Aus der Medizinischen Universitätsklinik zu Breslau (Direktor:
Geh. Med.-Rat Prof. Dr. Minkowski).

Eine neue Methode zur Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit im sensiblen Nerven beim Menschen.

Von

Dr. Harry Schäffer.

Assistent der Klinik.

(Mit 1 Abbildung und 2 Kurven.)

Die Bestimmung der Leitungsgeschwindigkeit sensibler Nerven stößt beim Tier kaum auf größere Schwierigkeiten als die der motorischen: Man hat nur nötig, die Aktionsströme einer hinteren Wurzel zu registrieren, während man den zugehörigen gemischten Nerven nacheinander an zwei voneinander möglichst entfernt gelegenen Stellen mittels Einzelinduktionsschlages reizt, und die Differenz des zeitlichen Beginns der erhaltenen Kurven zu messen. Aus dieser und der bekannten Entfernung der Reizpunkte ist der gesuchte Wert zu berechnen.

Ungleich schwieriger gestaltet sich die Bestimmung beim Menschen. Das einzige bisher bekannte Verfahren verdanken wir Helmholtz¹⁾. Es beruhte auf der Feststellung der Differenz der Reaktionszeiten bei Reizung zweier verschieden weit vom Gehirn entfernter Hautstellen. Die Versuchsperson wurde durch Induktionsschlag an einer Stelle der Hand gereizt und mußte in dem Augenblick, in dem sie den Reiz empfand, einen Taster niederdrücken. Die Zeit zwischen dem Hautreiz und dem Niederdrücken des Tasters, nach der Methode von Pouillet bestimmt, gab die Reaktionszeit für diese Reizstelle. Die gleiche Messung wurde darauf an einer dem Gehirn näher gelegenen Stelle, etwa am Kopfe, vorgenommen. Aus der gefundenen Differenz der Reaktionszeiten und der verschiedenen Länge der sensiblen Bahnen war die Leitungsgeschwindigkeit zu ermitteln.

---

1) Vortrag in der phys.-ökon. Gesellsch. zu Königsberg am 13. Dez. 1850, sowie Arch. f. Anat. u. Phys. 1850.

Zahlreiche Modifikationen der Methode durch spätere Autoren haben an ihrem Prinzip nichts geändert. Sie betrafen wesentlich die Ausführung der Reaktionszeitbestimmung und die Wahl geeigneter Nervenbahnen.

Auffällig groß ist die Schwankungsbreite der Ergebnisse. Helmholtz selbst fand im Mittel $61,0 \pm 5,1$ m pro Sek. Den höchsten Wert gibt Kohlrausch¹⁾ mit 94 m pro Sek. an, den niedrigsten Donders²⁾ mit 26 m pro Sek. Eine übersichtliche Zusammenstellung aller Arbeiten s. bei Münnich³⁾.

Im Hinblick auf die große Zahl verschiedenartiger Faktoren, die auf die Länge der Reaktionszeit von Einfluß sein können, wird diese Unsicherheit der Resultate kaum wundernehmen. Wechselnde Aufmerksamkeit der Versuchsperson, der Grad ihrer Ermüdung u. a. m. sind hier von Bedeutung.

Exaktere Werte erzielte die Bestimmung am motorischen Nerven, die ebenfalls auf Helmholtz zurückgeht. Der am isolierten Froschnerven für gangbar befundene Weg ließ sich mit entsprechenden Änderungen auch beim Menschen anwenden. Helmholtz und Baxt verzeichneten die Kontraktionskurve der Daumenballenmuskulatur, während der N. medianus zuerst in der Achselhöhle, dann kurz oberhalb des Handgelenkes mit Öffnungsschlag gereizt wurde. Die Differenz der Latenzzeiten beider Kontraktionen ergab die Dauer der Leitungszeit für die zwischen den Reizpunkten gelegene Nervenstrecke. Bei ihren ersten Versuchen während der Sommermonate⁴⁾ fanden die Autoren im Mittel 33,9 m pro Sek., bei späteren im Winter⁵⁾ 64,56 m pro Sek.

Ungleich höhere Werte (120 m pro Sek.) gab Piper⁶⁾ an, der im Prinzip die Helmholtzsche Anordnung benutzte, jedoch an Stelle der mechanischen Kontraktion die Muskelaktionsströme registrierte.

In neuerer Zeit hat dann Münnich⁷⁾ auf Anregung von Garten die Fehlerquellen derartiger Versuche einer näheren Prüfung unterzogen. Er konnte mittels eines Modells, das die Verhältnisse der Nervenreizung am Menschen nachahmte, zeigen, daß vor allem die Entfernung der

1) Zeitschr. f. rat. Med. 1866, Bd. 28, S. 190, u. 1868, Bd. 30, S. 410.

2) Arch. f. Anat. u. Phys. 1868, S. 657.

3) Zeitschr. f. Biol. 1916, Bd. 66, S. 1.

4) Monatsber. d. Kgl. Pr. Akad. d. Wiss., Sitz. vom 29. IV. 1867.

5) Monatsber. d. Kgl. Pr. Akad. d. Wiss., Sitz. vom 31. III. 1870.

6) Pflügers Arch. 1908, Bd. 124, S. 591, u. 1909, Bd. 127, S. 474.

7) Zeitschr. f. Biol. 1916, Bd. 66, S. 1.

Reizelektroden vom Nerven das Resultat der Messung beeinflußt. Je größer die Distanz der Elektrode ist, um so unschärfer wird die Lokalisation der Reizstelle am Nerven werden. Statt an einem zirkumskripten Punkt wird der Nerv in mehr oder weniger großer Ausdehnung von Stromschleifen durchsetzt, und dies muß wieder eine um so erheblichere Rolle spielen, je kürzer die zur Messung benutzte Nervenstrecke an sich schon ist. Es wird hierdurch verständlich, daß Münnich mit größerer Entfernung einer Elektrode vom Nerven höhere Werte für die Leitungsgeschwindigkeit erzielte. Die in Erregung versetzten Punkte des Nerven lagen eben infolge der Ausbreitung der Stromschleifen einander näher als es der Stellung der Elektroden entsprach.

Unzweifelhaft sind diese Tatsachen für die Bewertung der Piper'schen Zahlen von Bedeutung. Einmal betrug die Entfernung der Reizpunkte am Oberarm in seinen Versuchen nicht mehr als 16 cm. Ferner geht aus seiner Angabe, daß zur Erzielung der gleichen Muskelkontraktion an der oberen Reizstelle erheblich größere Stromstärken erforderlich waren, als an der unteren, wohl mit Sicherheit hervor, daß die obere Elektrode dem Nerven weniger dicht anlag als die untere. Um eine gleichmäßige Beteiligung aller Muskelfasern an der Kontraktion zu sichern, wandte Piper maximale Reize an. Es ist aber klar, daß dadurch die Ungenauigkeit der Reizlokalisierung infolge größerer Ausbreitung der Stromschleifen sich noch weiter erhöht.

Diese Fehler suchte Münnich zu vermeiden, indem er mit Strömen mittlerer Stärke reizte und möglichst lange Nervenstrecken zur Messung benutzte. Besonderen Wert legt er auf die Erzielung kongruenter Aktionsstromkurven, um damit sicherzustellen, daß die Kontraktionen beide Male auf die Beteiligung identischer Muskelpartien zu beziehen waren. Das Mittel aus seinen Zahlen für den Menschen beträgt 66,3 m pro Sek. Eine Nachprüfung durch Garten an einer zweiten Versuchsperson ergab 69 m pro Sek. Damit war gezeigt, daß die Benutzung der Aktionsstromkurve bei richtigem Vorgehen Werte von etwa der gleichen Größenordnung liefert, wie das frühere Helmholtzsche Verfahren und daß die hohen Zahlen von Piper offenbar technischen Mängeln zuzuschreiben sind.

Von einem einwandfreien Verfahren ist in erster Linie zu fordern, daß es von allen mit der Interferenz psychischer Faktoren notwendig verknüpften Fehlerquellen frei ist. Der Weg hierzu ist gegeben, wenn es gelingt, die Messung der Reaktionszeit zu ersetzen durch die Messung einer Reflexzeit.

Man hätte dabei in der Weise vorzugehen, daß man denselben sensiblen Nerven nacheinander an zwei möglichst weit entfernten Stellen seines Verlaufes reizt und die Aktionsströme der darauf erfolgenden Reflexzuckungen registriert. Wie bei der Messung am motorischen Nerven gibt auch hier die Differenz der Latenzzeiten unmittelbar die Leitungszeit für die zwischen den Reizpunkten gelegene Nervenstrecke.

Die Möglichkeit, diesen Weg zu verwirklichen, ist erst gegeben, seitdem Paul Hoffmann¹⁾ gezeigt hat, daß man durch elektrische Reizung des N. tibialis in der Kniekehle beim Menschen eine Reflexzuckung des Gastrocnemius erhalten, also gleichsam einen Achillesreflex elektrisch auslösen kann. Verzeichnet man nämlich, wie es Hoffmann tat, das Elektromyogramm der Wadenmuskeln, während man auf den Nerven einen einzelnen Öffnungsschlag appliziert, so zeigt die Kurve zwei einander sehr ähnlich gestaltete diphasische Schwankungen, von denen die erste dem Moment der Reizung mit kurzer Latenzzeit folgt und der indirekten Muskelzuckung entspricht, ausgelöst durch Erregung motorischer Fasern im N. tibialis, während die Latenzzeit der zweiten ungleich größer ist und fast genau mit der Latenzzeit des durch Schlag auf die Sehne ausgelösten Achillesreflexes übereinstimmt.

Demgemäß nahm Hoffmann an, daß der Reiz auf den N. tibialis zugleich dessen sensible Fasern erregt und dadurch ein Muskelreflex zustandekomme. Die andere Möglichkeit, daß etwa erst die Kontraktion des Muskels einen propriozeptiven Reflex auslöse, wurde im Hinblick auf die zu kurze Latenzzeit der zweiten Zacke abgelehnt. Jedenfalls reagiert der Gastrocnemius auf einen Reiz mit zwei Kontraktionen, die nur deswegen nicht als solche wahrgenommen werden können, weil sie infolge ihrer schnellen Aufeinanderfolge mechanisch in eine verschmelzen (P. Hoffmann²⁾).

Daß diese Deutung zu recht besteht, dafür ließ sich der noch fehlende Beweis auf relativ einfachem Wege erbringen. Ist nämlich die

1) Arch. f. Physiol. 1910, S. 236.

2) l. c., sowie Zeitschr. f. Biol. 1918, Bd. 68, S. 351.

zweite Zacke wirklich eine Reflexzacke, so muß ihre Latenzzeit umso kürzer werden, je mehr die Reizstelle am Nerven sich dem Rückenmark nähert. Das hat das Experiment in der Tat bestätigt. Nimmt man die Reizung des N. tibialis anstatt in der Kniekehle im proximalen Teil des Oberschenkels vor, am besten da, wo er mit dem N. peroneus als Ischiadicus unter dem M. gluteus max. hervortritt, so erhält man ebenfalls zwei getrennte diphasische Schwankungen, deren zeitliches Auftreten sich aber in charakteristischer Weise von den bei Reizung in der Kniekehle erhaltenen unterscheidet. Hat man in der Kurve den Moment der Reizung mitverzeichnet, so erkennt man leicht, daß die zweite Zacke sich dem Reizmoment genähert hat. Ihre Latenzzeit ist also kleiner geworden.

Damit ist eindeutig bewiesen, daß die der zweiten Zacke zugrunde liegende Erregung erst zum Zentralorgan (Zentrum des Achillesreflexes) auf- und dann erst im motorischen Teil des Tibialis zum Muskel absteigt, denn nur unter dieser Voraussetzung ist die beobachtete Verkleinerung der Latenzzeit der zweiten Zacke verständlich. Sie erklärt sich eben aus der Verkürzung des sensiblen Reflexbogens bei Reizung einer dem Reflexzentrum näher gelegenen Stelle.

Genau das entgegengesetzte Verhalten zeigt, wie zu erwarten, die erste der beiden Zacken des Elektromyogramms. Ihre Latenzzeit wird umso größer, je weiter die Reizstelle am Nerven sich vom Muskel entfernt, bzw. dem Rückenmark nähert.

Daraus ergibt sich für die gegenseitige Entfernung beider Zacken, daß sie bei Reizung in Punkt I (Kniekehle) relativ großen Abstand haben, bei Reizung in Punkt II (Oberschenkel) dagegen sehr nahe beieinander liegen.

Das Prinzip der Methode zur Bestimmung der sensiblen Leitungsgeschwindigkeit besteht also darin, daß von zwei Stellen des N. tibialis ein Muskelreflex im Gastrocnemius ausgelöst und die Differenz der Reflexlatenzzeiten gemessen wird¹⁾.

Hervorzuheben ist noch, daß die Verschiebung der ersten Zacken in beiden Kurven zugleich auch eine Messung am motorischen Nerven

---

1) Die Einschaltung des Zentralorgans in den Verlauf der zur Messung benutzten Nervenstrecke beeinträchtigt die Genauigkeit der Resultate in keiner Weise, da die Überleitungszeit für jedes Individuum eine bemerkenswerte Konstanz aufweist. Dies ist für die Sehnenreflexe in fremden und eigenen Versuchen bereits mehrfach bestätigt.

gestattet und damit ein Vergleich der Geschwindigkeit in beiden Nervenarten unter völlig identischen Bedingungen ermöglicht wird.

M e t h o d i k:

Zur Aufnahme der Aktionsstromkurven diente ein Huthsches Saitengalvanometer mit Platinsaiten von $3\ \mu$ Durchmesser bei 1000 facher Vergrößerung. Die Saite wurde stark gespannt, um den zeitlichen Ablauf der Ströme möglichst getreu wiederzugeben.

Die Konstruktion des Huthschen Aufnahmeapparates war so geändert worden, daß er Geschwindigkeiten des Films bis zu 2,50 m gestattete. Für den vorliegenden Zweck lief der Film meist mit 1,80 bis 2,30 m pro Sek. ab.

Zur Zeitschreibung diente eine vor den Versuchen von neuem geeichte Stimmgabel mit 190 Schwingungen in der Sekunde. Die Genauigkeit der Kurvenausmessung wurde weiterhin erhöht durch eine Vorrichtung zur Ordinatenzeitschreibung, bestehend aus einem modifizierten Wagnerschen Hammer, dessen feiner Zeiger das Strahlenbündel in seinem Knotenpunkt vor dem Okular des Galvanometers in schnellem Rhythmus unterbrach. Die 1., 3., 5. usw. senkrechte Linie der Kurven haben untereinander gleiche Abstände, die je $15,7\ \sigma$ ($1\ \sigma = \frac{1}{1000}$ Sek.) entsprechen.

Zur Reizung diente ein Induktorium mit Eisenkern, das von zwei Akkumulatorenzellen gespeist wurde. Die Öffnung des Primärkreises und zugleich die Registrierung des Reizmomentes vor dem Spalt des Aufnahmeapparates besorgte ein Gartenscher Kontaktapparat. Von der Exaktheit seiner Funktion überzeugt man sich, wenn man die völlige Koinzidenz der kleinen Reizeinbruchszacke mit dem ersten scharfen Abstieg der Reizmarkierlinie in den Kurven beobachtet.

Die Ableitung der Aktionsströme geschah mittels Bandelektroden, deren eine etwas unterhalb der Wadenmitte, die andere oberhalb der Knöchel um den Unterschenkel gelegt wurde.

Von den Reizelektroden lag die indifferente auf Sternum oder Nacken der Versuchsperson. Die differente (Knopfelektrode von 1 cm Durchmesser) war Kathode des Öffnungsschlages. Zur Reizung des N. tibialis in der Kniekehle wurde sie mit Band und Schnalle gut fixiert.

Schwieriger gestaltete sich die Reizung am Oberschenkel. Unter normalen Verhältnissen ist der Nerv hier erst bei viel stärkeren Strömen zu erregen als in der Kniekehle. Da jedoch besonderer Wert darauf

gelegt wurde, möglichst an beiden Stellen mit Strömen gleicher Intensität gleichstarke Kontraktionen der Wadenmuskeln zu erzielen, so wurden zu den Versuchen besonders fettarme Individuen ausgewählt, bei denen der Nerv infolge seiner relativ oberflächlichen Lage schon mit schwächeren Strömen zu erregen war.

Sehr störend wirkte anfangs, daß die am Oberschenkel nahe dem Becken anbandagierte Elektrode durch Kontraktionen benachbarter Muskeln schnell aus ihrer ursprünglichen Lage gebracht und damit der Reizeffekt verändert wurde. Es war daher notwendig, eine besondere Elektrode zu konstruieren, von der Form, wie sie die Abbildung zeigt. Nachdem die geeignetste Hautstelle markiert war, wurde die Elektrode

Fig. 1.
Ischiadicus-Elektrode.

von der Seite her so um den Oberschenkel geführt, daß der gepolsterte Teil seiner Vorderseite anlag, und dann die eigentliche Knopfelektrode *e* in ihrer gegen die übrigen Metallteile durch Glimmer isolierten Führung gegen den Nerven möglichst weit vorgeschoben und mit der Schraube *c* fixiert. Durch vorsichtiges Anziehen des Gewindes *d* konnte sie dann noch weiter in die Tiefe versenkt werden. Die Elektrode hält sich selbst und bleibt unveränderlich in der ihr gegebenen Stellung.

Hierdurch gelang es, die Reizwelle bei dem gleichen oder nur wenig größeren Rollenabstand zu erzielen wie in der Kniekehle. Voraussetzung hierfür ist allerdings sehr sorgfältiges, oft recht mühsames Ausprobieren der geeignetsten Elektrodenstellung.

Die zu den Versuchen benutzten Stromintensitäten lagen nur wenig oberhalb der Reizschwelle. Dies war notwendig, um erstens den Reizpunkt am Nerven möglichst genau lokalisieren zu können (s. oben) und zweitens, um Reflexzacken von genügend großer Amplitude zu erhalten. Es geht nämlich aus den Versuchen P. Hoffmanns¹⁾ hervor, daß starke Reize das Auftreten der Reflexzacke verhindern, wie ja auch Sehnenreflexe durch intensive Erregung sensibler Nerven gehemmt werden können.

1) Zeitschrift f. Biol. 1918, Bd. 68, S. 353.

Die Stellung der Elektrode am Oberschenkel muß so gewählt werden, daß nur der Tibialis erregt wird und keine Mitzuckung der Peronealmuskulatur erfolgt, da sonst das Elektromyogramm durch Interferenz der Aktionsströme beider Muskelgruppen unregelmäßige Form zeigt und für die Messung unbrauchbar wird. Die Erfüllung dieser Forderung stieß praktisch in keinem Falle auf Schwierigkeiten.

Schließlich kann die Messung deswegen mißlingen, weil die erste und zweite Zacke teilweise zusammenfallen. In diesem Falle muß versucht werden, eine mehr distalwärts gelegene Reizstelle für die Oberschenkelelektrode zu finden.

Trotz vieler dahin zielender Versuche ließ sich völlige Kongruenz der Aktionsstromkurven nicht erreichen.

Die an drei verschiedenen Versuchspersonen gewonnenen Werte sind in den folgenden Tabellen zusammengestellt.

I.

A. P., 20 Jahre. Normaler Ernährungszustand, in klinischer Behandlung wegen chronischer Bronchitis. Temperatur des Versuchsraumes 20° C. Entfernung der Reizpunkte 30 cm. Rollenabstand an beiden Reizstellen 82 mm. Siehe Kurve 1 und 2.

Nr. des Versuchs	Latenzzeit bei Reizung in der Kniekehle (σ)		Latenzzeit bei Reizung am Oberschenkel (σ)	
	I. Zacke	II. Zacke	I. Zacke	II. Zacke
1	5,30	31,60	11,34	27,50
2	5,30	31,80	10,12	26,10
3	5,57	—	11,45	26,50
4	5,30	—	11,60	26,50
Mittel:	5,37	31,70	10,88	26,65

Differenz der Latenzzeiten der beiden ersten Zacken 5,51 σ , daher Geschwindigkeit im motorischen Nerven = 54,4 m pro Sekunde.

Differenz der Latenzzeiten der zweiten Zacken 5,05 σ ; daher Geschwindigkeit im sensiblen Nerven = 59,4 m pro Sekunde.

II.

Frau K., Thc. pulm., 26 Jahre, in schlechtem Ernährungszustand, Distanz der Reizpunkte 24 cm. Temperatur des Versuchsraumes 18° C. R.-A. bei Reizung in der Kniekehle 75 mm, am Oberschenkel 78 mm.

Nr. des Versuchs	Latenzzeit bei Reizung in der Kniekehle (σ)		Latenzzeit bei Reizung am Oberschenkel (σ)	
	I. Zacke	II. Zacke	I. Zacke	II. Zacke
1	6,63	31,34	10,97	27,20
2	7,38	31,86	10,60	27,68
3	7,19	31,52	10,60	27,53
Mittel:	7,07	31,57	10,72	27,47

Differenz der Latenzzeiten der ersten Zacken 3,65 σ , Differenz der Latenzzeiten der zweiten Zacken 4,10 σ , demnach Geschwindigkeit im motorischen Nerven 65,75 m pro Sekunde und im sensiblen Nerven 58,53 m pro Sekunde.

III.

F. H., 18 Jahre, HCl-Verätzung der Speiseröhre, schlechter Ernährungszustand. Temperatur des Versuchsraumes 18° C. Distanz der Reizpunkte 29 cm. R.-A. an beiden Stellen 84 mm.

Nr. des Versuchs	Latenzzeit bei Reizung in der Kniekehle (σ)		Latenzzeit bei Reizung am Oberschenkel (σ)	
	I. Zacke	II. Zacke	I. Zacke	II. Zacke
1	6,51	30,77	10,60	26,81
2	6,34	31,06	10,46	26,62
3	—	—	10,11	26,55
Mittel:	6,42	30,91	10,39	26,66

Differenz der Latenzzeiten der ersten Zacken 3,97 σ , Differenz der Latenzzeiten der zweiten Zacken 4,25 σ , demnach Geschwindigkeit im motorischen Nerven 74,04 m pro Sekunde und im sensiblen Nerven 68,23 m pro Sekunde.

Die erhaltenen Werte für den sensiblen und motorischen Nerven stimmen innerhalb der Fehlergrenzen der Methode überein. Die Erregung pflanzt sich also in beiden Nervenarten mit gleicher Geschwindigkeit fort, wie dies nach den Erfahrungen am Tier bereits sehr wahrscheinlich geworden war.

Die Versuche bilden weiter eine Bestätigung der von Münnich und Garten¹⁾ für den motorischen Nerven erhaltenen Zahlen. Man

¹⁾ Zeitschr. f. Biol. 1916, Bd. 66, S. 1.

dürfte also der Wahrheit wohl am nächsten kommen, wenn man die Leitungsgeschwindigkeit für den menschlichen Nerven im Durchschnitt mit 60–65 m pro Sek. ansetzt.

Schließlich scheint die Annäherung dieser Zahlen an die Werte von Helmholtz zu beweisen, daß die Registrierung der Aktionsströme in gleicher Weise wie die Verzeichnung der mechanischen Kontraktion des Muskels geeignet ist, den wirklichen Wert für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Erregungsvorganges im Nerven zu ermitteln, was von mehreren Seiten im Hinblick auf die fast doppelt so hohen Werte von Piper in Zweifel gezogen worden war.

Kurve I. Reizung des N. tibialis in der Kniekehle. Oben: Aktionsstromkurve. Mitte: Reizmarkierlinie. Unten: Stimmgabelzeitschreibung.

Kurve II. Reizung des N. tibialis am Oberschenkel. Erklärung wie Kurve I.