Die Zeiten, für welche ich die einzelnen Punkte bestimmte, wurden meist so gewählt, dass ich zur Construction der Höhen die Parallelen benutzen konnte, die den geradlinigen Stücken Da_1 , a_1b_1 , b_1c_1 , . . . der Curve DC (Fig. 1) entsprachen. Man sieht, die gefundenen Punkte liegen nahezu in der Geraden AZ. Die geringen Abweichungen, die insbesondere bei a_3 , a_4 , a_5 stattfinden¹⁾, mögen wohl von der fehlerhaften Ermittlung der Curve AD herrühren. Dieselbe hat nämlich bei diesen Punkten eine leichte Impression, die dem wahren Verhalten schwerlich entsprechen dürfte.

Leider ist es aus leicht begreiflichen Gründen eine Unmöglichkeit, die Linie AZ für die ganze Dauer von AD zu construiren, doch reicht die ermittelte Länge wohl hin, das Gesetz des Ansteigens eines Lichteindruckes ohne Mitwirkung der restituirenden Kräfte zu illustriren.

Zur Kenntniss des Elektrotonus.

Von

W. Goldzieher, stud. med.

Mit 3 Holzschnitten.

Aus dem physiologischen Laboratorium des Hrn. Geh. Rath H. Helmholtz.

In seiner in der vorletzten Nummer der »Zeitschrift für rationelle Medizin« erschienenen 2. Abhandlung über das Wesen und die Bedeutung der elektromotorischen Eigenschaften des Muskels und Nerven bespricht Dr. Grünhagen die Fähigkeit des von ihm aufgestellten Cylinderschemas, sämtliche Vorgänge und Veränderungen im elektromotorischen Verhalten dieser Gewebe zu erklären. Das Cylinderschema setze voraus, dass der Nerv in seinem Baue und seinem chemischen Verhalten noch ganz intakt sei, denn jede Veränderung der Textur ziehe Intensitätsschwankungen des Nerven- und Muskelstromes nach sich, und jede Intensitätsschwankung des Stromes sei folglich wiederum lediglich als Zeichen solcher Aenderungen in diesen Geweben aufzufassen. —

Die elektrotonischen Schwankungen des Nervenstromes, nach der herrschenden Ansicht auf vitalen Vorgängen beruhend, erklärt

1) In den Figuren sind diese Abweichungen übersehen worden. Sie betragen bei der Construction nirgends mehr als $\frac{1}{2}$ Mm.

Grünhagen für Stromschleifen. Grünhagen geht dabei von folgenden Betrachtungen aus. —

Hätten wir einen geschlossenen Drahtleiter, wo durch das Stück *a b* ein konstanter Strom kreist, und würde bei *c e* zu einem Multiplikator abgeleitet werden, so wird eine Ablenkung im Sinne des Stromes *a b* eintreten. Fülle ich den Drahtkreis mit einem schlechten Leiter aus, so wird das Verhältniss natürlich sich nicht ändern. Es wird aber die Nadel in Ruhe bleiben, wenn ich die Ausfüllungsmasse aus einem im Vergleich zum Drahtleiter sehr guten Leiter herstelle. Man sieht also, dass die Summe der Electricität, welche in *c e* durch den Multiplikator nachgewiesen werden kann, abhängig ist von der Grösse der Differenz des Leitungsvermögens des Drahtleiters und der Ausfüllungsmasse. — Aehnlich nun sei es mit der Nervenröhre beschaffen. Die untere Hälfte des Drahtleiters stelle das gut leitende Neurolemm vor, die Ausfüllungsmasse das Nervenmark, welches nach diesem Schema das Amt eines partiellen Isolators versieht, die obere Hälfte des Drahtes repräsentire den Axencylinder. Die Verbindungsstellen der beiden Drahthälften des Schemas wird in der Nervenröhre durch die zertrümmerte Nervenmasse des Querschnittes vorgestellt. — Je grösser nun das Leitungsvermögen des Neurilemms ist im Vergleich zu dem des Nervenmarks, desto grösser wird der an irgend einer Stelle abgeleitete Stromzweig sein, welche die herrschende Physiologenschule Elektrotonus nennt. — Wird ein getränkter Seidenfaden (überhaupt ein indifferenter Leiter) zwischen der abgeleiteten und polarisirten Strecke an den Nerven gelegt, wird der abgeleitete Stromarm grösser, weil die Leitungsfähigkeit des Neurilemms durch die Anlegung eines feuchten Leiters an dasselbe im Vergleich zum Mark erhöht worden ist; wird der Nerv zwischen beiden Strecken unterbunden oder durchgeschnitten, wird auch der Stromzweig gleich 0, weil durch die Zertrümmerung der Nervenmasse an der unterbundenen Stelle die Differenz der Leitungswiderstände auch 0 geworden ist. —

So weit Grünhagens Ansicht über das Zustandekommen der »Elektrotonus« genannten Stromschleife. —

Blicken wir uns nun das obige Schema an, welches Grünhagen zum näheren Verständnisse seiner Theorie entworfen, so sieht man auf den ersten Blick, dass dasselbe an einem unheilbaren Ge-

brechen leidet. Denkt man sich nämlich die Strecke $c e$ auf die gegenüberliegende Seite, nach $c' e'$ verlegt, so wird jedem gleich klar, dass in diesem Falle der abgeleitete Stromzweig die entgegengesetzte Richtung haben müsse, als in $a b$. Uebertragen wir uns dieses Grünhagensche Schema auf den Nerven, so können wir uns die verschieden leiten sollenden Massen durch diese Zeichnung

versinnlichen. Die schraffirten Stellen repräsentiren das Mark, die weiss gebliebenen das Neurilemm und den Axencylinder. Es sind also gleichsam zwei Grünhagensche Schemas auf einander gelegt. Strömt nun im Neurilemm die Elektrizität in der einen Richtung ab, so wird sie sowohl im Axencylinder, als im gegenüberliegenden Theil des Neurilemm's die entgegengesetzte Richtung haben. Wenn ich nun einen Nerven an einer Seite polarisire, und gegenüber ableite, so müsste nach Grünhagen der elektrotonische Strom die entgegengesetzte Richtung haben. Dieses Schema kann also gar nicht Bezug haben auf die Nervenröhre, wo ich beliebig, von welcher Seite immer, ohne dass dies irgend welchen Einfluss auf die Richtung des abgeleiteten Stromes hervorbringt, und Grünhagen wird daher auch gut thun, sein Schema gründlich zu modificiren.

Ich habe es mir nun zur Aufgabe gestellt, noch von einer anderen Seite die Unhaltbarkeit der oben referirten Ansichten über die Natur des Elektrotonus nachzuweisen. Gehen wir wieder von dem obigen Drahtkreise aus. Wenn durch $a b$ ein constanter Strom geschickt wird, so wird ein um so grösserer Stromzweig durch $c e$ abgeleitet werden können, je mehr ich, wenn sonst alles gleich bleibt, die Peripherie des geschlossenen Leiterkreises verengere. Es wird also, unter der Voraussetzung der Richtigkeit der Grünhagenschen Ansicht, der elektrotonische Zuwachs grösser werden müssen, wenn ich den Nerven um einen Theil seiner Länge verkürze; denn ist der Elektrotonus nichts als eine durch den Multiplikator wahrgenommene Stromschleife, so wird der Ausschlag grösser werden müssen, wenn ich einen Theil des Nerven abschneide. —

Es ergab aber der überwiegend grösste Theil der in dieser Richtung angestellten Versuche, dass diese nach Grünhagen zu erhoffende Vergrösserung nicht nur nicht eintrat, sondern dass sogar eine Verminderung des elektrotonischen Zuwachses nach dem Abschneiden beobachtet wurde.

Der Versuch wurde zuerst in der Weise angestellt, dass ein möglichst langer Nerv, der am centralen Ende an einem Faden abgebunden hing auf die unpolarisirbaren Elektroden gerückt wurde, welche einerseits zum Spiegelgalvanometer und der Compensationsvorrichtung, andererseits zur constanten Kette führten, die aus 2 Daniells zusammengesetzt war, und deren Stromstärke durch ein Rheochord beliebig abgestuft werden konnte. In diesen Versuchen wurde, um den Nerven nicht zu ermüden, nur mit geringen Stromstärken gearbeitet.

a b Nerv
p p polar. Elektrod.
m m ableit. „
s Schnittstelle.

Der Nerv lag so auf den Elektroden, dass ein Theil noch hinter den Elektroden des constanten Stromes frei war, und mittelst des Fadens ausgespannt werden konnte. Auf die letzte Thonelektrode legte ich seitlich ein Deckgläschen, so dass, wenn später im Versuche das freihängende Nervenstück abgeschnitten wurde, das von der Elektrode noch herabhängende Stümpfchen auf das Glas fiel, und so an der Lage der aufliegenden Punkte der Nervenoberfläche nichts geändert wurde.

Ich verfuhr nun so:

Zuerst schloss ich den Nervenstrom und compensirte den erhaltenen Ausschlag. Hierauf schloss ich den durch eine geringe Rheochordlänge abgestuften constanten Strom und compensirte den entstandenen elektrotonischen Zuwachs. Dann öffnete ich beide Kreise, und wenn früher genau compensirt war, musste der Spiegel jetzt vollständig in Ruhe bleiben. War dies der Fall, so schnitt ich das frei hängende Nervenstück ab. Nun mass ich wiederum den Nervenstrom, der nach dem Abschneiden sich natürlich geändert hatte, hierauf den elektrotonischen Zuwachs. Es ist selbstverständlich, dass die Lage der aufliegenden Punkte sich nach dem Abschneiden nicht ändern durfte. In dieser Serie von Versuchen bekam ich nun in allen Fällen eine Verkleinerung des Elektrotonus, bis auf einen, wo er sich nicht änderte. Dieses Resultat, welches mit den von Grünhagen proklamirten Anschauungen gar nicht in Einklang gebracht werden kann, ist wieder ein Beweis für die

Richtigkeit der Ansicht der herrschenden Schule über die Natur des Elektrotonus. — Ich lasse jetzt eine Reihe dieser Versuche folgen.

Die erste Rubrik dieser Tabelle enthält die Grösse des Nervenstromes, die 2. den Stand des Schiebers am Compensatordrahte, bei welchem der elektronische Ausschlag vollständig compensirt war, die 3. die Differenz dieser Zahlen als Mass für die Grösse des elektroton. Zuwachses.

	Nervenstr.	Stand d. Sch.	Diff.	
1. Vers.	+ 8	0	— 8	
	0	n. d. Abschn. — 8	— 8	
2. Vers.	+ 73·5	+ 1	— 72·5	
	+ 76·5	n. d. Abschn. + 7	— 69·5	
3. Vers.	+ 57	+ 112	+ 55	Rheoch. Länge 1, Nerv 43 mm lang, abgeschnittene Strecke 15mm lang.
	+ 53	n. d. Abschn. + 100	+ 47	
4. Vers.	+ 47	+ 70	+ 23	Rheochordlänge 1, Nerv 52 mm, abgeschn. wurde 20mm, die abgeleitete Strecke war 9mm, die polarisirte 12mm.
	+ 45·5	n. d. Abschn. + 62	+ 16·5	
7. Vers.	+ 39·5	+ 4·5	— 35·0	Rh. Länge 1, Nerv 44mm lang, abgeschnitt. wurde 15·5mm, die abgeleitete Strecke betrug 10mm, d. polarisirte 11·5mm.
	+ 27·5	n. d. Abschn. 0	— 27·5	

In der 2. Serie dieser Versuche, die so angestellt wurden, dass das abzuschneidende Stück nicht an der polarisirten Strecke, sondern hinter der abgeleiteten Strecke lag, bekam ich diese Verminderung nur in 5 von den 14 Versuchen, die ich anstellte, in einem war ebenfalls Gleichheit der Grösse des Elektrotonus vor und nach dem Abschneiden vorhanden. Doch beweisen die 8 Fälle, wo die Vermehrung eintrat, durchaus nichts für die Grünhagensche Ansicht, da die Vermehrung nach ihr eine weit bedeutendere hätte sein müssen, umsomehr als ich immer ein verhältnissmässig langes Nervenstück abschnitt. Eine Erklärung dieses sich widersprechenden Resultates in dieser 2. Versuchsserie kann ich jetzt noch nicht geben. Ungemein beweisend scheint mir folgender unter den Augen Herrn Prof. Bernsteins angestellter Versuch zu sein:

Einem kleinen Kaninchen wurden $\frac{3}{4}$ Gramm Chloral unter die Rückenhaut injicirt, und als vollständige Narkose eingetreten war, wurde es aufgebunden und der nervus frei präparirt, central unter-

bunden und vor der Ligatur abgeschnitten. Mittelst des Fadens wurde der Nerv dann in die Höhe gehoben, befestigt, dass der Nerv in dieser lothrechten Stellung blieb. Nun konnten bequem die 2 Elektrodenpaare angelegt werden. Ihre Reihenfolge war die wie in der 2. Serie (siehe obige Figur). Nun wurde wie in den früheren Versuchen verfahren. Zuerst wurde der Nervenstrom gemessen, dann der elektroton. Zuwachs kompensirt, hierauf beide Kreise geöffnet. Dann wurde der Nerv unterhalb der Elektroden durchgeschnitten und wiederum der Nervenstrom und der Electrotonus gemessen. Hier trat nun wiederum die Verminderung des Electrotonus nach dem Abschneiden ein. Also in diesem Falle, wo der grösste Theil des Nerven mit seinen Muskelzweigen später dem Einflusse der Kette entzogen, oder um mit dem Grünhage'schen Schema zu sprechen, der Leiterkreis um den grössten Theil seiner Peripherie verengt worden, trat ebenfalls nicht nur keine Vermehrung, sondern sogar Verminderung ein.

Ich lasse nun einige Versuche dieser Reihe folgen. pp. bedeutet die Länge des polar., mm die der abgeleiteten und s die der abgeschnittenen Strecke.

	Nerv.	Stand d. Sch.	Differ.	
3. Vers.	0	— 128	— 128	s = 15, pp = 15·5 mm = 16·5 Rheoch. 9·4
	+ 38	n. d. Abschn. — 39	— 77	
5. Vers.	+ 7	+ 27	+ 20	s = 12, pp 15·5. mm = 24 Rh. 8·5
	+ 55	n. d. Abschn. + 61·5	+ 6·5	
7. Vers.	0	+ 51	+ 51	Rheoch. 3, s = 12, pp = 10·5 mm = 11
	+ 42·5	n. d. Abschn. + 99	+ 56·5	
10. Vers.	+ 2	+ 50·5	+ 48·5	s = 24
	+ 59	n. d. Abschn. + 128	+ 69	
11. Vers.	+ 31	+ 58	+ 27	
	+ 39·5	n. d. Abschn. + 55	+ 16·5	
12. Vers.	0	— 114	— 114	Rh. 1·1, s = 26, pp = 8, mm = 12·5.
	49	n. d. Abschn. — 65·5	— 114·5	

	Nerv.	Stand d. Sch.	Differ.	
13. Vers.	+ 19·5	+ 39·5 n. d. Abschn.	+ 15	s = 18, pp = 10, mm = 8.
	+ 55	+ 68·5	+ 13	
19. Vers.	+ 6·5	+ 44·5 n. d. Abschn.	+ 38	Rh. 1·5, s = 18, mm = 15. pp = 6.
	+ 6·9	+ 114	+ 45	
14. Vers.	An demselben Nerven wurde vor und nach dem Abschneiden noch die negative Phase beobachtet.			Rh. 1·5 s = 18, mm = 15 pp = 6.
	+ 11	0	— 11	
	+ 73·5	+ 58	— 15·5	

Der oben besprochene Versuch am Kaninchen gab folgende Zahlen. Hier wurde ebenfalls nacheinander An- und Katelektrotonus beobachtet:

N.-Strom.	Stand d. Sch.	Differenz.	
+ 16·5	+ 81	64·5	Rheoch. Länge = 2.
+ 8	— 37	— 45	
	n. d. Abschn.		
+ 20	+ 62	+ 42	
+ 19	— 10	— 29	

Auf den weiteren Punkt, den Dr. Grünhagen als Beweis seiner Behauptungen angeführt hat, nämlich die Anlegung eines indifferenten, feuchten Leiters an den Nerven, welche den elektrotischen Ausschlag vergrössern soll, brauche ich nach der in der letzten Nummer des Du Bois-Reichert'schen Archives erschienenen, gediegenen Arbeit von H. Roerber nicht zu antworten. Ich erwähne nur noch, dass ich die Vermehrung des Ausschlages auch beobachtet habe, wenn ich den indifferenten Leiter nicht zwischen beiden Strecken, sondern seitlich der polarisirten Strecken angelegt habe.

Zum Schlusse fühle ich mich gedrängt, den Hrn. Professoren Ghmr. Helmholtz und Dr. Bernstein meinen innigsten Dank für ihre Hilfe bei diesen Versuchen auszudrücken.

Heidelberg, am 3. März 1870.