

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Kiel.)

Über die Leitungsgeschwindigkeit in den markhaltigen, menschlichen Nerven.

Von

Dr. **H. Piper**, Privatdozent für Physiologie.

(Hierzu Tafel XI.)

I. Frühere Messungen.

Die Untersuchungen über die Leitungsgeschwindigkeit in den Nerven der Warmblüter, speziell des Menschen, haben bisher keine genügend sicheren und übereinstimmenden Werte ergeben. In den ersten Versuchen, die Helmholtz¹⁾ über diese Frage anstellte, wurden die Reaktionszeiten gemessen, wenn einmal eine Hautstelle am Kopf, also mit kurzem sensiblen Nerven, und dann ein weit vom Zentralnervensystem entfernter Punkt am Arm gereizt wurde. Die Differenz beider Reaktionszeiten kommt auf Rechnung der Wegdifferenz in der Leitung, gibt also die Leitungszeit in der Nervenstrecke, um welche der lange den kurzen sensiblen Nerven an Länge übertrifft.

Helmholtz fand so die Leitungsgeschwindigkeit im sensiblen Nerven zu etwa 60 m in der Sekunde, betont²⁾ aber die Unsicherheit, welche den so berechneten Werten bei der grossen Schwankungsbreite der Reaktionszeiten anhaftet und welche durch die sehr variable Leitungszeit in den zentral nervösen Gebilden bedingt ist. Die von anderen Forschern auf Grund der gleichen Methode gefundenen Zahlen weichen denn auch erheblich von den Helmholtz-

1) Helmholtz, Vortrag in der phys. ökonom. Gesellschaft zu Königsberg 13. Dezember 1850. Zitiert nach Hermann in Hermann's Handbuch der Physiologie Bd. 2 S. 18.

2) Helmholtz und Baxt, Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen. Monatsberichte der kgl. preuss. Akademie der Wissensch. zu Berlin 1867 S. 238.

schen Werten ab. Hirsch¹⁾ berechnet 30 m Leitungsgeschwindigkeit pro Sekunde aus Versuchen, in denen die Reaktionszeiten bei Reizung von Hand und Fuss verglichen wurden. Schelske²⁾, der aus der Differenz der Reaktionszeiten bei Reizung in der Leisten- und am Fuss die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nerven-erregung berechnete, fand 25—32,6 m, de Jaager und Donders³⁾ 26 m, v. Wittich⁴⁾ 34—44 m. Zu viel höheren Werten kommt Kohlrausch⁵⁾, der die Leitungsgeschwindigkeit zwischen 56 und 225 m pro Sekunde bei verschiedenen Versuchspersonen schwankend fand und im Mittel zu 94 m berechnete. Oehl⁶⁾ kommt wieder auf Werte von 32 m, ähnlich Kiesow⁷⁾, der 30—33 m im Mittel findet.

Die ausserordentlich voneinander abweichenden Werte, welche für die Leitungsgeschwindigkeit in den sensiblen Nerven auf Grund von Messungen der Reaktionszeit berechnet worden sind, können kaum sämtlich richtig sein, und die in so starken Zahlenunterschieden zum Ausdruck kommende Unsicherheit der Ergebnisse lässt die angewandte Methode zur Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit im Nerven als unzulänglich erscheinen. Die Leitung durch die nervösen Zentralorgane oder, wenn man so will, der psychische Faktor, der in der Aufmerksamkeits- und Willensanspannung in die gemessenen Zeiten eingeht, beansprucht den bei weitem grössten Teil der Reaktionszeit; die beträchtliche Variabilität der zentralen Leitungszeit bringt unregelmässige Schwankungen in die gemessenen Reaktionszeiten, die im Vergleich zu den zu berechnenden Zeitwerten der Leitung im peripheren Nerven sehr gross sind und wohl auch nicht durch Berechnung des Mittelwertes aus sehr zahlreichen Beobachtungen

1) Hirsch, Moleschott's Untersuchungen Bd. 9 S. 183.

2) Schelske, Arch. f. Anat. und Physiol. 1864 S. 151.

3) Donders, Arch. f. Anat. und Physiol. 1868 S. 657.

4) Von Wittich, Zeitschr. f. ration. Medizin 1868 Bd. 31 S. 87.

5) Kohlrausch, Zeitschr. f. ration. Medizin Bd. 28 S. 190. 1866. Bd. 31 S. 410. 1868.

6) Oehl, Fasola et Predigeri, Sur la vélocité de transmission de l'excitation dans les fibres sensibles de l'homme. Arch. ital. de Biologie t. 17 p. 400. 1892. — Oehl, L'influence de la chaleur sur la vélocité de transmission de l'excitation dans les nerfs sensibles de l'homme. Arch. ital. de Biologie t. 21 p. 401.

8) Kiesow, Contribution à l'étude de la vélocité de propagation du stimulus dans les nerfs de l'homme. Arch. ital. de Biologie t. 40 p. 273.

genügend auszugleichen sind. Auch kommt es nicht selten vor, dass die Reaktionszeit bei Reizung weit vom Zentralnervensystem abgelegener sensibler Punkte kürzer ausfällt als die, welche bei Reizung eines kurzen sensiblen Nerven gemessen wird; es würden sich dann negative Werte für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Nerven ergeben, die natürlich unmöglich sind.

Helmholtz¹⁾ und Baxt gingen zuerst in Erkenntnis dieser Sachlage zu einer direkteren Methode über, indem sie das am Froschischiadicus erprobte Verfahren der Leitungsmessung auf den Menschen übertrugen. Die Verdickung der Muskeln des Daumenballens wurde graphisch registriert, während der Nervus medianus einmal nahe am Handgelenk, das andere Mal am Oberarm oder in der Achselhöhle gereizt wurde. Aus der Differenz der Latenzzeiten berechnete sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu etwa 31,5—37,5 m, im Mittel zu 33,9 m. Im Vorderarmteil des Nerven schien die Fortpflanzungsgeschwindigkeit etwas grösser zu sein als im Oberarm; doch war dies nicht mit Sicherheit zu entscheiden. Place²⁾, der nach ähnlicher Methode wie Helmholtz arbeitete, fand solche Unterschiede in den Leitungszeiten verschiedener Abschnitte des Medianus sehr ausgesprochen; für den Vorderarm gibt er Leitungsgeschwindigkeiten bis zu 62, für den Oberarm 17—24 m an; im Mittel findet er 35,25 m pro Sekunde. Helmholtz³⁾ und Baxt setzten ihre Versuche (1870) fort und fanden zunächst ähnliche Werte wie früher: im Mittel 30,4 m für den N. medianus; später aber ergaben sich erheblich höhere Geschwindigkeiten, im Mittel 64,56 m pro Sekunde. Durch Abkühlung liess sich die Leitung bis auf 36,47 m pro Sekunde herabsetzen, durch Erwärmung beträchtlich steigern (bis 51,8, in einer anderen Versuchsreihe von 47,2 bis auf 56,8 m, in einer dritten bis 61,4, ja 89,4). In diesen Versuchen wurde im Gegensatz zu den früheren und denen von Place die Leitungsgeschwindigkeit im Vorderarm kleiner als im Oberarm gefunden.

1) Helmholtz und Baxt, Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen. Monatsber. der kgl. preuss. Akademie der Wissensch. 1867 S. 228.

2) Place, Über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes in den motorischen Nerven des Menschen. Pflüger's Arch. Bd. 3 S. 424.

3) Helmholtz u. Baxt, Neue Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Reizung in den motorischen Nerven des Menschen. Monatsber. der kgl. preuss. Akademie der Wissensch. 1870 S. 184.

Oehl¹⁾, welcher in seinen ersten Versuchen mit Fasola und Predigeri die Reaktionszeiten bei Reizung langer und kurzer sensibler Nerven gemessen und die Leitungsgeschwindigkeit der sensiblen Nerven zu 32 m in der Sekunde berechnet hatte, bestimmte später wie Helmholtz die Leitungszeit im motorischen Nerven, indem er die Differenz der Muskellatenzen bei Reizung des Nervus radialis in der Achselhöhle und an der palmaren Seite des Zeigefingers auswertete. Er fand die Leitungsgeschwindigkeit von der Temperatur abhängig, bei Erwärmung im Mittel zu 50 m in der Sekunde (Maximum 78 m, Minimum 36), bei Abkühlung im Mittel zu 25 m (Maximum 35 m, Minimum 20 m). Für die normale Körpertemperatur gibt er einen Wert von 30 m pro Sekunde an.

Alcock²⁾ registrierte den pneumatisch auf einen Schreibhebel übertragenen Fingerdruck, welcher bei Zuckungen der Flexores digitorum ausgeübt wurde, wenn der Nervus medianus oberhalb der Clavicula und im Sulcus bicipitis internus gereizt wurde. Aus der Differenz der Latenzzeiten bei beiderlei Reizungen ergab sich die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenregung im Mittel zu 66,8 m pro Sekunde; die Körpergrösse ist ohne Einfluss. Hermann gibt einen Wert von nur 36,9—43,4 m an.

II. Versuche.

Die Zusammenstellung der bisher berechneten Werte für die Leitungsgeschwindigkeit im menschlichen Nerven zeigt sehr verschiedene Zahlen, und es scheint deshalb wünschenswert, dass die Frage von neuem nach anderer und wohl leistungsfähigerer Methode in Angriff genommen wird. Der von mir eingeschlagene Weg der Untersuchung ist insofern derselbe, wie der von Helmholtz zuerst gewiesene, als ich die zwischen Nervenreiz und Erfolg im Muskel verstreichenden Latenzzeiten messe und die Leitungsgeschwindigkeit aus der Differenz der Latenzzeiten berechne, welche bei Reizung des motorischen Nerven einmal nahe dem Muskel, das zweite Mal möglichst nahe dem spinalen Ursprung sich regelmässig

1) Oehl, Nouvelles expériences touchant l'influence de la chaleur sur la vélocité de transmission du mouvement nerveux chez l'homme. Arch. ital. de Biologie t. 24 p. 231. 1895.

2) Alcock, On the rapidity of the nervous impulse in tall and short individuals. Proceedings Roy. Soc. London vol. 72 u. Journ. of Physiology vol. 30 p. 25.

3) Hermann, Lehrbuch der Physiologie S. 218.

findet. Abweichend von den früher benutzten Verfahren habe ich indessen den Zeitpunkt der Muskelreaktion nicht in dem Einsetzen seiner mechanischen Zustands- (Längen- oder Dicken-) Änderung gesucht, sondern in dem Beginn der elektromotorischen Tätigkeit, also des Aktionsstromes.

Die Methode war im ganzen ähnlich derjenigen, welche ich bei früheren Registrierungen der Muskelströme¹⁾ bereits verwendet und beschrieben habe. Die zur Ableitung dienenden unpolarisierbaren Elektroden wurden auf die Haut über den Unterarmflexoren aufgesetzt, eine etwa handbreit oberhalb des Handgelenkes, die andere etwas unterhalb der Ellenbeuge. Durch diese wurden die Muskelströme zu einem kleinen Edelmann'schen Elektromagnet-Saitengalvanometer abgeleitet. Das Bild der Saite wurde auf die 2 m entfernte photographische Registriervorrichtung mit Zeiss-Achromat B und Projektionsokular IV, mithin in 670facher Vergrößerung entworfen.

Zur Zeitschreibung diente das Engelmann'sche Metronom und zwar der auf 110 Schwingungen abgestimmte Stahlstab, dessen Schatten quer über den Spalt der Registriervorrichtung geworfen wurde.

Der Nervus medianus wurde mit den Öffnungsschlägen eines Schlitteninduktoriums gereizt. Eine grosse plattenförmige Elektrode wurde auf der Haut des Rückens, eine kleine knopfförmige auf den Reizpunkt des Nerven angesetzt. Die letztere war die Kathode des Öffnungsinduktionsschlages. Als dem Muskel nahe gelegener Reizpunkt wurde die Stelle gewählt, an welcher der Nervus medianus etwa 5 cm oberhalb vom Condylus internus humeri im Sulcus bicipitis internus leicht zugänglich ist; die zweite Reizstelle des Nerven lag in der Achselhöhle. Der Abstand beider Reizpunkte betrug ungefähr 16—17 cm. Dies ist wenigstens der Abstand der beiden Hautstellen, an denen die Elektroden angesetzt wurden. Nicht mit derselben Sicherheit ist aber zu sagen, dass auch der Abstand der Eintrittsstellen des Reizstromes in den Nerven diesen Wert hat, denn wie sich der Strom vom Punkt seiner grössten Dichte, der

1) Piper, Über den willkürlichen Muskel tetanus. Pflüger's Arch. Bd. 119 S. 317. 1907. — Piper, Neue Versuche über den willkürlichen Tetanus der quergestreiften Muskeln. Zeitschrift für Biologie Bd. 50 S. 396. 1908. — Piper, Weitere Beiträge zur Kenntnis der willkürlichen Muskelkontraktion. Zeitschr. f. Biol. Bd. 50 S. 506. 1908.

Hautstelle unter der Kathode, durch die Gewebe ausbreitet und wo er mit grösstem Reizwert in den Nerven eintritt, ist nicht direkt anzugeben. Indessen dies kann kaum weit von dem Ansatzpunkte der Reizelektrode der Fall sein, denn es ist eine recht genaue Lokalisierung der Elektrode über dem Nerven nötig, um erfolgreiche Reizung zu erzielen. Schon bei sehr geringer Abweichung von diesem Reizpunkt bleibt die Kontraktion der Unterarmflexoren trotz Anwendung beträchtlicher Reizintensitäten aus. Man darf demnach wohl annehmen, dass die Eintrittsstelle des Reizstromes in den Nerven, die physiologische Elektrode, sehr nahe unter der Hautstelle liegt, an welcher die Reizelektrode anliegt und somit der Abstand zwischen den beiden Reizpunkten auf der Haut etwa ebenso gross ist wie die Nervenstrecke, welche zwischen den beiden vom Reiz direkt betroffenen Nervenquerschnitten eingeschaltet liegt.

Eine besondere Einrichtung zur Reizmarkierung in den Kurvenaufnahmen erwies sich als überflüssig. In fast jeder Kurve verzeichnet sich der Reizmoment ohne weiteres, da regelmässig schwache Stromschleifen des Öffnungsschlages in den Galvanometerkreis einbrechen oder sich induzieren und die Saite momentan zum Ausschlag bringen. Auf diese Weise markiert sich in den Kurven der Reiz kurz vor dem Muskelstrom in Form einer kleinen Zacke (Tafelfig. a); der Punkt, in welchem die Abhebung dieser Zacke von der Abszissenachse einsetzt, ist also der Reizmoment (Tafelfig. 1); der Beginn der Muskelreaktion ist durch den Punkt angegeben, in welchem die doppelphasische Aktionsstromkurve anfängt sich von der Abszissenachse abzuheben (Tafelfig. 2). Diese Punkte sind mit befriedigender Sicherheit festzulegen und ihr Abstand mit dem Ophthalmometer auszumessen.

Bei diesen Messungen findet sich nun, dass das Zeitintervall zwischen Reiz und Beginn der Muskelreaktion stets grösser ist bei Reizung des zentralen Nervenendes in der Achselhöhle als bei Reizung des peripheren, dem Muskel nahen Nervenquerschnittes. Wurde in der Bicepsfurche gereizt, so ergab sich als Mittelwert der Latenzzeit bei zwölf Messungen 0,00442 Sek. Der grösste Wert war 0,00451, der kleinste 433 Sek. Die Latenzzeit der Muskelreaktion bei Reizung des Nerven in der Achselhöhle war bei zwölf Messungen im Mittel 0,00578 Sek., der grösste Wert 0,00583, der kleinste 0,00573 Sek. Die Differenz der Mittelwerte ergibt die mittlere Leitungszeit der zwischen beide Reizpunkte eingeschalteten Nervenstrecke = 0,00136 Sek. Da diese Strecke 16—17 cm lang war,

so würde die Leitungsgeschwindigkeit auf 117—125 m zu berechnen sein. Legt man der Rechnung die grösste überhaupt beobachtete Differenz der Latenzzeiten zugrunde, so erhält man die Leitungsgeschwindigkeit = 107—113 m; die kleinste beobachtete Differenz würde einen Wert von 131—139 m ergeben.

Setzt man die Nervenstrecke vom Reizpunkt in der Bicepsfurche bis zu den Nervenendplatten in den Unterarmflexoren auf 10 cm an, so würde die Nervenenerregung diesen Weg in 0,000833 Sek. zurücklegen bei Annahme der Leitungsgeschwindigkeit zu 120 m pro Sekunde. Bei Reizung des Nervus medianus in der Bizepsfurche vergingen im Mittel 0,00442 Sek. bis zum Beginn der Muskelreaktion. Zieht man von diesem Wert die Nervenleitungszeit 0,000833 ab, so erhält man die Latenz der Nervenendorgane + der des Muskels und findet diese = 0,003587 Sek.

Bei der Berechnung der eben mitgeteilten Werte ist vorausgesetzt, dass das Saitengalvanometer auf Intensitätsschwankungen durchgeleiteter Ströme momentan reagiert. Durch die Untersuchungen von Einthoven über die Eigenschaften des Instrumentes ist diese Voraussetzung als zutreffend erwiesen.

Es ist ferner angenommen, dass die Latenzzeit der Nervenendorgane und des Muskels einen konstanten Wert behält, gleichgültig an welchem Punkt im Verlaufe des Nerven der Reiz appliziert wird und gleichgültig ob die Reizintensität bzw. die Intensität der Nervenenerregung und Muskelinnervation in gewissem Spielraum variiert. Dass die Muskellatenz ihren Wert nicht mit dem Wechsel der Reizpunkte am Nerven ändert, ist sehr wahrscheinlich und wird bei allen Berechnungen angenommen, in welchen die Leitungsgeschwindigkeit im Nerven aus der Zeitdifferenz des Einsetzens der muskulären Reizerfolge bei Reizung verschieden entfernter Nervenquerschnitte abgeleitet wird.

Dass aber die Latenz des Muskels auch bei Variation der auf den Nerven wirkenden Reizintensität konstant bleibt, kann nicht als sicher erwiesen hingestellt werden. Tigerstedt¹⁾ fand in Versuchen an Froschmuskeln, dass bei direkter Reizung, also nicht vom Nerven aus, die Latenz nur bei maximaler und übermaximaler Reizung konstant war, dass sie aber bei submaximaler Reizung um so länger wurde,

1) Tigerstedt, Untersuchung über die Latenzdauer der Muskelzuckung in ihrer Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren. Arch. f. Physiologie 1885 Suppl. S. 162, 170 und 225.

je schwächer der Reiz und je kleiner die Hubhöhen der Muskelkontraktion waren. Ob dasselbe bei indirekter Reizung vom Nerven aus gilt, ist nicht einwandfrei festgestellt, Tigerstedt hält dies aber für wahrscheinlich.

In den oben beschriebenen Versuchen fand sich nun, dass eine gleichmässige Innervationsstärke der Zuckungen schwer innezuhalten war, und dass die Hubhöhen der Muskelzuckungen und die Amplituden der abgeleiteten Aktionsstromwellen beträchtlich grösser ausfielen bei Reizung des N. medianus in der Bizepsfurche als bei Reizung in der Achselhöhle trotz gleicher Intensität des Öffnungsschlages. Ich glaube nicht, dass diese Beobachtung auf Verschiedenheiten der Erregbarkeit des Nerven an beiden Reizpunkten zu beziehen ist, sondern dass der Strom durch dickere Haut und Fettschichten in der Achselhöhle durchgeleitet wird und in den Nerven dann mit geringerer Dichte und somit kleinerem Reizwert eintritt. Wurde bei Reizung des Nerven in der Achselhöhle die Intensität des Öffnungsschlages gesteigert, so liessen sich ebenso wie bei Reizung im Sulcus bicipitis maximale Zuckungen und Aktionsstromwellen von grosser Amplitude erzielen. Ich habe nicht aus den Messungen Unterschiede der Latenz des Muskelstromes bei schwacher und starker Nervenreizung ableiten können; indessen meine hierauf bezüglichen Beobachtungen sind zu wenig zahlreich und die Variationsbreite der Reizintensität bzw. der Innervationsstärke zu gering, um eine sichere Entscheidung dieser Frage zu gestatten. Jedenfalls sind die von der Reizintensität abhängigen Variationen in der Latenzzeit des Muskels, falls sie überhaupt existieren, bei den hier angewandten, ziemlich grossen Reizstärken so gering, dass durch die Vernachlässigung dieses Faktors keine erheblichen Fehler in die oben gegebene Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit des Nerven eingegangen sein dürften.

Es darf wohl als erwiesen gelten, dass Erregbarkeit und Leitfähigkeit eines Nerven an allen Punkten seines Verlaufes gleich sind. Die Erregbarkeit schien früheren Forschern am zentralen Nervenende grösser zu sein als am peripheren. J. Munk und Schultz¹⁾ und O. Weiss²⁾ zeigten indes, dass solche Erhöhungen der Erregbarkeit nur in der Nähe von Nervenquerschnitten, sei es des Stammes oder von Zweigen, auftreten und dass der intakte Nerv (Ischiadicus des

1) J. Munk und Schultz, Arch. f. Physiologie 1898 S. 297.

2) O. Weiss, Pflüger's Arch. Bd. 72 S. 15. 1899.

Frosches, Vagus und Phrenicus bei Säugern) keine merklichen Unterschiede der Erregbarkeit an verschiedenen Punkten seines Verlaufes bietet. Wenn Erregbarkeit und Leitfähigkeit überhaupt unabhängig voneinander variierende Qualitäten des Nerven sind, was Fröhlich und Boruttau¹⁾ mit guten Gründen bestreiten, so ist doch jedenfalls erwiesen, dass auch die Geschwindigkeit der Nervenleitung (ebenso wie die Erregbarkeit) überall im Bereiche eines Nerven gleich ist. Du Bois-Reymond²⁾ und Engelmann³⁾ haben das für den Froschischadicus dargetan, und Nicolai⁴⁾ zeigte dasselbe am Riechnerven des Hechtes. Helmholtz und Baxt⁵⁾ freilich fanden in ihren ersten Versuchen eine peripher zunehmende Leitungsgeschwindigkeit, später umgekehrt eine Abnahme nach dem distalen Nervenende zu. Indessen die von ihnen gefundenen Unterschiede sind gering und werden von ihnen selbst nicht als gesichert erwiesen betrachtet. Die groben Unterschiede in der Leitfähigkeit verschiedener Strecken ein und desselben Nerven, welche Place⁶⁾ angibt, sind nicht bestätigt worden.

Nach Engelmann⁷⁾ und Nicolai⁸⁾ ist die Leitungsgeschwindigkeit unabhängig von der Intensität der Reizung; es würde sich demnach um einen Vorgang im Nerven handeln, der einmal ausgelöst sich mit einer vom Nerven allein bestimmten Geschwindigkeit ausbreitet. Durig⁹⁾ freilich hält die Frage nach dem Einfluss der Reizstärke auf die Geschwindigkeit der Nervenleitung für unerledigt. Liegen die Verhältnisse aber so, dass die Erregung sich im Nerven mit überall gleicher und von der Reiz-

1) Fröhlich und Boruttau, Erregbarkeit und Leitfähigkeit der Nerven. Zeitschr. f. allgem. Physiologie Bd. 4 S. 153.

2) du Bois-Reymond, Über die Geschwindigkeit der Nervenleitung. Arch. f. Physiologie 1900 Suppl. S. 68.

3) Engelmann, Graphische Untersuchungen über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nervenregung. Arch. f. Physiologie 1901 S. 1.

4) Nicolai, Über Ungleichförmigkeiten in der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Nervenprinzips nach Untersuchungen am marklosen Riechnerven des Hechtes. Arch. f. Physiologie 1905 Suppl. S. 341.

5) Helmholtz und Baxt, l. c. 1867 u. 1870.

6) Place, l. c.

7) Engelmann, l. c. 1901.

8) Nicolai, l. c. 1905.

9) Durig, Wassergehalt und Organfunktion. III. Pflüger's Arch. Bd. 92 S. 293. 1902. Zentralbl. f. Physiologie 1906 S. 805.

stärke unabhängiger Geschwindigkeit fortpflanzt, so dürfte in die oben von mir durchgeführte Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit kein Fehler dadurch eingeführt sein, dass der den Nerven treffende Reiz nicht durchgehends gleich war, wie aus den Variationen der Hubhöhen der Zuckungen und der Amplituden der abgeleiteten Stromwellen ersichtlich war. Von der Bedeutung der Reizstärke für die Grösse der eigentlichen Muskellatenz ist bereits oben die Rede gewesen.

Dass Erwärmung die Leitfähigkeit des Nerven erhöht, Kälte sie herabsetzt, ist eine durch viele Versuche gesicherte Beobachtung und von Helmholtz¹⁾ für den menschlichen Nerven erwiesen, von Oehl²⁾ bestätigt. Ob die mit dem Wechsel der Jahreszeit einhergehenden Schwankungen der Eigentemperatur der menschlichen Gliedmassen genügen, um die Leitfähigkeit des tief in den Geweben eingebetteten Nerven in solchem Maasse zu beeinflussen, wie Helmholtz und Baxt für möglich halten — sie fanden in den ersten³⁾, im Winter angestellten Versuchen einen Mittelwert von 30—33 m, in den späteren⁴⁾ Sommerversuchen etwa 60 m Leitungsgeschwindigkeit — beabsichtige ich noch nachzuprüfen. Möglich wäre ja, dass der von mir berechnete hohe Geschwindigkeitswert der Nervenleitung sich fand, weil die Versuche in der warmen Jahreszeit (Juni) angestellt wurden, und dass sich in Winterversuchen die Leitfähigkeit beträchtlich vermindert.

Endlich wäre noch zu beachten, dass auch individuelle Variationen der Leitungsgeschwindigkeit in den peripheren Nerven so gut wie in den Nervenzentren möglich sind. Auch diese Frage liesse sich mit der hier angewandten Methode einer Erledigung zuführen.

1) Helmholtz und Baxt, l. c. 1870.

2) Oehl, l. c.

3) l. c. 1867.

4) l. c. 1870.

Fig. 1.

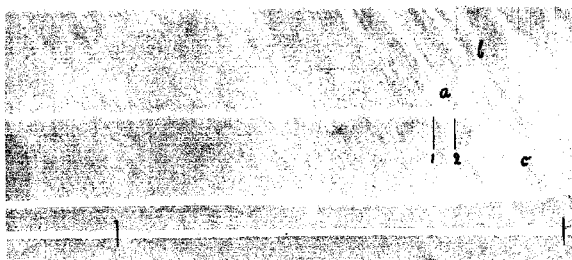


Fig. 2.



Fig. 3.

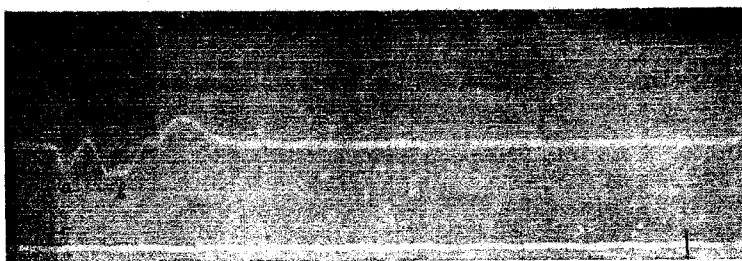


Fig. 4.

