsbedingungen bei jeder Belastung eine gewisse Reizstärke gibt, wobei die Inductions-Schläge in beiden Richtungen Zuckungen von gleicher Höhe verursachen. Denken wir uns den Muskel bis zu dieser Höhe contrahirt und nun die Belastung vermehrt; ist die Contraction die Folge eines absteigenden Inductionsschlages, und ist dabei der Muskel nur partiell in Action, so würde

die Steigerung der Belastung eine grössere Dehnung bewirken, weil die Last zunächst nur an den activ verkürzten Faserbündeln angreift. Ist aber die Contraction die Folge eines aufsteigenden Inductionsstromes und sind also alle Fasern des Muskels activ verkürzt, so würde die Steigerung der Belastung eine geringere Dehnung zur Folge haben. Dementsprechend müsste, wenn die Steigerung der Belastung schon vor der Reizung erfolgt und der Reiz derselbe bleibt, der absteigende Strom eine kleinere Verkürzung bewirken als der aufsteigende, welcher am Beckenende die durch K.-S.-L. gesteigerte Erregbarkeit vorfindet. Es war mir nicht mehr möglich, die geschilderte Abhängigkeit der Reizerfolge von Reizstärke und Belastung am normalen Sartorius (isotonisch bzw. auch isometrisch) zu untersuchen. Die durch K.-S.-L. gesteigerte Erregbarkeit lässt sie offenbar ausgeprägter hervortreten.

Meinen Erfahrungen nach kommen Scheinwidersprüche bei Sartoriusreizversuchen ziemlich häufig vor; z. B. habe ich vielmals die Wirksamkeit von Schliessungsschlägen bei allmählicher Heranschiebung der secundären Spirale schneller als die der Oeffnungsschläge wachsen gesehen, sodass endlich Schliessungsschläge höhere Zuckungen hervorriefen als Oeffnungsschläge (s. Fig. 2). Vielleicht können einige solcher Scheinwidersprüche ihre Erklärung auf die oben erörterte Weise finden.

IV.

Aus dem Vorhergehenden ersieht man, dass 0,6procentige K.-S.-L. keineswegs die indifferente Flüssigkeit ist, für die man sie lange gehalten hat. Wir haben schon in einer Versuchsreihe ihren störenden Einfluss kennen gelernt; es wäre nun zu bedenken, ob ihre Anwendung nicht auch bei andern Untersuchungen Fehler nach sich gezogen hat.

Denkt man an die starken Actionsströme, die ein nur momentan gereizter K.-S.-Muskel geben kann, so ist in Erwägung zu ziehen, ob dieselben nicht eine wichtige Rolle in Untersuchungen über die secundär-electromotorischen Erscheinungen der Muskeln gespielt haben, insoweit bei solchen Untersuchungen K.-S.-L. zur Anwendung kam. Dies scheint mir bei der Untersuchung von Biedermann über positive kathodische Polarisation bei quergestreiften Muskeln¹⁾ der Fall gewesen zu sein. Wir wissen, dass

1) Sitzungsbericht der Wiener Akad. XCII. Bd. III. Abth. S. 142.

er die Gewohnheit hatte, bei der Präparation des Sartorius „die blossgelegten Muskeln“ „durch einen Strom $\frac{3}{4}$ percentiger NaCl-Lösung“ abzuspülen und „sämmliche bei der Präparation benützten Instrumente beständig mit derselben Lösung benetzt zu erhalten“¹⁾. Auch gewisse Einzelheiten der Resultate lassen sich unter Berücksichtigung der oben besprochenen Wirkung der K.-S.-L. vielleicht einfacher erklären.

Um diese Frage zu entscheiden, entschloss ich mich, Controlversuche anzustellen. Aeussere Umstände hinderten mich jedoch, dieselben zum Abschluss zu bringen. Doch scheinen meine bisherigen Erfahrungen für meine Auffassung zu sprechen und zu einer Revision der Biedermann'schen Versuche aufzufordern.

Ich ging daran, zu untersuchen, ob sich ein frischer Muskel in Bezug auf „positive kathodische Polarisation“ anders verhält, als ein mit K.-S.-L. behandelter. In der That gelang es mir, ein solches verschiedenes Verhalten nachzuweisen, wie aus folgenden Protokollen zu ersehen ist.

Meine Versuchsanordnung war die Biedermann'sche. Eine Bussol-electrode berührte das untere sehnige Ende des ausgespannten Sartorius, die zweite die Muskelmitte. Die Reizelektroden wurden beiderseits an die Knochen angelegt. Als Reiz (polarisirender Strom) wurde verwendet der Strom von zwei Daniell'schen Elementen, entweder mit Benützung des Rheochords und Einschaltung von 50 Widerst-Einheiten desselben oder ganz ohne Rheochord.

Die Pfeile zeigen die absteigende (atterminale) oder aufsteigende (abterminale) Richtung des Reizstromes bzw. des Nachstromes im Muskel. Die in der III. Columne verzeichneten Zahlen geben in Theilen der Fernrohrscala die nach Oeffnung des Reizstromes erfolgten Ablenkungen des Magneten aus dem magn. Meridian, in welchen der Magnet vor jeder Durchströmung mittels Compensation des Muskelstroms zurückgebracht wurde.

s. l. z. bedeutet „sehr langsames Zurückgehen“ des abgelenkten Magneten.

Falls der Magnet nach der ersten Ablenkung schnell in eine entgegengesetzte Ablenkung überging, ist seine zweite Grenzlage durch eine unter der ersten Zahl stehende zweite Zahl gegeben. War die Polarisation so nachhaltig, dass ihr Verschwinden nicht abgewartet wurde, so ist in der letzten Columne angegeben, bei welchem noch bestehenden „Polarisationsreste“ wieder compensirt wurde. Waren nur wenige Scalentheile zu kompensiren, so ist dies nicht besonders bemerkt.

1) Ebenda LXXXI. Bd. III. Abth. S. 77.

M. R. (Momentreizung) bedeutet eine so kurze Dauer des Reizstromes, wie sie durch möglichst schnelles Hin- und Herwenden der Wippe mit der Hand erreicht werden konnte.

E. S. = Eigenstrom der Boussolelectroden.

M. S. = Muskelstrom.

Rh. W. = Rheochord-Widerstand.

K.-S.-L. = 0,6 procentige Kochsalzlösung.

Nr. VI. 20. Juni 1891. *Rana tempor. curarisirt*. Sartorius frisch untersucht.

E. S.: ↓ 10 sc. M. S.: ↑ 35 sc.

Reizstrom	Schlies- sungs- dauer	Nachstrom	
2 Dan.	↓ 1"	↑ 30	Bei ↑ 54 sc. vollends compensirt. Jetzt wurde ein mit K.-S.-L. getränkter Baumwollbausch um das untere Ende des Muskels gelegt. Nach 2 Min. war der Muskelstrom atterminal = ↓ 105 sc. Nach 8 Min. wurde der Bausch weggenommen. Der Muskelstrom war jetzt = ↓ 126 sc.
"	↓ 1"	↑ 70 s. l. z.	
"	↓ 1"	↑ 32 s. l. z.	
Rh. W. 50	↓ 1"	↑ 26 s. l. z.	Der ganze Muskel mit K.-S.-L. gepinselt, wonach sich die relative Positivität des unteren Endes verminderte.
"	↓ 1"	↑ 30 l. z.	
"	↓ 1"	↑ 40 l. z.	
2 Dan.	↓ 1"	↑ 50 s. l. z.	Muskel nochmals mit K.-S.-L. gepinselt, wonach beständige Abnahme der relativen Positivität des unteren Endes.
"	↓ M. R.	↑ 14 l. z.	
2 Dan.	↓ M. R.	↑ 10,5 s. l. z.	Der Muskel nunmehr durch 135 Min. in K.-S.-L. gelegt. Darnach der Muskelstrom = ↑ 76 sc.
"	↓ 1"	↑ 50 s. l. z.	
"	↓ 1"	↑ 189 s. l. z.	
2 Dan.	↓ M. R.	↓ 55	Bei ↓ 37 sc. vollends compensirt. Bei ↑ 3 sc. vollends compensirt.
"	↓ M. R.	↓ 39	
"	↓ M. R.	↓ 3	
"	↓ 1"	↓ 75	
"	↓ 1"	↓ 1	
"	↓ 1"	↓ 20	
"	↓ M. R.	↓ 1	
"	↓ 2"	↓ 20	
"	↓ M. R.	↓ 18	
"	↓ M. R.	↓ 12	
"	↓ M. R.	↓ 1	
"	↓ M. R.	↓ 29	
"	↓ M. R.	↓ zögert	
"	↓ M. R.	↓ 60	
"	↓ 1'	↓ 85 l. z.	

Pause von 10'. Nachher Muskelstrom = ↑ 91 sc.
Bei ↓ 12 vollends compensirt.

Reizstrom	Schlies- sungs- dauer	Nachstrom	
2 Dan.	↓ M. R.	↓ 30 l. z.	Pause von 10'. Nachher Muskelstrom = ↑ 67 sc.
»	↓ 1'	↕ 1' 49	Jetzt das untere Muskelende nicht sehr fest abgequetscht. Muskelstrom = ↑ 310 Compensatorgrade.
»	↓ M. R.	↓ 59	
Rh. W. 50	↓ 1"	↕ 12 8	
»	↓ 1"	↕ 4 3	
»	↓ M. R.	↓ 4	Nochmalige Abquetschung des unteren Muskelendes. Muskelstrom = ↑ 460 Com- pensatorgrade.
»	↓ M. R.	0	
»	↓ M. R.	2	
»	↓ M. R.	66	
2 Dan.	↓ M. R.	↓ 10 s. l. z.	Der ganze Muskel mit K.-L.-S. ge- pinselt.
»	↓ 1"	↓ 38	
»	↓ 5"	↕ 1 5	
»	↑ 5"	↓ 42 s. l. z.	Pause von 20'. Nachher Muskelstrom = ↑ 504 Compensatorgrade.
»	↑ M. R.	↓ 17 s. l. z.	
»	↓ M. R.	↓ 3	

Nr. VII. 20. Juni 1891. Rana temporar. curarisirt. Erster Sartorius
frisch untersucht. = ↓ M. S. 20 sc.

Reizstrom	Schlies- sungs- dauer	Nachstrom	
2 Dan.			
Rh. W. 50	↓ 1"	↑ 22 s. l. z.	
»	↓ 1"	↑ 18 s. l. z.	
»	↑ 2"	↑ 30 s. l. z.	
»	↑ 1"	↓ 14 s. l. z.	
2 Dan.	↓ M. R.	↕ 2 20	
»	↓ M. R.	↑ 24 l. z.	
»	↓ 2"	↑ 77 s. l. z.	
»	↑ 2"	↑ 175 s. l. z.	
»	↓ M. R.	↕ 2 4	
»	↓ M. R.	↕ 3 3,5	
»	↓ M. R.	langsam bis ↑ 4 l. z.	
»	↓ 1"	↑ 60 s. l. z.	
»	↓ 3"	↑ 112 s. l. z.	

Zweiter Sartorius (dessen oberes Ende mittels Fadenumschnürung fixirt war) nach Einlegung in K.-S.-L. durch 70 Minuten.

Reizstrom	Schliessungs- dauer	Nachstrom	
2 Dan.	↓ M. R.	↓ 50	Bei ↓ 19 compensirt.
"	↓ 1"	↓ 68	Bei ↓ 5 compensirt.
"	↓ 1"	↓ 2 ↓ 25 ↓ 8 l. z.	
"	↓ M. R.	↓ 2 ↓ 48 ↓ 5 dann s.	
"	↓ M. R.	↓ 1. bis ↓ 25 langsam bis ↓ 20, dann zurück	Bei ↓ 25 compensirt.

Wie man sieht, zeigte sich, abgesehen von geringfügigen Abweichungen (Nr. VII), die positive kathodische Polarisation erst nach Behandlung der Muskeln mit K.-S.-L. Bei der relativ langen Nachdauer der Contractionen eines Kochsalz-Muskels ist zu bedenken, dass die durch Schliessung des Reizstromes bewirkte Erregung des Muskels die schnell folgende Wiederöffnung überdauern kann, sodass, auch wenn die Oeffnung nicht abermals erregend wirkt, der ganze Muskel noch in Erregung sein kann, während bereits der Nachstrom von ihm abgeleitet wird. Ist im Augenblicke der Schliessung des Boussolkreises der ganze Muskel noch im erregten Zustande, so kann leicht der Fall eintreten, dass die der Erregung entsprechende relative Negativität der Muskelsubstanz an der Muskelmitte einen grössern negativen Zuwachs bedingt als am Muskelende. Dies aber müsste einen „positiven kathodischen Polarisationsstrom“ ergeben.

Dies wäre besonders dann möglich, wenn das kathodische Muskelende zuvor abgetödtet worden ist, und daher ein starker abterminaler Muskelstrom besteht, welchenfalls dann, sofern bei Schliessung des Boussolkreises die Erregung des Gesamtmuskels noch andauert, die negative Schwankung des Muskelstromes als positive Polarisation erscheinen würde.

Allerdings pflegt unter gewöhnlichen Umständen ein durch das abgetödtete Ende des Muskels austretender Strom bei der Schliessung keine Erregung zu bewirken, aber dies gilt doch nur

dann, wenn der Strom nicht zu stark und die Erregbarkeit des Muskels nicht künstlich gesteigert ist. Am kathodischen Muskelende können sich bei Anwendung stärkerer Ströme immerhin noch innerhalb der erregbaren Substanz wirksame Austrittsstellen des Stromes finden, z. B. wenn hier noch etwas Flüssigkeit auf der Muskeloberfläche haftet, sodass der Strom nicht ausschliesslich durch todte Substanz den Muskel verlässt. Wurde insbesondere die Abtötung des kathodischen Muskelendes durch concentrirte NaCl, oder Na_2CO_3 -Lösung bewirkt, so könnten diese Stellen hochgradig erregbar sein. Diesenfalls wird also das „polare Versagen“ mehr oder minder unvollständig sein. Dazu kommt, dass auch die an der Muskelmitte anliegende Boussolelectrode während der Schliessung des Reizstromes das Ausbiegen eines kurzen Stromzweiges in die Spitze der Electrode und so die Bildung einer kathodischen Stelle gestattet, was bei starken Strömen (2 Daniell) und gesteigerter Erregbarkeit ins Gewicht fallen kann.

Es ist also nöthig, durch Inspektion des Muskels während des Versuches seine Contractionen, die sich ja auch am ausgespannten Muskel mehr oder weniger verrathen, möglichst sorgfältig zu controliren. In der That habe ich Kochsalzmuskeln, während sie einen positiven kathodischen Polarisationsstrom gaben, in nachdauernder Contraction gesehen.

Analoge Betrachtungen lassen sich bezüglich der von Biedermann beobachteten negativen anodischen Polarisation anstellen.

Auch die Thatsache, dass längere Schliessungsdauer die positive kathodische Polarisation hindert, liesse sich aus unserem Gesichtspunkte leicht erklären, weil unter solchen Umständen eine verlängerte Schliessungserregung des Gesamtmuskels Zeit hat, vollständig abzuklingen, ehe der Boussolkreis geschlossen wird. Auch wäre leicht verständlich, warum die Behandlung des unversehrten Muskelendes mit schwacher Na_2CO_3 -Lösung die positive kathodische Polarisation nicht fördert. Denn hierdurch wird nur die Nachdauer der bei der Schliessung oder Oeffnung bewirkten Erregung jener Muskelpartie und also, wie Biedermann selbst angibt, die negative kathodische und die positive anodische Polarisation an diesem Muskelende gefördert.

Andererseits muss ich betonen, dass ich ebenfalls (s. Protokoll Nr. VII) positive kathodische Polarisation am frischen Muskel gesehen habe, und dasselbe mitunter auch bei Muskeln, die mit

CaSO₄-haltiger K.-S.-L. längere Zeit behandelt worden waren. Die Nachströme waren jedoch im Vergleich mit denen bei Kochsalzmuskeln nur klein.

Jedenfalls müssten, um eindeutige Ergebnisse zu erhalten, die mechanischen Reizerfolge gleichzeitig möglichst genau controlirt werden, wobei vielleicht auch das Fick'sche isometrische Verfahren Dienste leisten könnte.

Die vorübergehende Erörterung bezieht sich auf Biedermann's Nachweis der positiv kathodischen Polarisation bei normalen Muskeln. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die angestellten Erwägungen in viel höherem Grade bei seinen Versuchen mit partiell veratrinisirten Muskeln in Betracht kommen. Fand es ja Biedermann zweckmässig, die Polarisationsversuche nicht unmittelbar nach dem Entfernen des Muskels aus der Gifflösung, sondern erst nach längerem Verweilen ($\frac{1}{4}$ Stunde und mehr) des letzteren in physiologischer Kochsalzlösung vorzunehmen. Dieses Verfahren ermöglichte nicht nur eine Einwirkung der K.-S.-L., sondern vielleicht auch eine durch Diffusion des Giftes hervorgerufene schwache Veratrinisirung des ganzen Muskels.

Die von Biedermann am partiell contrahirten Froschmuskel auf galvanometrischem Wege beigebrachten Beweise für das Bestehen einer bei Oeffnung des Reizstromes an der Kathode eintretenden Hemmung des bestehenden Erregungszustandes, und für die gleichzeitige Entwicklung relativer Positivität des kathodischen Muskelendes sind also nicht einwurfsfrei, wenngleich die auf graphischen Wege von ihm gewonnenen Ergebnisse, sowie seine Erfahrungen am tonisch contrahirten Muschelmuskel dafür sprechen.

Erläuterung zu der Tafel.

Sämmtliche Curven stammen von Sartoriusmuskeln, die mit Ausnahme von Fig. 2 curarisirt waren. Als primäre Stromquelle dienten bei Fig. 1 und 2 ein Daniell'sches Element, bei den anderen zwei. Im primären Kreise fand sich ein Quecksilberschlüssel, im secundären Kreise eine Pohl'sche Wippe und ein Vorreiberschlüssel. Die Schläge wurden von den Knochenstümpfen aus durch den ganzen Muskel geschickt. Die wahre Spannung des Muskels betrug immer nur 0,35 der Belastung. Der Zeitmerker merkt Sekunden. Bei sämmtlichen Figuren mit Ausnahme von Fig. 1 und 2 ist der Moment der Schliessung und Oeffnung des primären Stromes mittels eines Electromagnets verzeichnet.

Die Pfeile bedeuten die Stromesrichtung im Muskel; die Kreuze Wendung der Wippe; die Zahlen den Rollenabstand in Centimetern.

Fig. 1 und 2 sind auf $\frac{2}{3}$ ihrer wirklichen Grösse durch Photographie reducirt.

Fig. 1 Belastung von 20 gr. Der Muskel nach Eintauchung durch eine halbe Stunde in K.-S.-L. wurde bei allmählicher Verminderung des Rollenabstandes gereizt. Die abgebildeten Curven entstanden bei 0,3 cm Rollenabstand. Man sieht die Wirkung eines aufsteigenden Schliessungsschlages und eines absteigenden Oeffnungsschlages.

Fig. 2. Belastung von 7 gr. Der frische, nicht curarisirte Muskel war sehr viel bei allen Reizstärken gereizt worden, und gab nur einfache Zuckungen. Nach Eintauchung für eine halbe Stunde in K.-S.-L. wurde er wieder wie bei Fig. 1 gereizt; die abgebildeten Curven entstanden bei 0 Rollenabstand. Die Stromesrichtung war leider nicht angemerkt.

Fig. 3. Frischer bei 0 Rollenabstand gereizter Muskel. Es zeigt sich ein kleiner Verkürzungsrückstand, besonders bei Oeffnungsschlägen.

Fig. 4. Derselbe Muskel wurde in K.-S.-L. durch 10 Min. gelegt, und nachher bei allen Reizstärken vielmals gereizt, wobei er die Kochsalzwirkung ganz gut zeigte. Dann wurde er noch einmal für 17 Min. in K.-S.-L. gelegt. Jetzt schrieb er die abgebildeten Curven. Die Contraction ist sehr verlängert, und trat bei diesen Rollenabständen nur bei absteigenden Oeffnungsschlägen ein.

Fig. 5. Jetzt wurde derselbe Muskel sofort in CaSO_4 -hältige K.-S.-L. durch 5 Min. gelegt und dann bei allmählicher Verminderung des Rollenabstandes von 8,5 cm bis 0 gereizt. Die abgebildeten, bei einem Rollenabstande von 3,5 cm geschriebenen Curven sind besonders typisch. Es zeigt sich ein kleiner Verkürzungsrückstand.

Fig. 6. Nachdem der Muskel während einer Stunde in der feuchten Kammer geblieben war, wurde sein normales Verhalten bewiesen, und er sodann in chemisch reine K.-S.-L. durch 20 Min. gelegt. Nachher wurde der Muskel bei allmählicher Verminderung des Rollenabstandes gereizt. Man sieht den Einfluss der Stromstärke, Stromesrichtung, und den Unterschied in der Wirkung von Schliessungs- und Oeffnungsschlägen.

Fig. 7. Die abgebildete Curve wurde von demselben Muskel gleich nach denjenigen der Fig. 7 geschrieben. Die Trommelgeschwindigkeit ist jetzt viel grösser, um den zeitlichen Verlauf der Contraction zu zeigen.

Fig. 8. Der Muskel blieb nach einigen Reizungen während 2 Stunden in K.-S.-L. Nachher wurde er bei Rollenabständen von 2,5, 7 und 2,5 cm gereizt, und sodann die abgebildeten Curven bei 0-Rollenabstand und ohne Umkehrung der Stromesrichtung geschrieben, um die Verminderung der Höhe der Contractionen bei fortgesetzter Reizung zu zeigen. Nachher wurde der Muskel in K.-S.-L. durch 25 Min. eingetaucht, und sodann unter denselben Bedingungen abermals gereizt:

Fig. 9. Die Contractionshöhe ist jetzt vergrössert. Man sieht die erholende Wirkung der Kochsalzlösung.