Ueber das electrische Verhalten des thätigen Herzens.

Von

Th. W. Engelmann.

Hierzu Tafel II.

Im Frühjahr 1873 veranlasste ich die Herren Dr. Nuel aus Luxemburg und Dr. Pekelharing aus Leiden, die elektromotorischen Wirkungen des Herzmuskels einer näheren Untersuchung zu unterwerfen. Die bis zum Juni desselben Jahres erhaltenen Resultate wurden von Dr. Nuel¹⁾ der belgischen, von mir²⁾ selbst der k. Akademie der Wissenschaften zu Amsterdam kurz mitgetheilt. Nach der Abreise beider Herren setzte ich die Untersuchung allein fort. Nachdem zunächst die am unverletzten und am verletzten ruhenden Kamtermuskel wahrzunehmenden Erscheinungen festgestellt waren, worüber das Nähere bereits von mir veröffentlicht ward³⁾, untersuchte ich mittelst des inzwischen eingetroffenen Bernstein'schen Differentialrheotoms im Februar, März und April 1874 die elektrischen Vorgänge, welche die Zusammenziehung des Herzens begleiten. Von den hierauf bezüglichen Ergebnissen habe ich bis vor Kurzem nur Einzelnes und dies nur beiläufig mitgetheilt. Von der versprochenen ausführlichen Publikation hielten mich theils andere durch denselben Gegenstand veranlasste Arbeiten, theils auch der Wunsch zurück, einzelne Fragen noch genauer als mir damals gelungen war, zu beantworten. Nun jedoch unlängst von anderer Seite⁴⁾ Mittheilungen über denselben

1) Nuel, Note sur les phénomènes électriques du coeur. *Bullet. de l'Acad. royale de Belgique* 2. Série. t. XXXVI. 1873. S. 335 etc.

2) Over de electromotorische verschynselen der spierzelfstandigheid van het hart. *Proces verbaal von de gew. vergad. der Afdeel. Natuurkunde van de k. Akad. v. Wetenschapp. te Amsterdam*. 28. Juny 1873.

3) Onderzoek. gedaan in het physiolog. laborat. der Utrechtsche Hoogeschool. *Derde Reeks* III. 1875. S. 101 ff.

4) Richard Marchand, Beiträge zur Kenntniss der Reizwelle und Contraktionswelle des Herzmuskels. *Dies Archiv*. Bd. 15. 1877. S. 511 ff.

Gegenstand erfolgt sind und ich namentlich keine Aussicht sehe, die vor vier Jahren abgebrochene Untersuchung in nächster Zeit wieder aufzunehmen, ziehe ich die ausführliche Mittheilung der damals erhaltenen, übrigens ziemlich befriedigenden Resultate weiterem Stillschweigen vor. Eine kurze Zusammenstellung dieser Resultate ward von mir bereits in der letzten Novembersitzung der Akademie der Wissenschaften zu Amsterdam gegeben ¹⁾.

Einrichtung der Versuche.

Zu den Versuchen dienten aus naheliegenden Gründen fast nur sehr grosse Frösche, meist *R. esculenta*. Das Herz wurde in üblicher Weise, mit ängstlichster Vermeidung jeder Berührung der Kammer, herauspräparirt und auf ein Kork- oder Glastäfelchen in der feuchten Kammer gelagert. Stets wurde vom Ventrikel abgeleitet, der in den meisten Fällen direkt, in einigen indirekt von den Vorhöfen aus, erregt ward. Im ersten Falle ward die Kammer, um Störung durch spontane Pulsationen zu verhüten, einen bis zwei Millimeter weit unter der Vorhofsgrenze quer abgeschnitten. Die Reizelektroden bestanden in zwei kaum 1 mm von einander abstehenden und bis dicht an die freien Enden mit isolirendem Lack überzogenen Platinaspitzen, welche der Muskelsubstanz nur angelegt oder auch in dieselbe eingestochen wurden. Als Reiz diente ein Oeffnungsinduktionsschlag oder ein mittelst des Differentialrheotoms ausgelöster Inductionsstoss, welcher wesentlich als Oeffnungsschlag wirkte. Von besonderen Fällen abgesehen, in denen die Reizstärke absichtlich variirt ward, wurden nur möglichst schwache unfehlbare Reize verwendet. Dies ist aus mehreren Gründen geboten. Einmal der Stromschleifen wegen, die besonders bei Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizwelle stören können. Dann wegen der starken und lange anhaltenden Nachwirkung, welche zu kräftige Ströme hinterlassen. Eben hinreichende Reize rufen eine schnell und spurlos vorübergehende elektromotorische Thätigkeit hervor. Uebermässige elektrische Reize aber können die direkt getroffenen Stellen lange andauernd negativ wirksam hinterlassen, ähnlich wie ein mechanischer oder thermischer Querschnitt. In der That ist auch nichts leichter, als die

1) Proces verbaal van de gewone vergad. d. Afdeel. Natuurkunde van de k. Akad. v. Wetensch. te Amsterdam. 24. November 1877.

Herzmuskelzellen durch Induktionsschläge wirklich zu tödten, also gleichsam einen elektrischen Querschnitt anzulegen. Die getödtete Stelle sieht weisslich aus, ist zusammengezogen und starr und wirkt gegen unversehrte Stellen der Kammeroberfläche mit einer Kraft, die der frischer künstlicher Querschnitte von gleichem Umfang nichts nachgiebt, denn sie kann mehr als 0,03 D betragen. Auch sinkt die Kraft dann in derselben Weise und mit derselben Geschwindigkeit wie die eines mechanisch oder thermisch hergestellten Querschnittes¹⁾. Schon ein einziger sehr kräftiger Induktionsschlag eines gewöhnlichen von einem oder zwei Daniells gespeisten Schlittenapparates kann eine örtliche Nachwirkung von mehreren Minuten hinterlassen. Es ergibt sich hiéaus die weitere Vorschrift, da wo der specielle Zweck des Versuches dies gestattet, die Reizstelle soweit wie möglich von den ableitenden Elektroden zu verlegen.

Die Ableitung von der Kammeroberfläche geschah mittelst etwas modificirter Thonelektroden. Im vorliegenden Falle waren, der Bewegungen des Präparates wegen, in noch höherem Maasse als bei den Versuchen am ruhenden Herzen störende Wirkungen des Druckes der Elektroden gegen die Muskelsubstanz zu fürchten. Die Spitzen waren deshalb aus sehr weichem Thon geknetet und gewöhnlich noch mit einem in halbprocentiger Kochsalzlösung angefeuchteten Baumwollenfaden versehen, der jeder Bewegung der abgeleiteten Stellen so gut wie keinen Widerstand entgegensetzte²⁾. Weiter war darauf zu achten, dass die Ableitungsstellen bei der Contraktion sich nicht verschoben. Diess kann namentlich bei frisch hergestellten Kammerpräparaten zu Störungen Anlass geben, da bei diesen die Wundfläche noch stark negativ wirkt, und natürlich um so leichter je näher an der Grenze von natürlicher und künstlicher Oberfläche eine oder beide Ableitungsstellen liegen. Man vermeidet diese Gefahr unschwer durch geeignete Anlagerung der Spitzen in hinreichender Entfernung von der

1) Vergleichende Untersuchungen zur Lehre von der Muskel- und Nerven elektricität. Dies Archiv. 15. Bd. 1877. S. 116.

2) Später, in den in Bd. 15 dieses Archives S. 116 ff. beschriebenen Versuchen, ersetzte ich den Baumwollenfaden durch ein Stück Mesenterium, das noch indifferent ist. Neuerdings nehme ich die unter halbprocentiger Salzlösung zur Entfernung der Luft ausgedrückten Lungen des Frosches.

Wundfläche oder dadurch, dass man, wo der Versuchszweck dies gestattet, wartet bis der künstliche Querschnitt seine Wirksamkeit nahezu eingebüsst hat. Hierzu ist in der Regel eine halbe Stunde völlig genügend ¹⁾. Ich leitete in der grossen Mehrzahl der Versuche von zwei in der Ruhe unwirksamen Stellen der äusseren Kammeroberfläche ab. Zur Controle wurde das Herz vor jeder Versuchsreihe mehrmals nacheinander gereizt, wobei jedesmal in der Pause der indifferente Zustand sich wiederherstellen musste, was denn auch in der Regel bei Beobachtung der eben erwähnten Vorsichtsmassregeln der Fall war. Ich versäumte jedoch nie, auch weiterhin im Lauf der Versuchsreihen das Verhalten der abgeleiteten Stellen in der Pause zwischen zwei Reizungen von Zeit zu Zeit zu prüfen. Etwa vorhandene Ungleichartigkeiten wurden mittelst des runden Compensators neutralisirt. Ich bemerke jedoch, dass dies im Allgemeinen nur in langen Zwischenräumen ($\frac{1}{2}$ Stunde und mehr) zu geschehen brauchte. In nicht wenigen Fällen blieb während der ganzen oft mehrstündigen Dauer einer Versuchsreihe der unwirksame Zustand der Ableitungsstellen zwischen den Reizen bestehen oder waren doch die allmählich auftretenden Unterschiede so geringfügig, dass sie bei der kurzen Ableitungszeit, wie sie die Rheotomversuche mit sich bringen, am Galvanometer sich nicht verrathen konnten.

Das Differentialrheotom hatte die Konstruktion des Bernstein'schen. Nur benutzte ich, wie auch du Bois-Reymond empfiehlt ²⁾, statt der verkupferten Stahlspitzen amalgamirte Kupferbleche und liess ferner die den Reiz auslösende Spitze nicht einen Platina- oder Kupferdraht sondern ein etwa 2 mm grosses Quecksilberkügelchen streifen, welches auf schwach ausgehöhlter kupferner Unterlage ruhte. Man vermeidet so die für die Constanz der Bewegung keineswegs gleichgültigen Stösse und erhält wohl auch gleichartigere Reize ³⁾. Der Apparat ward durch das Uhrwerk

1) Dies Archiv. 15. Bd. S. 120.

2) E. du Bois-Reymond über die negative Schwankung des Muskelstromes bei der Zusammenziehung. Erste Abtheilung. Reichert und du Bois Archiv 1873. S. 581 ff.

3) Auch Hermann empfiehlt, wie ich soeben sehe, in seiner neuesten Arbeit über Aktionsströme (dies Archiv. Bd. XVI. 1878. S. 411) an Stelle des Drahtes eine Quecksilberkuppe.

eines Kymographions in Umdrehung versetzt, die Umlaufszeit stets auf genau 3 oder 4 Sekunden regulirt (Controle durch gleichzeitige Registrirung von Stimmgabelschwingungen). Der Helmholtz'sche elektromagnetische Rotationsapparat war für vorliegenden Zweck nicht zu benutzen, da er bei so langsamer Bewegung wie sie im vorliegenden Fall gefordert wurde, nicht gleichförmig sondern mit periodisch veränderlicher Geschwindigkeit rotirte und dabei dann auch lästige Fernwirkungen auf die Bussole ausübte.

Unmittelbar nach Auslösung des Reizes wurde mittelst eines Schlüssels der Kreis des erregenden Stromes unterbrochen und ebenso nach erfolgter Ableitung des Herzstromes der Galvanometer sofort ausgeschaltet. Es kam also jedesmal nur die Wirkung eines einzelnen Reizes zur Beobachtung. Diese liess sich bei einer Ableitungszeit von 0,03 bis 0,08 Sec. in ihrem Verlauf hinreichend genau verfolgen, ohne dass die Empfindlichkeit des Galvanometers bis zu störender Veränderlichkeit des Nullpunkts gesteigert zu werden brauchte. Zwischen je zwei Reizen einer Versuchsreihe lag ein constantes Intervall der Ruhe von 20 oder 30 Sekunden Dauer.

In Betreff sonstiger Einzelheiten der Rheotomversuche darf ich wohl auf die Abhandlungen von Bernstein¹⁾ und du Bois-Reymond²⁾ verweisen.

Ergebnisse.

1. Allgemeines Verhalten der Herzoberfläche bei direkter und indirekter Reizung.

Bei Ableitung der äusseren Kammeroberfläche von zwei in der Ruhe unwirksamen, ungleich weit vom Ort der Reizung entfernten Stellen, äusserte sich die Erregung am Galvanometer in 47 von 78 vollständig durchgeführten Rheotomversuchen, in denen der Ventrikel direkt gereizt ward, in einer doppelsinnigen Schwankung des Spiegels: die dem Reizort näher gelegene Stelle ward zunächst negativ, danach positiv gegen die entferntere. In den übrigen 31 Versuchen fehlte die zweite, positive Wirkung und stellte sich entweder der anfängliche indifferente Zustand sogleich wieder her (26 Fälle), oder hinterblieb eine sehr schwache Nach-

1) Dies Archiv. I. 1868. S. 175 ff.

2) a. a. O. S. 580 ff. S. a. Marchand a. a. O. S. 523 ff.

wirkung im Sinne einer Negativität der dem Reizort näheren Stelle. In jedem Falle wird also die nähere Stelle zuerst negativ wirksam ¹⁾).

Dieser Erfolg erwies sich als ganz unabhängig von den übrigen Versuchsbedingungen. Ich habe — bei verschiedenen sowohl wie auch bei dem nämlichen Herzen — abwechselnd an der Basis, an der Spitze, an rechter und linker Seite, auf Vorder- und Hinterfläche der Kammer gereizt, der abgeleiteten Strecke die verschiedensten Lagen an der Kammeroberfläche gegeben, ihre Länge wie ihren Abstand von dem Reizort innerhalb weiter Grenzen variiert: stets trat als erster Effekt ein im Herzen vom Ort des Reizes weggerichteter Strom auf. Das Rheotom ist zur Constatirung dieser Thatsache garnicht nöthig. Der Galvanometerkreis kann dauernd geschlossen bleiben. Nur ist es dann wünschenswerth, dass die Länge der abgeleiteten Strecke ziemlich gross, etwa 3 mm oder mehr sei. Man sieht dann schon bei mässiger Empfindlichkeit der Busssole jedesmal als erste (mitunter einzige) Wirkung des Reizes eine Ablenkung des Skalenbildes im angegebenen Sinne.

Es folgt aus diesen Thatsachen zunächst, dass jeder Theil des Kamtermuskels während der Erregung vorübergehend negativ electromotorisch wirksam wird und dass diese Negativität sich vom Ort der Reizung, gleichviel wo dieser gelegen sei, nach allen Richtungen durch die Kammer fortpflanzt, wie ich dies früher von der Contraktion nachgewiesen habe.

Bei Reizung des Ventrikels von den Vorkammern aus und in der Ruhe unwirksamer Ableitung der Kammer von Basis und Spitze wird zunächst die Basis negativ, darauf — wenigstens häufig — positiv wirksam gegen die Spitze. Dies zeigt sich sowohl beim spontan klopfenden Herzen ²⁾ als bei künstlicher Erregung des Vorhofes während des Stannius'schen Stillstandes. Da die

1) Eine einzige Ausnahme zeigt der am Schluss ausführlich mitgetheilte 8. Versuch (No. XV). Er scheint mir nicht genügend, die Richtigkeit obigen Satzes zu erschüttern, den auch Marchand's Versuche inzwischen bestätigt haben.

2) Meine Bemühungen die Aktionsströme des Herzens am lebenden Menschen nachzuweisen waren bisher vergeblich. Die Ableitungsbedingungen scheinen zu ungünstig zu sein. Man wird wohl auf einen Fall von Ektopia cordis warten müssen.

Negativität der Basis erst nach Ablauf der Vorhofscontraktion anhebt, kann sie nicht auf Erregung des Vorhofs bezogen werden, wogegen auch die erhebliche Grösse der Wirkung, im Gegensatz zu der höchst geringen bei directer Ableitung von den Vorhöfen, spricht. Man muss demnach annehmen, dass die Erregung des Ventrikels unter normalen Umständen an der Basis beginnt. Und sehr wahrscheinlich wird es wenigstens, dass sie direkt überhaupt nur an der Basis statthat. Dies wäre auch in Uebereinstimmung mit der anatomischen Thatsache, dass nur an und in der Nähe der Basis Nervenendzweige in den Muskelbündeln sich nachweisen lassen.

2. Näheres über Form und zeitlichen Verlauf der Schwankung.

Form und Verlauf der Erregungsschwankung habe ich hauptsächlich bei direkter Reizung des abgetragenen Ventrikels mittelst des Rheotoms näher festzustellen gesucht. Da die Dauer der Ableitung des Herzstromes in jedem meiner Versuche constant war (meist 0,06'') und stets nur einen kleinen Bruchtheil von der Gesamtdauer der Schwankung betrug, jeder Versuch ausserdem aus zahlreichen und immer nur um sehr kleine Zeitwerthe (meist 0,015 oder 0,03'') gegen den Reizmoment verschobenen Messungen sich zusammensetzte, ist es erlaubt den Verlauf jeder Erregungsschwankung auszudrücken durch eine Curve, deren Abscissen den seit dem Moment des Reizes verflossenen, aus den Schieberständen des Rheotoms sich ergebenden Zeiten, deren Ordinaten den am Galvanometer abgelesenen Ausschlägen proportional sind.

Meine so erhaltenen Curven, 96 Versuche darstellend, haben im Allgemeinen einfache und regelmässige Formen und zeigen, was von besonderem Werth, unter gleichen Umständen grosse Uebereinstimmung, unter verschiedenen Bedingungen aber charakteristische Verschiedenheiten, welche über eine Zahl der wichtigsten Fragen Aufschluss geben.

Fig. 1. Taf. II. zeigt den Verlauf der Doppelschwankung im Mittel aus 33 Versuchen, in denen die Länge der abgeleiteten Strecke 3 bis 3,5 mm, der Abstand derselben von den Reizelektroden durchschnittlich 2 mm und die Ableitungszeit im Mittel 0,057 Sec. betrug. Es entsprechen je 5 mm der Abscisse einer Zeit von 0,02 Sekunden, 5 mm Ordinatenlänge einem Skalenthail Ausschlag

am Galvanometer. Die neun zur Curve verbundenen Punkte sind: α . der Anfang der Schwankung (berechnet aus den dem ersten Ausschlag zunächst vorausgehenden, noch keine Ablenkung ergebenden Schieberständen), β . der erste Ausschlag (Mittel aus den direkt gemessenen Werthen), γ . und δ . die halben Maxima der Negativität (Mittel aus den meist durch Konstruktion bestimmten halben Maxima der einzelnen Versuche), $-M$ das Maximum der Negativität (wie β bestimmt), ε . der Indifferenzpunkt zwischen negativer und positiver Schwankung (bestimmt theils direkt durch Beobachtung, theils durch Konstruktion, $+M$ das Maximum der Positivität (wie $-M$ bestimmt), ϑ . zwei Drittel des Maximums der Positivität, im absteigenden Theil der Schwankung (wie γ und δ bestimmt), η . das Ende der Schwankung (berechnet aus den Schieberständen, bei welchen die Schwankung aufhörte merkbar zu sein).

Wesentlich mit Fig. 1 übereinstimmende Form zeigt Fig. 2, welche den durchschnittlichen Verlauf der Doppelschwankung in 10 Versuchen darstellt, in denen die Länge der abgeleiteten Strecke 5—6 mm, der Abstand derselben von dem Ort der Reizung weniger als 1 mm, die durchschnittliche Ableitungszeit 0,050 Sec. betrug. Die Bedeutung der Abscissen- und Ordinateneinheiten wie die der Buchstaben ist dieselbe wie in Fig. 1.

Einige Einzelversuche, welche Doppelschwankung ergaben, sind weiter in Fig. 3—7 graphisch dargestellt. Die Ordinateneinheiten sind die nämlichen wie in Fig. 1 und 2. Die Zahlen auf der Abscisse geben die Schieberstände an. Die Einheit entspricht dem hundertsten Theil der jedesmaligen Umlaufszeit des Rheotoms. Beim Schieberstand 0 erfolgte jedesmal die Reizung. Jeder der zu einer Curve verbundenen Punkte entspricht einer Messung. Die Richtung der Pfeile deutet die zeitliche Aufeinanderfolge der Messungen an. In Fig. 4—7 sind je zwei am selben Herzen nacheinander angestellte Versuche (a und b) aufgezeichnet. Ueber die Versuchsbedingungen enthält die folgende Tabelle Näheres. In derselben bedeutet i die Länge der abgeleiteten Strecke, d die Entfernung derselben von den Reizelektroden (ableitende und Reizelektroden lagen stets in einer geraden Linie), U die Umlaufszeit des Rheotoms, T die Dauer der Schliessung des Galvanometerkreises, r den Rollenabstand (ein grösseres Grove'sches Element im primären Kreis).

Fig. Nr. des Versuches	i	d	U	T	r	Ort der Reizung
3 XX	3,5 mm	0 mm	3 Sec.	0,06 Sec.	6 cm	Basis
4 XIX	3 "	< 1 "	3 "	0,06 "	6 "	Spitze
5 XXII	3 "	3 "	3 "	0,06 "	8 "	Spitze
6 II	5 "	< 1 "	4 "	0,08 "	6 "	Spitze
7 VI	6 "	< 1 "	3 "	0,03 "	6 "	Basis

Einen ähnlich regelmässigen Charakter zeigen die Curven in den Fällen, wo nur Einzelschwankung beobachtet ward, also die zweite (positive) Schwankung fehlte. Fig. 8 liefert hiervon ein Beispiel: sechs an einem und demselben Herzen nacheinander in der durch Buchstaben und Pfeile angedeuteten Reihenfolge angestellte Versuche (Versuchsnummer XV) ¹⁾. Zwischen Anfang des ersten (a) und Ende des letzten Versuches (f) verflossen über drei Viertelstunden und es betrugen i 3,5 mm, d 3 mm, U 3 Sec., T 0,06 Sec., r 5 cm; die Reizelektroden lagen an der Spitze.

Weitere Beispiele von Doppel- und Einzelschwankung giebt Fig. 9, worunter unten Näheres.

Im Einzelnen ergibt sich nun betreffs der Erregungsschwankung Folgendes.

Die Schwankung beginnt am Ort der Reizung anscheinend sofort nach Eintreffen des Reizes. In keinem der Fälle in denen $d = 0$ war, ja in der Mehrzahl der Versuche, wobei $d \frac{1}{2} - 1$ mm betrug, liess sich, falls überhaupt noch eine deutliche Wirkung eintrat, ein Latenzstadium beobachten. Bereits innerhalb der ersten 0.015 Sek. nach der Reizung wurden merkliche Ausschläge erhalten. Jedenfalls liegt also die Dauer des Latenzstadiums unter diesem Werthe und zwar, wie die Form des ansteigenden Theiles der Schwankungscurven zu schliessen gestattet, sehr beträchtlich darunter. Sie ist demnach mindestens verschwindend klein im Vergleich zur Dauer der Erregungsschwankung und ebenso verschwindend klein gegen das Latenzstadium der Contraction.

Das Stadium steigender Negativität hat durchschnittlich eine Dauer von etwa 0,09 Sec. Es berechnete sich bei direkter Reizung der Kammer im Mittel aus

1) Ein kleiner positiver Vorschlag ist in der Zeichnung weggelassen. Näheres über diesen Versuch, welcher die oben erwähnte Ausnahme bildet, siehe im Anhang, wo derselbe als 8. Versuch ausführlich mitgetheilt ist.

10 Versuchen, worin $i = 0$ bis 2 mm, zu 0,075 Sec.

55 „ „ $i = 3$ „ 3,5 „ „ 0,090 „

18 „ „ $i = 5$ „ 6 „ „ 0,090 „

bei indirekter Reizung, vom Vorhof aus, während Stannius'schen Stillstandes, im Mittel aus

4 Versuchen, worin $i = 5$ bis 6 mm, zu 0,06 Sec.

In sehr vereinzeltten Fällen fiel das beobachtete Maximum der Negativität ($-M$) noch in die ersten 0,03 Sec. nach der Reizung und in keinem einzigen Versuche kam es später als 0,12 Sec. nach dem ersten Ausschlag. Es fällt also $-M$ wohl immer (wie bei gewöhnlichen Muskeln) noch vor den Anfang der Zuckung, da diese nach meinen Messungen¹⁾ unter denselben Bedingungen beim Froschherzen sicher nicht früher als 0,1 Sec., (nach Marchand²⁾ sogar noch merklich später) nach der Reizung anhebt. Auch sei daran erinnert, dass in Donders³⁾ Versuchen beim Kaninchenherzen der als Reiz für die sekundäre Contraktion wirkende Theil der Schwankung der Systole des Ventrikels um $\frac{1}{70}$ Sec. vorausging, wie denn auch die sekundäre Contraktion vom Froschherzen aus eine Spur vor der Kammersystole, jedenfalls nicht später als der Beginn von dieser, wahrgenommen wird. Mit dem Absterben des Präparates nimmt die Dauer des Stadiums steigender Negativität merklich zu und zwar oft trotz gleichzeitiger Abnahme der maximalen Ausschläge. Aus allen ersten Versuchen der an verschiedenen Herzen angestellten Versuchsreihen ergab sich die Dauer

bei $i = 5$ bis 6 mm im Mittel aus 5 Fällen zu 0,087 Sec.

„ $i = 3$ „ 3,5 „ „ „ „ 14 „ „ 0,079 „
aus den letzten Versuchen derselben Reihen ergab sie sich

bei $i = 5$ bis 6 mm im Mittel aus 5 Fällen zu 0,093 „

„ $i = 3$ „ 3,5 „ „ „ „ 13 „ „ 0,101 „

Dieselbe Erscheinung zeigt die in Fig. 8 graphisch dargestellte einzelne Versuchsreihe.

1) Ueber die Leitung der Erregung im Herzmuskel. Dies Archiv. Elfter Bd. 1870. S. 468.

2) a. a. O. S. 514 ff.

3) F. C. Donders, de secundaire contracties, onder den invloed der systolen van het hart, met en zonder vagus-prikkeling. Onderzoek. physiol. lab. Utrecht. Derde R. I. 1872. S. 253 Anmerkung.

Man darf wohl annehmen, dass wirklich die Entwicklung der Negativität an jedem Punkte mit vorrückendem Absterben langsamer stattfindet. Aber auch die Abnahme der Fortpflanzungsgeschwindigkeit beim Absterben (s. unten) ist in Betracht zu ziehen. Diese bewirkt ein Wachsen der Zeit während welcher in negativer Wirksamkeit begriffene Elemente im Bereich der ableitenden Elektrode sich befinden, gestattet also eine längere Summation der elementaren Wirkungen. Bei sehr kurzer abgeleiteter Strecke i kann noch ein anderer Umstand sich geltend machen. Es wird dann bei normaler Fortpflanzungsgeschwindigkeit die Negativitätswelle an der zweiten Elektrode schon anlangen können bevor an der ersten der Gipfel der Negativität noch erreicht ist. Der maximale Ausschlag — M wird also abgeschwächt und gegen den Reizmoment zu verschoben sein können. Dies wird natürlich um so weniger der Fall sein je weiter die Leitungsgeschwindigkeit abgenommen hat. Also auch aus diesem Grunde wird, freilich nur bei sehr kurzem i , die Dauer des Stadiums steigender Negativität mit fortschreitendem Absterben wachsen müssen.

Ueber die Form des Ansteigens der Negativität geben die Curven genügenden Aufschluss. Danach hat dasselbe continuirlich und ziemlich geradlinig Statt, anfangs mit wachsender Geschwindigkeit. Dieser continuirliche Verlauf, der auch bei grösstmöglicher Verkürzung der Ableitungszeiten und bei indirekter Reizung vom Vorhof aus, bestehen bleibt und ebenso dem absteigenden Theile der Schwankungscurve zukommt, worüber sogleich Näheres, enthält einen neuen Beweis dafür, dass die Systole eine einfache Zuckung, nicht ein Tetanus ist ¹⁾.

Das Stadium sinkender Negativität zeigt im Allgemeinen eine erheblich längere Dauer und einen verwickelteren Verlauf der Schwankungscurve. — Fast stets beginnt es unmittelbar am Ende des Stadiums der steigenden Negativität. In vereinzelt Fällen (Fig. 5b und 6b) ward der Ausschlag — M mehrmals, doch nie bei mehr als zwei aufeinanderfolgenden Schieberständen er-

1) Mit Recht wird man mit Marchand, der zum nämlichen Ergebnisse kommt, fragen, wie eine einfache Contraktion das Muskelgeräusch erzeugen könne, welches einen Bestandtheil des ersten Herztones bilden soll. Vielleicht ist Reibung der Muskelbündel, wegen ungleichzeitiger Zusammenziehung (Peristaltik) die Quelle.

halten. Hier fiel dann sehr wahrscheinlich der Gipfel der Negativität in die Zeit zwischen den beiden Messungen — M.

Kommt es, wie in der Mehrzahl der Fälle zur Stromumkehr, so eilt die Kraft durchschnittlich in ziemlich geradem Laufe (Fig. 1 und 2) von — M aus dem Maximum der Positivität (+ M) zu, um von diesem allmählich auf Null herabzusinken. In nicht wenigen Einzelfällen von Doppelschwankung läuft die Curve von — M an zunächst in mässiger Neigung gegen die Abscisse, nimmt dann plötzlich einen viel steileren Verlauf, den sie entweder bis + M oder bis kurz vor + M beibehält. Sehr deutlich ist dies u. a. in Fig. 5a, 6a und 7a, andeutungsweise noch in Fig. 1 und 2 sichtbar.

Ohne Zweifel hat die plötzliche Beschleunigung des Sinkens der Kraft in diesen Fällen ihren Grund im Eintreffen der Negativitätswelle an der zweiten, entfernteren Elektrode. Dies wird besonders plausibel angesichts von Fällen wie die in Fig. 9 aa und 4 a und b abgebildeten. Die positive Schwankung setzt in Fig. 9 erst ein (a₁) nachdem die negative (a) bereits völlig, in Fig. 4 a und b nachdem dieselbe wenigstens nahezu abgelaufen ist.

Die Zeit innerhalb welcher + M von — M aus erreicht wird, hängt nach meinen Versuchen sehr merkbar ab von der Länge der intrapolaren Strecke (i) und vom Alter des Präparates. Im Allgemeinen nimmt sie mit beiden zu. Sie betrug im Mittel aller 3 Versuche für i=1 bis 2 mm in der 1. halb. Stunde u. d. Präp. 0,050 S.
 6 " " i=3 " 3,5 " " " 1. " " " " 0,091 S.
 8 " " i=5 " 6 " " " 1. " " " " 0,120 S.
 und im Mittel von

9 Versuchen mit i=3 bis 3,5 mm in der 3. hlb. Stunde u. d. Präp. 0,148 S. Beide Thatsachen erklären sich einfach. Das positive Maximum wird in dem Augenblick da sein wo der Gipfel der Negativitätswelle unter der entfernteren Elektrode hindurchgeht. Dieser Zeitpunkt muss um so später nach — M eintreten, einen je längeren Weg die Welle bis zur zweiten Elektrode zu durchlaufen hat und je geringer ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist. Letztere nimmt wie schon erwähnt beim Absterben mehr und mehr ab. — Berechnet man aus den Zeitintervallen zwischen — M und + M und den zugehörigen Längen i die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Negativitätswelle, so erhält man in der That Werthe, welche mit den unter gleichen Bedingungen direkt gemessenen sehr gut übereinstimmen (s. unten).

Der Ausschlag $+M$ ist mit sehr wenigen Ausnahmen kleiner als der zugehörige $-M$. Ich erhielt im Mittel aus allen 33 Versuchen mit $i = 3$ bis $3,5$ mm für $-M$ 5,8 scal., für $+M$ 3,2 sc. 10 „ „ $i = 5 - 6$ „ „ $-M$ 6,8 „ „ $+M$ 1,9 „ Die durchschnittliche Ableitungszeit betrug im ersten Falle 0,057 Sec. im zweiten 0,050 Sec.

Von diesem Verhalten kam nur 4 Mal unter 47 Fällen eine Ausnahme vor, indem $+M$ etwas grösser als $-M$ war.

Selbstverständlich bedeuten diese Unterschiede im Werth der beiden Maxima nicht nothwendig, dass die Kraft der Welle sich während des Fortschreitens von Elektrode a zu Elektrode b entsprechend geändert habe. Auch ohne eine solche Annahme erklären sie sich. Speziell begreift sich der gewöhnliche Fall ($-M > +M$) aus der Annahme, dass zur Zeit wo der Gipfel der Negativitätswelle an der Elektrode b anlangte, die negative Wirkung in a noch nicht geschwunden war. Bei der Kürze der Entfernung i zwischen a und b, der erheblichen Grösse der Fortpflanzungsgeschwindigkeit (s. unten) und der langen örtlichen Dauer der Negativitätsentwicklung wird diese Annahme in den meisten Versuchen zweifellos dem thatsächlichen Verhalten entsprechen. Man dürfte sich eher darüber wundern, dass $+M$ jemals grösser als $-M$ gefunden wurde. Hier ist aber zu bedenken, dass auch örtliche Unterschiede in der elektromotorischen Leistungsfähigkeit infolge ungleichen Absterbens sowie ungleiche Ableitungsbedingungen in a und b (verschiedene Grösse der Berührungsfläche, ungleiche Nebenschliessung durch die extrapolare Muskelsubstanz etc.) Unterschiede zwischen $+M$ und $-M$ im verlangten Sinne werden bedingen können.

Einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Lage der Reizstelle am Herzen und Art und Grösse des Unterschiedes zwischen $+M$ und $-M$ kann ich in meinen Versuchen nicht bemerken. Bei Reizung an der Kammerspitze war im Mittel aus 23 Versuchen ($i = 3 - 3,5$ mm) das Verhältniss von $-M$ zu $+M = 1:0,56$, bei Reizung an der Basis, im Mittel aus 10 Versuchen ($i = 3 - 3,5$ mm) $= 1:0,50$.

Dies ist wieder ein Umstand, der dafür spricht, dass die Erregung sich im Herzen gleichgut auf- wie absteigend fortpflanzen kann. Dementsprechend war auch das Häufigkeitsverhältniss der Fälle, in denen die positive Schwankung ganz ausblieb, zu

denen doppelsinniger Schwankung dasselbe für Reizung an der Spitze wie an der Basis. Es kamen nämlich auf
 48 Versuche mit Spitzenreizung 29 Fälle von Doppelschwankung,
 29 " " " 18 " " "
 was beidemale dem Verhältnisse 5:3 fast genau entspricht. —
 Marchand (a. a. O. S. 531) sah die positive Schwankung bei
 Reizung an der Spitze häufiger ausbleiben. Da die Zahl seiner
 Versuche (9) aber gering ist, darf dies wohl für einen Zufall ge-
 halten werden.

Man wird bemerkt haben, dass die (relative und absolute) Grösse des Unterschiedes zwischen $+M$ und $-M$ bei längerer intrapolarer Strecke erheblich grösser gefunden ward als bei kurzer. Für $i = 3 - 3.5$ mm misst der Unterschied 2.6 sc., für $i = 5 - 6$ mm 4.9 sc., wobei noch zu berücksichtigen, dass die Ableitungszeit im letzteren Falle durchschnittlich etwas kleiner als im ersten war (0:050 gegen 0:057). Hieraus könnte man nun scheinbar mit einigem Rechte auf eine allmähliche Abnahme der Kraft der Welle während des Fortschreitens schliessen wollen. Die Zahl der Versuche mit grösserem i (10) ist jedoch so klein in Anbetracht der Grösse der Abweichungen vom Mittel, welche die Werthe von $+M$ und $-M$ in den Einzelversuchen zeigten, dass Zufall hier noch keineswegs ausgeschlossen erscheint. Uebrigens könnte, da bei grösserem i die Reizstelle der Elektrode a fast unmittelbar anlag, eine Nachwirkung bei a den Werth von $+M$ verhältnissmässig stärker herabgedrückt haben. Theoretisch endlich steht jenem Schluss der weiter unten näher zu erörternde wichtige Umstand entgegen, dass die Erregungsschwankung an jeder Stelle entweder Null oder sogleich maximal, d. i. so gross ist, als der gerade herrschende Zustand der Muskelsubstanz überhaupt gestattet. Hieraus folgt unmittelbar, dass Aenderungen in der Kraft der Erregung während des Fortschreitens nur dann vorkommen können, wenn die Welle Muskelelemente von an und für sich verschiedener Leistungsfähigkeit berührt.

In den Fällen wo $+M = \text{Null}$ ist, also nur eine einfache Schwankung beobachtet wird, sinkt die Kraft von $-M$ allmählich gegen Null zurück und zwar, von ganz vereinzelt Ausnahmen abgesehen, zunächst mit wachsender, weiterhin mit abnehmender Geschwindigkeit. Wie in den Versuchen mit doppelsinniger Schwankung (s. oben) tritt häufig, nachdem die Kraft ein

wenig von $-M$ herabgesunken, eine plötzliche schnellere Abnahme ein, auf die dann weiterhin ein langsames Sinken folgt (s. Fig. 8 und 9). Wie dort ist die plötzliche Beschleunigung des Sinkens ohne Zweifel ein Ausdruck des Anlangens der Negativitätswelle an der zweiten Elektrode, wie namentlich auch eine Vergleichung solcher, nacheinander am selben Herzen angestellter Versuche zeigt, in denen die anfängliche Doppelschwankung durch immer weitere Verflachung der positiven Welle schliesslich in eine einfache überging.

Die Dauer des Stadiums sinkender Negativität betrug bei Einzelschwankungen im Mittel aus 19 Versuchen, in denen $i = 3 - 3.5$ mm war, 0.151 . Sie wuchs mit der Grösse des negativen Maximalausschlages und mit fortschreitendem Absterben (s. Fig. 8), in letzterem Falle häufig trotz gleichzeitiger Abnahme von $-M$. — Auch diesem Wachsen liegt wohl einmal eine wirkliche Verzögerung im örtlichen Verlauf des Sinkens der Kraft und dann Abnahme der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle zu Grunde.

Die Gesamtdauer der Schwankung hängt nach dem bisher Gesagten von sehr vielen Umständen ab. Bei doppelsinniger Schwankung fand ich sie im Mittel aus 47 Versuchen zu 0.436 , bei einfacher im Mittel aus 26 Versuchen zu 0.211 , also fast genau halb so gross. Die örtliche Dauer der negativ elektromotorischen Wirksamkeit wird hiernach durchschnittlich auf wenigstens 0.2 veranschlagt werden dürfen. Der grösste von mir gemessene Werth (Doppelschwankung) übertraf 1.5 . Hier war aber höchst wahrscheinlich eine Nachwirkung der im Eingang erwähnten Art (zu starke Reizung in unmittelbarer Nähe einer der ableitenden Elektroden) im Spiele. Vermuthlich aus demselben Grunde hat Marchand durchschnittlich einen höheren Werth als ich gefunden. Denn der Abstand der Reizstelle von der nächsten Ableitungsstelle betrug in seinen Versuchen „höchstens 1 mm“. Doch mag auch die grössere Trägheit der von ihm benutzten Frösche mit Schuld sein, die sich ja auch darin zeigte, dass die Dauer der Contraktion und ihres Latenzstadiums länger war als bei den Utrechter Versuchsthieren, und zwar etwa im selben Verhältnisse länger wie die Schwankung.

Jedenfalls wird bei regelmässigem Gang des Herzens die Dauer der Schwankung die einer Herzperiode nicht übertreffen.

Immerhin ist sie, nicht nur absolut, sondern auch im Verhältniss zur Contraktionsdauer, sehr viel grösser als, nach den meisten bisherigen Versuchen, die der gewöhnlichen quergestreiften Muskeln im Falle maximaler Zuckung. Dies hängt offenbar mit einigen anderen alsbald zu erwähnenden Thatsachen causal zusammen, welche die Kraft der Schwankung betreffen.

3. Elektromotorische Kraft der Erregungsschwankung.

Wie über den zeitlichen Verlauf geben meine Versuche auch einigen Aufschluss über die Grösse der elektromotorischen Kraft der Erregungsschwankung und ihre Abhängigkeit von einigen Bedingungen.

Zunächst erhebt sich die Frage nach dem Verhältniss zwischen Stärke des Reizes und Kraft der Schwankung. — Wie schon bemerkt, ergiebt sich hier die theoretisch bedeutungsvolle (und praktisch willkommene) Thatsache, dass die Kraft der Schwankung nur vom Zustand der Herzmuskelsubstanz, nicht von der Stärke des Reizes abhängt: sie ist entweder Null oder die grösste, welche zur gegebenen Zeit überhaupt möglich ist. Es gilt also für sie was Bowditch¹⁾ für die Grösse der Contraktion zuerst näher feststellte.

Folgende Versuche liefern den Beweis.

Die wie früher herauspräparirte Herzkammer ward unwirksam von zwei etwa drei Millimeter von einander entfernten Stellen der natürlichen Oberfläche abgeleitet. Die reizenden Induktionsströme, wurden durch eine der beiden ableitenden Thonspitzen (a) dem Herzen zugeführt, während als andere Reizelektrode ein mit halbprocentiger Kochsalzlösung befeuchteter Löschpapierstreif diente, auf welchem das Herz breit auflag. Der grösseren Stromdichte bei a halber musste dann die Erregung zunächst nur an der Thonspitze a stattfinden. Spätestens 0:005 nach dem Reiz wurde der Galvanometerkreis mittelst des Differentialrheotoms geschlossen, dauernd oder für verschiedene Bruchtheile einer Sekunde.

Es zeigte sich nun nicht die geringste Wirkung, so lange nicht die sekundäre Spirale der primären so nahe gebracht war,

1) H. P. Bowditch, Ueber die Eigenthümlichkeit der Reizbarkeit, welche die Muskelfasern des Herzens zeigen. Berichte der k. sächs. Gesellsch. d. Wissenschaften. Mathem.-physik. Classe. 1871. S. 652.

dass Kontraktion erfolgte. Dann war der erste Effekt sogleich eine maximale oder doch nur innerhalb der auch sonst vorkommenden Abweichungen vom Maximum differirende Schwankung, im bekannten Sinne einer Negativität der Elektrode a.

Ein Beispiel genüge.

Grosse *Rana esculenta*. Gehirn und Rückenmark zerstört und Herz ausgeschnitten 12 h 20'. $i = 4$ mm. 1 Daniell. Grosser Schlittenapparat. In der Ruhe kein merkbarer Strom vorhanden. Dauernde Schliessung 0.005 nach dem Reiz.

Zeit.	Rollenabstand.	Ausschlag.	Contraction.
12h 30'	10.5 cm	23.5 Skal.	erfolgt
„ 31' 30"	11.0 „	0.0 „	„ nicht
„ 32'	10.5 „	24.0 „	erfolgt
„ 32' 30"	10.7 „	0.0 „	„ nicht
„ 33'	10.5 „	24.5 „	erfolgt
„ 33' 30"	10.0 „	25.5 „	„
„ 34'	9.5 „	25.0 „	„
„ 34' 30"	9.0 „	25.0 „	„
„ 35'	8.0 „	25.5 „	„
„ 35' 30"	7.0 „	24.5 „	„
„ 36'	8.0 „	25.0 „	„
„ 36' 30"	9.0 „	24.0 „	„
„ 37'	10.0 „	0.0 „	„ nicht.
„ 37' 30"	9.5 „	0.0 „	„ „
„ 38'	9.0 „	24.5 „	erfolgt.

Zwischen je zwei Reizungen stellte sich der unwirksame Zustand jedesmal vollkommen wieder her.

Auch bei extrapolarer Reizung blieb alle Wirkung am Galvanometer aus, so lange der Reiz nicht stark genug war um eine Contraktionswelle auszulösen. War die galvanometrische Wirkung aber einmal da, so konnte sie durch weitere Verstärkung des Reizes nicht merkbar gesteigert werden.

Dies Resultat hätte, wie mir scheint, von vornherein nicht nothwendig erwartet zu werden brauchen. Die Erregungsschwankung hätte innerhalb gewisser Grenzen mit der Stärke des Reizes wachsen können und erst nachdem sie einen gewissen Werth überschritten den mechanischen Vorgang der Verkürzung auszu-

lösen brauchen¹⁾. Der Grund wesshalb das Herz nur maximal zuckt, hätte dann in den Eigenschaften der kontraktilen Moleküle gesucht werden müssen, welche, wie ich nachgewiesen zu haben glaube²⁾, nicht identisch sind mit denen, welche Sitz der elektrischen Vorgänge und Vermittler der Reizleitung sind und als nervöse von jenen unterschieden werden können. Jetzt aber ist es wohl denkbar, dass die kontraktilen Theilchen an und für sich in sehr verschiedenem Grade, der Reizstärke proportional, sich würden verkürzen können und dies nur darum nicht thun, weil sie faktisch von den leichter ansprechenden nervösen Molekülen aus immer maximal (vielleicht übermaximal) gereizt werden.

Jedenfalls darf man jetzt annehmen, dass ein wirksamer Reiz immer den gesammten überhaupt für Erregungszwecke disponibeln Vorrath von Arbeitsvermögen der Herzmuskelelemente auf einmal auslöst. Letztere werden also auch durch jeden überhaupt wirksamen Reiz nicht bloss theilweise, wie die Elemente der Nerven und der gewöhnlichen Muskeln, sondern vollständig erschöpft. — Offenbar erklärt sich hieraus die so auffällige ermüdende Wirkung der Systole, welche sich darin zeigt, dass nach jeder Zuckung der Kammer eine lange Pause (beim Frosch durchschnittlich fast 1 Sekunde) vergehen muss, ehe eine neue Zuckungswelle den Muskel durchlaufen kann³⁾. Mit dieser Ermüdung dürfen

1) Allenfalls hätte hiergegen die Beobachtung von Bowditch angeführt werden können (l. c. S. 672), dass die Grösse einer Zuckung des Herzens durch einen vorhergegangenen Reiz nur dann beeinflusst wird, wenn dieser Reiz auch selbst Zuckung auslöste.

2) Kontraktilität und Doppelbrechung. Diess Archiv. Elfter Bd. 1875. S. 480 flg.

3) Lässt man eine Reihe von Reizen (Induktionsschläge), die in Pausen von 2 oder mehr Sekunden jedesmal Zuckung geben würden, also „unfehlbar“ wären, in Intervallen von weniger als 1 Sekunde auf die abgeschnittene Herzkammer einwirken, so folgt nur dem ersten Reiz eine Systole, den späteren höchstens eine schwache örtliche Wirkung. Offenbar hat man hier ganz dasselbe was ich früher (diess Archiv II. 1869. S. 271 flg. III. 1870. S. 323 flg. IV. 1871. S. 3 flg.) für den Ureter, für gewöhnliche Muskeln und Nerven beschrieb, nichts anderes nämlich als das späterhin auch von Bernstein u. a. bei gewöhnlichen Muskeln beobachtete und unter dem Namen der „Anfangszuckung“ beschriebene Phänomen. Ich bemerke noch, dass der zweite Reiz auch dann keine Welle auslöst, wenn er nach kurzer

wir wohl die oben erwähnte lange Dauer der Erregungsschwankung in ursächlichen Zusammenhang bringen. — Diese That-
sachen nun sind von besonderem Gewichte, weil sie lehren, dass das Herz überhaupt nicht in einen echten (oscillatorischen) Tetanus gerathen kann, es sei denn bei gleichzeitiger direkter tetanischer Reizung aller einzelnen Muskelemente, welcher Fall in Wirklichkeit nicht leicht realisirt werden kann. Immer bei der natürlichen Reizung vom Vorhof aus und wohl fast immer bei künstlicher direkter Reizung der Kammer, findet die Erregung nur an einer beschränkten Zahl von Stellen Statt und muss sich von diesen aus der übrigen Muskelsubstanz durch Leitung mittheilen. Letzteres aber ist eben nur nach längerer Reizpause möglich. Eine Superposition von Reizwellen wie in gewöhnlichen Muskeln kann im Herzen nicht stattfinden, da die örtliche Dauer der Erregungsschwankung kürzer ist, als die zur Erholung des Leitungsvermögens erforderliche Reizpause.

Bei Herzen, die ihr Leitungsvermögen eingebüsst haben, aber noch örtlich reizbar und, wie dann immer, im Besitz einer noch erheblichen latenten elektromotorischen Kraft sind¹⁾, ist die Grösse der am Galvanometer zu beobachtenden Schwankung keineswegs immer entweder Null oder maximal, wie beim leitungsfähigen Herzen. Richtet man den Versuch wieder wie oben so ein, dass eine der (unwirksam) abgeleiteten Stellen (a) zugleich Durchtrittsstelle für die reizenden Ströme und dabei Ort der grössten Stromdichte ist, so wird wiederum nach jedem, eine gewisse, ziemlich erhebliche Stärke überschreitenden Reiz, die Stelle a vorübergehend²⁾ negativ elektrisch und zwar erweist sich nun die Kraft

Pause an einer anderen Stelle, als der erste das Herz traf. Hier sind schädigende Nebenwirkungen, welche der (direkte) erste Reiz haben könnte (und wenn er sehr stark ist ohne Zweifel auch hat) als Ursachen der Unwirksamkeit des zweiten Reizes ganz ausgeschlossen. Man vergleiche hier auch Marey, des excitations artificielles du coeur in: Travaux du laborat. de M. Marey. II. Anné 1876. p. 63 suiv.

1) Dieser Zustand entwickelt sich regelmässig im Lauf des gewöhnlichen Absterbens, ebenso nach Vergiftung mit Muscarin.

2) Die Dauer der Schwankung ist unter diesen Umständen beträchtlich vergrössert, namentlich die des Stadiums sinkender Negativität. Sie kann Minuten betragen. Hier kann dann auch durch Summirung von Reizen der elektromotorische Effekt bedeutend gesteigert werden, wie der am Schluss mitgetheilte 9te Versuch näher zeigt.

der Schwankung innerhalb ziemlich weiter Grenzen der Reizstärke proportional.

Dies erklärt sich ohne Zweifel einfach daraus, dass die Zahl der bei *a* in Erregung gebrachten Punkte mit der Stromdichte wächst, die direkte Erregung sich lokal mehr ausbreitet. Bei noch leitungsfähiger Muskelsubstanz ist die Zahl der in Erregung gerathenden Punkte immer dieselbe, nämlich die grösste, welche überhaupt möglich ist, da die Erregung eines einzigen Punktes genügt, um alle anderen durch Leitung in Miterregung zu versetzen.

In Bezug auf die absolute Grösse der elektromotorischen Kraft der Erregungsschwankung kann zunächst soviel mit Sicherheit gesagt werden, dass sie von einer Ordnung mit der künstlicher Querschnitte ist. Und mit hoher Wahrscheinlichkeit darf man näher behaupten, dass sie niemals die zur selben Zeit vorhandene latente, d. h. durch Anlegen eines Querschnittes an derselben Stelle zu erzielende Kraft übertrifft.

Einmal beobachtet man bei Ableitung von natürlichem Längsschnitt und ganz frisch hergestelltem, nicht zu kleinem, künstlichen Querschnitt niemals eine Stromumkehr infolge der Reizung, sondern nur Schwächung, höchstens gänzliches Verschwinden. Umkehr tritt dagegen, wie ich früher schon erwähnte¹⁾, bei gesunkener manifester Kraft sehr gewöhnlich ein, und wie voraussehen um so auffälliger, je tiefer einerseits die manifeste und je weniger tief andererseits die latente Kraft gesunken ist.

Zweitens erreichen die Maximalausschläge für Erregungsschwankungen niemals die Werthe, welche unter gleichen Bedingungen (gleiche Schliessungsdauer, gleicher Widerstand, gleiche Empfindlichkeit der Busssole) vom Compensator abgezweigte, constante Ströme geben, deren Kraft der mittleren Kraft frischer Herzquerschnitte etwa gleich ist. Ströme von 0.03 D Kraft gaben bei einer Schliessungsdauer von 0.03 durchschnittlich etwas mehr als 15 Skalentheile Ablenkung, während der höchste bei einer Erregungsschwankung beobachtete Ausschlag unter gleichen Umständen 14 Skalentheile betrug.

1) Proc. verb. kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterdam. 1873. No. 2. Vergad. 28. Juni 1873, und diess Archiv XV. 1877. S. 142 Anmerkung.

Im Verlauf des Absterbens sinkt natürlich die Kraft der Schwankungen, doch in der Regel nur sehr langsam (s. Fig. 8 und 9), wie ja auch die latente Kraft. Anfangs beobachtet man häufig ein Wachsen der Ausschläge (s. Fig. 4, 5, 7, 8, 9 und pag. 84), welches meist wohl mit der gleichzeitig zu constatirenden Steigerung der Reizbarkeit (Anspruchsfähigkeit) in Verband steht. Von Wichtigkeit ist auch, dass die Kraft das der „Treppe“ von Bowditch entsprechende Phänomen zeigt, worüber ich noch Näheres mitzutheilen hoffe. In den vorliegenden Versuchen hat sich diese Erscheinung wohl kaum merklich eingemischt, da die Pausen zwischen den einzelnen Reizungen ziemlich lang waren (20 oder 30 sec.).

4. Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizwelle im Herzen.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit v , mit welcher die Negativitätswelle durch das Herz läuft, kann man auf zweierlei Weise gelangen. Einmal durch Messung der Dauer des Latenzstadiums τ der Schwankung bei verschiedener Entfernung d der Reizstelle von der abgeleiteten Strecke, und zweitens durch Messung des zeitlichen Abstandes Δt zwischen negativem und positivem Maximum von Doppelschwankungen bei bekannter Länge i der intrapolaren Strecke.

Im ersteren Falle könnte man zunächst die absoluten Werthe von τ und der zugehörigen d der Berechnung zu Grunde legen wollen²⁾. Dies verbietet sich aber wegen der geringen Grösse der Werthe von d und der Unmöglichkeit einer genauen Begrenzung des Ortes der Reizung, bei Anwendung elektrischer Erregung. Der direkt gemessene Abstand d wird im Allgemeinen etwas grösser sein als der wirkliche Abstand δ des Ausgangspunktes der Welle von der abgeleiteten Strecke, und dieser Unterschied wird natürlich um so erheblicher ins Gewicht fallen, je kleiner d ist. Für $d = 1$ mm könnte δ leicht nur $\frac{1}{2}$ mm, ja noch weniger betragen. Dem entsprechend findet man auch, bei Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dieser Weise, um

1) Diess Archiv. 15ter Bd. 1877. S. 122.

2) Hierzu würde die Beobachtung berechtigen, dass für $d = 0$ auch $\tau = 0$ zu sein scheint (s. oben).

so grössere Werthe von v je kleiner d . Dies zeigt beiläufig die hier folgende kleine Tabelle, welche die Mittel aus mehreren unter möglichst gleichen Bedingungen an ganz frischen Präparaten erhaltenen Zahlen für τ und v giebt.

Zahl der Versuche	d	τ	v
13	1 mm	0:00105	952.3 mm
11	3 „	0:048	62.5 „
3	4 „	0:095	42.1 „

Der in den vorliegenden Zahlen zu Tage tretende Fehler wird vermieden, wenn man der Berechnung von v die Differenzen (Δd) von d mit den zugehörigen Differenzen ($\Delta \tau$) von τ zu Grunde legt.

Ich stelle zunächst die Mittelwerthe aller meiner Versuche für τ bei drei verschiedenen d zusammen.

Zahl der Versuche	d	τ
27	1 mm	0:0300
34	3 „	0:1338
8	4 „	0:1818

Es ergibt sich nun

Δd	$\Delta \tau$	v
für $d_4 - d_1 = 3$ mm	0:1513	19.8 mm
$d_3 - d_1 = 2$ „	0:0963	20.8 „
$d_4 - d_3 = 1$ „	0:0480	20.9 „

Mit diesen Resultaten, die eine Bestätigung meiner früheren¹⁾ durch direkte Beobachtung der Contraktionswelle gewonnenen Schätzungen enthalten, stimmen die nach der zweiten Methode aus den zeitlichen Abständen Δt der positiven und negativen Maxima von Doppelschwankungen und den zugehörigen i berechneten Werthe von v .

Es war

in Mittel aus 26 Vers., worin $i = 3-3.5$ mm, $\Delta t = 0:140$, woraus
 $v = 23.2$ mm.

Höhere Werthe ergeben 10 Versuche, in denen $i = 5$ bis 6 mm mass. Hier betrug Δt durchschnittlich 0:147, woraus

$$v = 37.4 \text{ mm.}$$

1) Ueber die Leitung der Erregung im Herzmuskel. Diess Archiv, Elfter Band. 1875. S. 480.

Dieser höhere Werth erklärt sich genügend daraus, dass 8 von den 10 letzterwähnten Versuchen, in die erste halbe Stunde nach der Präparation, von den 26 ersterwähnten aber die grössere Hälfte in eine spätere Zeit fielen¹⁾. Mit der seit Herstellung des Präparates verflossenen Zeit nimmt aber, wie ich gleichfalls schon früher angab²⁾, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit sehr auffällig ab. Sehr schlagend zeigt sich dies, wenn man (aus den Differenzen $\Delta\tau$ und Δd) die Mittelwerthe von v für alle Versuche der ersten, der zweiten und der dritten halben Stunde nach der Präparation besonders berechnet.

Ordne ich alle meine Versuche in dieser Weise, so erhalte ich zunächst für τ folgende Werthe.

Zeit.	Zahl der Versuche	d	τ
1ste halbe Stunde.	13	1 mm	0.001
	11	3 "	0.048
	3	4 "	0.095
2te halbe Stunde.	6	1 "	0.053
	9	3 "	0.130
	2	4 "	0.202
3te halbe Stunde.	8	1 "	0.066
	15	3 "	0.192
	4	4 "	0.255

Hieraus berechnen sich die Werthe der folgenden Tabelle

	Δd	Erste halbe Stunde.		Zweite halbe Stunde.		Dritte halbe Stunde.	
		$\Delta\tau$	v	$\Delta\tau$	v	$\Delta\tau$	v
$d_4 - d_1$	3 mm	0.0940	32.0 mm	0.1675	18.0 mm	0.189	15.9 mm
$d_3 - d_1$	2 "	0.0470	42.5 "	0.0950	21.1 "	0.126	14.3 "
$d_4 - d_3$	1 "	0.0470	21.3 "	0.0725	13.8 "	0.063	15.9 "

Aber nicht nur die Mittelwerthe aller Versuche, auch die Zahlen fast jeder einzelnen längeren Versuchsreihe zeigen die Abhängigkeit des Fortpflanzungsvermögens vom Alter des Präparates.

1) Vielleicht war ausserdem der Umstand im Spiele, dass d wegen des grossen i sehr klein (weniger als 1 mm) sein musste. In Wahrheit betrug unter diesen Umständen i möglicherweise weniger als 5—6 mm.

2) a. a. O. S. 480.

Ein Beispiel hiervon giebt Fig. 9 (Vers. No. XXIX), welche 4 am selben Herzen beobachtete Schwankungen darstellt: a fiel etwa in die 10. bis 15. Min. nach Herausschneiden des Herzens, b ungefähr 20 Min. nach a, c ebensoviel nach b, d etwa eine Stunde nach c. Beiläufig waren $i = 3$ mm, $d = 3$ sec, $U = 3$ sec., $T = 0^{\circ}03$. Die Reizung geschah an der Basis, bei einem Rollenabstand von 6 cm für a, 4 cm für b und 2 cm für c und d (1 Grove). Weiter vergleiche man den im Anhang mitgetheilten 4. Versuch (No. XII).

Man wird nach den vorliegenden Zahlen annehmen dürfen, dass unter den Bedingungen, unter welchen die Versuche angestellt wurden, die mittlere Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizwelle in der ersten halben Stunde nach der Präparation etwa 35–40 mm, in der zweiten etwa 20 mm, in der dritten etwa 15 mm betrug. Hiernach scheint sie anfangs schneller, später langsam zu sinken, was auch von vornherein zu erwarten. Wie hoch sie in unversehrten Herzen sei, lässt sich einstweilen nicht angeben, doch darf man vermuthen, dass sie (beim Frosch) durchschnittlich 50 mm übersteigt. Stelle ich nur die ersten meiner Versuche zusammen, welche sämmtlich etwa in die 10. bis 20. Minute nach dem Herausschneiden des Herzens fallen, so ergeben sich

	Δd	$\Delta \tau$	v
$d_4 - d_1$	3 mm	0 ^o 075	40.0 mm
$d_3 - d_1$	2 "	0.041	48.8 "
$d_4 - d_3$	1 "	0.034	29.3 "

Diese Werthe von v übertreffen noch, wie man sieht, die Durchschnittswerthe aus allen in der ersten halben Stunde angestellten Versuchen, bleiben demnach also ohne Zweifel noch unter den Werthen, welche v in denselben Herzen vor dem Herausschneiden hatte.

Alle meine Rheotom-Versuche wurden bei Temperaturen zwischen etwa 12 und 16° C. angestellt. Sie geben somit keinen Aufschluss über die Abhängigkeit der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von dem Wärmegrad des Herzens. Zuverlässig wächst v innerhalb weiter Grenzen mit der Temperatur¹⁾, wie denn auch sicht-

1) Für die Contraktionswelle habe ich diess früher direkt bewiesen. Diess Archiv, elfter Bd. 1875. S. 480.

lich die Leitungsgeschwindigkeit im frischen Warmblüterherzen (Hund, Kaninchen) sehr erheblich grösser ist als am frisch präparierten Froschherzen. Uebrigens scheint sie aber auch abgesehen vom Temperatureinfluss bei Warmblütern grösser zu sein.

Zum Schluss mögen noch, zur näheren Erläuterung und Ergänzung der im Vorstehenden mitgetheilten und auf Taf. II. graphisch dargestellten Thatsachen, einige Versuchsprotokolle ausführlich mitgetheilt werden. Betreffs aller nicht in denselben erwähnten methodischen Einzelheiten verweise ich auf den Textabschnitt über Einrichtung der Versuche.

Erklärung der Abkürzungen.

- i = Länge der intrapolaren, abgeleiteten Strecke.
 R = Reizung; r = Rollenabstand; P = Pause zwischen den einzelnen Reizen.
 d = Abstand der Reizelektroden von der nächsten abgeleiteten Stelle.
 U = Umlaufszeit der Rheotomachse.
 T = Dauer der Ableitung.
 Ek = elektromotorische Kraft zwischen den Ableitungsstellen während der Ruhe (in Compensatorgraden: 1 Cpgr = $\frac{1}{15000}$ D).
 Sch = Schieberstand. Auf einen Umlauf kommen 100 Schiebereinheiten.
 Bei Sch = 0 erfolgte jedesmal die Reizung.
 A = Ablenkung des Skalenbildes (in Skalentheilen).
 ↑ = Strom im Herzen aufsteigend.
 ↓ = " " absteigend.

A. Versuche, welche Doppelschwankung zeigen.

1. Vers. (No. II). 26. Februar 1874.

10 h 10' Herz ausgeschnitten; Kammer dicht am Sulcus abgetrennt. Stillstand. Ableitung von der Vorderfläche; i = 5 mm. R an der Spitze, d = 1 mm. U = 4 Sec., T = 0'08.

Von 10 h 17' bis 10 h 22' wiederholt gereizt: r = 8 cm. Es kommen spontane Contraktionen, die durch Abtragen eines kleinen Stückes von der Basis beseitigt werden. Elektroden wie zuvor angelegt.

Ek = 0 Cpgr.

10 h 25' Beginn der Rheotomversuche. P = 20 Sec.

Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	93	2
99	2	92	1.5
98	10	"	1.5
"	10	91	0
97	10.5	92	0
"	11.0	"	1.0
96	8.0	93	2.0
"	10.0	"	3.0
95	5.5	"	3.5
"	9.0	94	5.0
94	0	"	6.0
93	2.0	95	13.0

10 h 42'. Das Herz fängt wieder spontan an zu zucken. Abtragung eines Stückchens Muskelsubstanz an der Basis: Stillstand. Elektroden wie früher angelegt.

Ek = 0 Cpgr.

10 h 48' Wiederbeginn der Rheotomversuche. $r = 6$ cm.

Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	93	6.0
0	0	92	3.0
99	0.5	"	2.5
"	1.0	91	1.5
98	9.0	"	1.5
"	8.0	90	0.5
97	9.5	"	0.5
"	10.5	89	1.0
96	10.0	"	1.0
"	10.0	88	1.5
95	9.5	"	1.5
"	9.0	87	4.0
94	7.0	"	4.5
"	7.5	86	0.0
93	6.5	"	0.5

11 h 5'. Ek = 0.

2. Vers. (No. V). 27. Febr.

10 h 7' Herz präparirt wie in 1. Ableitung von der Vorderfläche der Kammer in 2 und 5 mm Entfernung von der Basis.

R an der Spitze. $d = 1$ mm. $r = 4$ cm. $P = 20$ Sec.

U = 3 Sec. T = 0.03.

10 h 41'. Ek = 25 Cpgr.

" 44'. " = 21 "

Das Herz klopft ein paar Mal spontan. Nach Abtragen eines Stückes von der Basis dauernder Stillstand. Elektroden wie zuvor angelegt.

10 h 50'. Ek = 15.5 Cpgr. Dieser Ruhestrom giebt bei T = 0.03 keinen merklichen Ausschlag. Wird ausserdem compensirt. 10 h 52' Beginn der Reizungen.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	97	3,0	95	4,0	92	1,0
99	3,5	"	1,0	94	2,5	"	1,0
"	3,5	96	3,5	"	2,5	91	0,5
98	4,0	"	3,5	93	2,0	"	0,5
"	3,5	95	5,0	"	2,0	90	0,5

3. Vers. (No. VI). 1. März 1874.

11 h 3'. Herz präparirt wie oben. Ableitung von der Spitze und 1 mm von der Basis; i = 5.5 mm. — R an der Basis; r = 6 cm; d = 1 mm. U = 3 Sec. T = 0:03 — P = 30 Sec.

11 h 9'. Ek = 19 Cpgr.

" 13'. " = 9 "

" 15' Anfang der Rheotomversuche.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	94	2	99,0	4,5
99	1,5	95	1	98,0	5,0
98	5,0	96	1,5	97,0	4,0
97	3,0	97	5,0	96,5	1,0
96	3,0	98	6,5	96,0	2,0
95	2,5	99	4,0	95,5	2,5
94	1,5	0	0,0	95,0	2,0
93	1,5	99,5	3,0		

11 h 25'. Das Herz beginnt spontan zu klopfen.

4. Vers. (No. XII). 6. März 74.

10 h 0' Kammer ausgeschnitten. Ableitung von der Vorderfläche, nahe der Basis; i = 1,5 mm. R an der Basis, d = 4 mm. r = 6 cm. P = 30 Sec. U = 3 Sec. T = 0:03. 10 h 20' Ek = 12 Cpgr. Wird compensirt.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	92	0	93,5	1,5	93,0	1,5	92,5	0
99,5	0	93	0	93,0	1	92,5	1,0	92,0	0,5
99,0	0	93,5	0,5	92,5	0	92,0	1,0	91,5	1,0
98,5	0	94	0-0,5	92,0	0	91,0	4,0	91,0	3,5
98,0	0	94,5	1,5	92,5	0	90,5	4,5	90,5	3,0
97,5	0	95,0	4,0	93,0	1,0	90,0	0	90,0	1,0
97,0	1,5	95,5	4,5	92,5	1,0	90,5	3,5	Pause von 2 Minuten.	
"	1,5	96,0	3,0	92,0	0	"	2,5		
96,5	4,0	96,5	0	92,2	0,5	90,0	4,0	89,0	3,0
96,0	5,5	97,0	0	92,4	0,5	89,5	0	90,0	1,0
95,5	3,0	96,5	0	92,6	3,5	90,0	4,0	90,5	0
95,0	1,0	96,0	1,5	92,8	5,0	90,5	5,0	90,0	0,5
94,5	0,0	95,5	4,0	93,0	5,0	91,0	3,5	89,0	1,0
94,0	1,0	95,0	4,0	93,5	0,5	91,5	2,5	88,5	3,0
93,5	0,5	94,5	3,5	"	1,5	92,0	1,0	88,0	1,0
93,0	0,0	94,0	3,5	"	1,5				

11 h 15' Schluss der Beobachtungen.

In diesem Versuch zeigt sich das allmähliche Sinken des Leitungsvermögens sehr schön in dem immer späteren Eintritt der Schwankung. Der hohe Werth von d ist in dieser Hinsicht von Bedeutung. — Bemerkenswerth ist die nur geringe und erst gegen den Schluss deutliche Abnahme der Maximalauschläge, wie auch das allmähliche Erlöschen der zweiten $\uparrow$ gerichteten Schwankung.

5. Vers. (No. XIX). 9. März 74.

3 h 40' Herz wie oben präparirt. Ableitung von der vorderen Kammerwand in 3 u. 6 mm Entfernung von der Basis. — R an der Spitze. $d < 1$ mm; $r = 6$ cm. $U = 3$ Sec. $T = 0.06$. $P = 30$ Sec.

3 h 45' Ek = 15 Cpgr.

„ 50' „ = 12 „

„ 52' Anfang der Rheotomversuche.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	92	6,0 $\downarrow$	95	4,5 $\uparrow$
99	1,0	91	0,0	96	7,0 $\uparrow$
98	3,0	90	1,5 $\uparrow$	97	9,0 $\uparrow$
97	7,0 $\uparrow$	91	7,5 $\downarrow$	98	2,0 $\uparrow$
96	4,8 $\uparrow$	92	0	99	0,5 $\uparrow$
95	1,5 $\uparrow$	93	1,5—2 $\uparrow$	0	0
94	0,5 $\uparrow$	94	2,0 $\uparrow$	99	0
93	<0,5				

Ek = 0.

Pause von 10 Minuten.

4 h 20' Wiederbeginn der Reizungen. Alles wie oben.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	93	2,5 $\uparrow$	91	1,5 $\uparrow$
99	0	92	0,5 $\uparrow$	92	3,0 $\uparrow$
98	0	91	0,5 $\downarrow$	93	5,5 $\uparrow$
97	1,5 $\uparrow$	90	0	94	7,5 $\uparrow$
96	5,5 $\uparrow$	89	0	95	6,0 $\uparrow$
95	7,0 $\uparrow$	88	0,5 $\uparrow$	96	3,0 $\uparrow$
94	5,5 $\uparrow$	86	0	97	1,0 $\uparrow$
		90	1,5 $\downarrow$	98	0
				0	0

6. Vers. (No. XX). 9. März 74.

Dasselbe Herz wie in 5.

4 h 40': R an der Basis. $d = 0$ mm. $i = 2,5$ mm. Alles andere wie in 5.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	97	6,0	95	5,0
99	1,5	98	5,0	94	3,5
98	5,0	99	2,0	93	1,0
97	4,5	0	0,5	92	1,5
96	4,5	0	0	91	2,5
95	0	99	1,5	90	2,0
94	0	98	4,0	89	2,0
95	0	97	5,5	88	0
96	5	96	6,0		

Bei der letzten Reizung (88) zuckte das Herz nicht. Der Versuch musste abgebrochen werden (5 h 5').

B. Versuche welche ausschliesslich oder vorwiegend Einzelschwankung zeigen.

7. Vers. (No. XXVII). 16. März 74.

10 h 10' Herz mit Vorkammern am Sinus abgeschnitten. Stanniusscher Stillstand. Ableitung von Basis und Mitte der Vorderwand der Kammer; i = 3 mm. — R an der Spitze der Kammer; d = 3 mm. r = 7 cm. — U = 3 Sec., T = 0.06.

10 h 15' Ek = 0.

Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	96,5	4,5
	0	96,0	3,0
99	0	95,5	1,0
	0	95,0	0
98	2,5	94,5	1,0
	1,5	94,0	0
97,5	1,0	93,5	0
97,0	3,0	93,0	0

10 h 23'. Das Herz fängt an spontan zu klopfen. Pulsirt 10 Minuten lang mit einer Frequenz von ca. 55 Schlägen in der Minute. 10 h 34' Abtragen eines neuen Stückes an der Sinusgrenze: Stillstand. Elektroden u. s. w. wie zuvor.

10 h 36' Ek = 0.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	95,5	2,0	95,5	2,5
98	0	96,0	4,0	95,0	0
97	4,0	96,5	4,0	94,5	0
96,5	5,5	97,0	3,0	94,0	0
96,0	3,5	97,5	0,5	93,0	0
95,5	0,5	98,0	0	94,0	0
95,0	0	97,5	1,0	95,0	0
94,5	0	97,0	4,0	95,5	0,5
94,0	0	96,5	5,0	96,0	2,5
95,0	0,5	96,0	3,0	96,5	0

Die letzte Reizung bewirkte keine Zuckung. Die Reizelektroden wurden hierauf an der Basis angelegt: d = 2 mm. i = 2 mm. r = 8 cm. Alles sonst wie oben.

Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	95,0	1,5
98	0,5	94,5	1,0
97,5	2,0	94,0	0,5
96,5	3,0	93,5	1,0
96,0	3,0	93,0	0,5
95,5	1,0	92,0	0

Hier tritt wieder Doppelschwankung ein. Die ersten Ausschläge haben, entsprechend der veränderten Lage der Reizstelle, entgegengesetzte Richtung (absteigender Strom).

8. Vers. (No. XV). 9. März 74.

Dieser (in Fig. 8 graphisch dargestellte) Versuch zeigt bei übrigens höchst regelmässigem Charakter eine unerklärte Abnormität in dem der Negativitätswelle jedesmal vorausgehenden kurzen positiven Vorschlag ¹⁾. Dass hier keine zufällige Störung durch einen ausserhalb der Versuchsbedingungen gelegenen Umstand im Spiel war, lehren die folgenden Zahlen wie ich meine ganz unbestreitbar.

Die Kammer ward 10 h 20' in der üblichen Weise am Vorhof abgeschnitten. Ableitung in 1 und 4 mm Entfernung vom Querschnitt. R an der Spitze, d = 3 mm. r = 5 cm. U = 3 Sec. T. = 0'06. P = 30 Sec.

Ek anfangs 15 Cprgr. Sinkt bis 10 h 30' auf beinahe Null.

Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.	Sch.	A.
0	0	70	0	98,0	1 ↓	88	3,5—4
99	0	74	0	99,0	0	89	5,0
98	0,5	78	0	98,0	1 ↓	90	6,5—7,0
97	1,0 ↓	82	0	97,5	0	91	8,0
96	1,0 ↓	84	0	98,0	1 ↓	92	6,0
96	0	86	0	98,5	0	93	4,5
96	0	87	0	98,0	1 ↓	94	1,5
95	0	88,0	0,5	97,5	0	95	0,5
94	3	88,5	1,0	97,0	0,5 ↓	96	0
93	7	89,0	1,5	96,0	0	96	0
92	6	89,5	2—2,5	95,0	0	95	0
91	5	90,0	3,0	94,5	1,0	94	0,5—1
90	2	90,5	4,5	94,0	2,0	93	2,5—3
89	1,5	91,0	5,5	93,0	4,5	92	4,5—5
88	1,0	91,5	7,5	92,0	9,0	91	7,0
87	0	92,0	9,0	91,0	7,5	90	7,5
86	0	92,5	10,0	90,0	5,5	89	7,0
85	0	93,0	7,5	89,0	3,5	88	4,5
83	0	93,5	7,0	88,0	3,0	87	4,0
81	0	94,0	3,5	87,0	1,5	86	3,0
80	0,5 ↑	94,5	2,5	86,0	1,0	84	1,5
78	0	95,0	0,5	84,0	0	82	0
76	0	95,5	0	84,0	0	82	0
74	0	96,0	0	86,0	1,0	90	6,5
70	0	98,0	1 ↓	87,0	1,5—2	93	3,5 ↑
66	0					94	1,0
						95	0

1) Dieser ist in der Zeichnung weggelassen.

9. Vers. 19. Juni 74.

Verzögerter Verlauf und Summierung von Erregungsschwankungen nach Aufhebung des Leitungsvermögens durch Vergiftung mit Muscarin. Kräftige elektromotorische Wirkungen bei Abwesenheit deutlicher Contraktilitätserscheinungen.

Grosse *R. esculenta*. 2 h 40' Gehirn und Rückenmark mittelst Nadel zerstört. Canüle in das centrale Stück der Vena abdominalis gebunden. Herz blossgelegt.

Pulsfrequenz (in 15 Sec.): 10. 10. 9. 10. 11. 10.

2 h 44'. Injektion von 0,077 ccm einer 1 % Lösung von salzsaurem Muscarin in die Vena abdominalis.

2 h 45' Herz steht in Diastole still.

„ 45' 40'' Wiederbeginn der Contraktionen.

Frequenz (in 15 Sec.): 8. 8. 7. 7. 6. 5. 4. 5. 4. 1. 0. 0. 0. 0. Herz herausgeschnitten. Beginnt sogleich mit anscheinend grosser Kraft und in ziemlicher Frequenz (8 in 15 sec.) zu klopfen. Kammer dicht unterhalb der Vorhofsgrenze abgeschnitten. Breit von der Schnittfläche und spitzer von der Mitte der Vorderfläche der Kammer abgeleitet.

2 h 57' Ek = 246 Cpgr. ↓

Die Kraft sinkt nun bis 3 h 25' allmählich auf 47 Cpgr. ↓

Zu dieser Zeit geben die kräftigsten Induktionsschläge keine merkliche Zuckung mehr. Auch fehlt, bei lokalisirter Reizung in wenigstens 1 mm Entfernung von den ableitenden Elektroden, jeder elektromotorische Effekt der Reizung. Also auch keine Reizwelle.

3 h 28'. Neuer Querschnitt an der Basis. Abgeleitet wie oben.

Ek = 187 Cpgr. ↓

3 h 30' = 155 Cpgr. ↓

Zwei Oeffnungsschläge bei 11 cm r durch die ableitenden Elektroden geschickt. Dauernde Schliessung des Galvanometerkreises unmittelbar nach der Reizung: keine merkbare Schwankung.

3 h 33'. Ek = 125 Cpgr. ↓

1 Oeffnungsschlag bei 10 cm r, ebenso: deutliche, sehr langsam ablaufende negative Schwankung von ca 30 sc. Keine Contraktion.

3 h 34'. Ek = 112 Cpgr. ↓

3 h 34' 30''. 5 Oeffnungsschläge (r = 10 cm) in Pausen von 5 Sec. Nach jedem Schlag deutliche negative Schwankung des Ruhestromes. Diese Schwankungen summiren sich.

3 h 35' 30''. Ek = 78 Cpgr. ↓

„ 36' 30''. „ 88 „

„ 37' „ 90 „

„ 38' „ 87 „

„ 40' „ 84 „

3 h 41'. 3 Oeffnungsschläge ($i = 10$ cm) durch die Längsschnittelektrode und (mittelst einer Platinaspitze) durch die Herzspitze geleitet. $P = 5$ Sec. Keine merkliche Contraction.

3 h 42' Ek = 60 Cpgr. ↓

" 43' " 64,5 "

" 45' " 66,0 "

" 50' " 57,5 "

" 51'. 10 Induktionsschläge ($r = 10$ cm) ebenso wie 3 h 41'. Keine merkbare Contraction. Umkehr des Ruhestromes!

3 h 52' Ek = 5 Cpgr ↑

" 53' " 13 " ↓

" 54' " 23 " ↓

" 55' " 34 " ↓

" 56' " 42 " ↓

" 57' " 46 " ↓

" 58'. Neuer Querschnitt an der Basis. Ableitung wie oben.

4 h 1' Ek 190 Cpgr ↓

" 2' " 180 "

" 3' 5". Induktionsschläge ($r = 8$ cm, $P = 5$ Sec.) durch die Querschnittelektrode und eine an den Querschnitt angelegte Platinaspitze der Kammer zugeführt. Keine merkliche Schwankung. Die Kraft sinkt wie bisher gleichmässig weiter.

4 h 4' 164 Cpgr ↓

" 5' 156 " ↓

" 6' 148 " ↓

Von 4 h 6' 30" bis 7' 20" 10 Oeffnungsschläge ($r = 8$ cm. $P = 5$ Sec.) durch Längsschnittelektrode und Herzspitze. Nach jedem plötzliches Sinken der Kraft. Keine Contraction.

4 h 8' Ek 37 Cpgr ↓

" 9' " 69 " ↓

" 10' " 83,5 " ↓

" 11' " 89,0 " ↓

" 13' " 94,0 " ↓

" 15' " 93,0 " ↓

" 18' " 92,0 " ↓

" 19' " 89,0 " ↓

" 21' " 84,0 "

Utrecht, Ende Februar 1878.