

(Aus dem physiologischen Institute der Universität Innsbruck.)

Untersuchungen über die Topographie der elektromuskulären Sensibilität, nebst Beiträgen zur Kenntnis ihrer Eigenschaften.

Von

Dr. Adalbert Gregor.

(Mit 4 Textfiguren und Tafel I.)

Schon Duchenne, dem wir die ersten Angaben über die elektromuskuläre Sensibilität verdanken, hat auf die Möglichkeit hingewiesen, zahlenmässige Werte für die Empfindlichkeit der einzelnen Muskeln zu ermitteln¹⁾. Seine Absicht, eine derartige Untersuchung durchzuführen, scheint aber nicht zur Ausführung gekommen zu sein. Da der Gegenstand auch seither keine eingehendere Bearbeitung gefunden hat²⁾, im Hinblick auf die von Kerschner³⁾ angeregte Frage nach den Beziehungen sensibler Endigungen in den Muskeln zur elektromuskulären Sensibilität jedoch von Bedeutung ist, machte ich den Versuch, durch eine systematische Untersuchung der Stammesmuskulatur die quantitativen Differenzen ihrer faradischen Reizempfindlichkeit zu ermitteln.

Bei den mannigfachen, später zu erörternden Schwierigkeiten, denen die Prüfung der elektromuskulären Sensibilität begegnet, erwies sich die Methode der Minmalempfindung für eine ausgedehntere Untersuchung, wie sie geplant war, als die geeignetste.

1) Die bezügliche Angabe lautet: „Il est possible de traduire par des chiffres le degré d'excitabilité de la sensibilité de chacun des muscles et des nerfs. Ces recherches seront le sujet d'un travail spécial.“ De l'électrisation localisée. III. ed. p. 79. 1872.

2) Bezüglich der vorliegenden Literatur vgl. S. 4 ff.

3) L. Kerschner, Zur Theorie der Innervationsgefühle. Berichte des naturwissensch.-medizin. Vereines in Innsbruck 23. Jahrg. S. 45—89. 1896/97.

E. Pfliüger, Archiv für Physiologie. Bd. 105.

Als Reizapparat wurde ein durch einen Akkumulator betriebenes Schlitteninduktorium¹⁾ nach Du Bois-Reymond von 10,300 Windungen der sekundären Spirale verwendet. Die Reizfrequenz betrug 22—25 Unterbrechungen pro Sekunde. Eine breite Nackenelektrode stellte den indifferenten Pol vor, eine kleinere kugelförmige, mit feuchtem Leder überzogene Elektrode von 5 mm Durchmesser den differenten. In den sekundären Strom war ein Steinach'scher Quecksilberschlüssel als Nebenschluss eingeschaltet.

Die Angaben für die Reizempfindlichkeit in den anzuführenden Versuchen erfolgen nach den Rollenabständen in Millimetern: es entsprechen daher den grösseren Zahlenwerten niedrigere Reizschwellen, bzw. eine höhere Empfindlichkeit, den kleineren Zahlenwerten höhere Reizschwellen, bzw. eine geringere Empfindlichkeit. Sämtliche in der folgenden Untersuchung angeführten Reizwerte wurden in Versuchen an dem Verfasser selbst gewonnen. Derselbe ist 26 Jahre alt, wenig muskelkräftig, seine Haut dünn, das subkutane Fettgewebe ist nur schwach entwickelt.

Während der Untersuchung der Reizempfindlichkeit verschiedener Muskeln wurde eine Reihe von Erfahrungen über die Eigenschaften der elektromuskulären Sensibilität und ihre Beziehungen zur faradokutanen Sensibilität gesammelt, welche hier zunächst besprochen werden sollen.

1. Der elektromuskuläre Empfindungskomplex.

Wir drücken die gut durchfeuchtete differente Elektrode auf eine Stelle des Vorderarmes, welche ungefähr der Grenze des oberen und mittleren Drittels des *M. brachioradialis* entspricht und 1—1,5 cm vom Margo medialis dieses Muskels absteht. Nun werden in ziemlich kurzen Absätzen (ca. alle zwei Sekunden 1 mm) die Rollen einander genähert. Bei einem gewissen Rollenabstande (135—130 mm) treten entsprechend der gereizten Stelle eigentümliche, deutlich in die Tiefe lokalisierbare Empfindungen auf. Dieselben sind diskontinuierlich, wie oszillierend; wir erhalten den Eindruck eines grobwelligen Zitterns, eines Klopfens oder Wogens. Wird nun der Rollenabstand weiter vermindert, so wächst die Intensität der ausgelösten Empfindungen; das Zittern wird scheinbar lebhafter und feinwelliger.

1) Stehendes Modell von Petzold.

Bei einem Rollenabstande von 125—120 mm treten auch die bekannten faradischen Hautempfindungen und in der Tiefe lokalisierte Schmerzempfindungen auf. Eine noch weitere Verminderung des Rollenabstandes auf 110—100 mm ergibt ausser einer Steigerung der Intensität der beschriebenen Empfindungen ein Ausstrahlen derselben über einen grösseren Bezirk. Sie erscheinen bald über den ganzen Muskel ausgedehnt, und wir erhalten jetzt den Eindruck einer krampfhaften Steifung desselben. Zugleich mit den ersten Gelenksexkursionen gesellen sich zu den beschriebenen Empfindungen auch noch Bewegungsempfindungen hinzu, die deutlich von den faradomuskulären Empfindungen unterschieden und in die Gegend der bewegten Gelenke lokalisiert werden. Eine leichte Sonderung zwischen tiefen und oberflächlichen Empfindungen an der gereizten Stelle ist nur bei geringer Reizstärke möglich; gewinnen einmal die Schmerzempfindungen grössere Intensität, dann verschmelzen beide zu einem Komplex, der selbst bei grosser Übung kaum noch eine Unterscheidung in Muskel- und Hautempfindungen zulässt. Im allgemeinen lässt sich wohl in Übereinstimmung mit den meisten Beobachtungen behaupten, dass den faradokutanen Empfindungen ein viel hellerer, den faradomuskulären ein dumpferer Charakter zukommt; eine sichere Unterscheidung beider kann aber doch unter gewissen, später noch zu besprechenden Umständen unmöglich werden. Eine gleichzeitige Besichtigung der gereizten Stelle — am besten von einer zweiten Person vorgenommen — ergibt, dass bei einem Rollenabstande von 135—130 mm fibrilläre Zuckungen in der unter der Elektrode gelegenen Muskelpartie kenntlich werden; ferner, dass bei weiterer Verminderung des Rollenabstandes diese Zuckungen auch auf die zunächst benachbarten Bezirke übergehen und schliesslich bei einem Rollenabstande von 110—100 mm tetanische Kontraktionen des Muskels auftreten.

Wir wählen nun zweitens eine dem unteren Drittel des gleichen Muskels entsprechende Stelle zur Untersuchung. Hier sind es die Hautempfindungen, welche zuerst auftreten, da die Reizschwelle der faradomuskulären Sensibilität an diesem Orte erst bei 100—90 mm R.-A. erreicht wird. Bei diesem Rollenabstande treten in der Tiefe, diffus im Umkreise der Elektrode verteilt, Empfindungen auf, welche den früher besprochenen faradomuskulären qualitativ gleichen. Eine Besichtigung der gereizten Stelle lässt in diesem Versuche bei jenem Rollenabstande, welcher der Empfindungsschwelle

entspricht, noch keine Muskelzuckungen erkennen. Die weitere Verminderung des Rollenabstandes ist auch jetzt von der gleichen Reaktion wie beim ersten Versuche begleitet.

Die eben beschriebenen Versuche, an anderen Personen wiederholt, führten zu gleichen Ergebnissen. Hierbei wurde die Reizung zumeist an möglichst empfindlichen Stellen des Muskels vorgenommen, da ohne Hautanästhesie die Unterscheidung zwischen elektromuskulärer und faradokutaner Sensibilität an anderen Punkten erst nach grösserer Übung möglich ist. Demgegenüber gelang es einem Tabiker mit herabgesetzter Hautsensibilität, auch an Stellen von normal höherer faradokutaner Empfindlichkeit gleich bei der ersten Sitzung Haut- und Muskelempfindungen voneinander zu unterscheiden. Bei der Reizung an motorisch leichter erregbaren Muskelstellen trat bei geübteren Beobachtern die faradomuskuläre Empfindung zugleich mit den ersten, eben sichtbaren fibrillären Zuckungen auf, bei weniger geübten Personen dagegen erst bei lebhafteren Muskelkontraktionen. Bloss von einer ungeübten Versuchsperson erhielt ich mehrmals bei Verringerung des Rollenabstandes die Angabe „stärkeres Andrücken der Elektrode“.

In einer Reihe von Versuchen hatten die Versuchspersonen auch darauf zu achten, ob die Muskelreizung von Empfindungen einer Gelenkbewegung begleitet sei oder ob sie nur elektromuskuläre Empfindungen oder beides zugleich auslöse, während der Leiter des Versuches beobachtete, ob sichtbare Gelenkbewegungen eintraten. Bei dieser Versuchsanordnung entsprachen subjektiv empfundene Gelenkbewegungen stets den objektiv beobachteten. Auch erhielt ich von allen Versuchspersonen die Angabe, dass ihnen die Unterscheidung zwischen elektromuskulären Empfindungen und Bewegungsempfindungen leicht und sicher möglich sei. —

Zum Vergleiche mit den Ergebnissen der beschriebenen Versuche seien hier einige Angaben aus der Literatur herangezogen.

Einen unserem erstangeführten ähnlichen Versuch schildert Duchenne¹⁾: „Bei Faradisation mit einem Strome mittlerer Stärke über einem Nervenaste erhält man eine ziemlich starke Kontraktion, von einer dumpfen und schmerzlosen Empfindung begleitet (Sensation sourde indolente).“ Mit Verstärkung der Stromintensität

1) l. c. S. 762.

„nehmen die Empfindungen proportional an Stärke zu, um allmählich schmerzhaft zu werden“.

Bernhardt¹⁾ beschreibt die elektromuskuläre Sensibilität als jenes eigentümliche Gefühl, welches man empfindet, wenn die Muskeln, durch Induktionsströme gereizt, sich kontrahieren.

Erb²⁾ definiert die elektromuskulären Empfindungen als jene „Empfindungen, welche bei faradischer Reizung der Muskeln entstehen, der angewandten Stromstärke parallel gehen, sich bis zu heftigen Schmerzen steigern und von den gleichzeitig durch die Faradisation erzeugten Hautschmerzen unterschieden werden können. Es ist eine eigentümliche, dumpfe, spannende Sensation, die in geradem Verhältnisse zur Intensität der erreichten Muskelkontraktion steht. Auch bei starken galvanischen Strömen, sobald dieselben eine tetanische Kontraktion der Muskeln auslösen, wird diese Empfindung deutlich.“

Goldscheider³⁾ erhält bei Faradisation über einer durch Kokain anästhetisch gemachten Stelle „bei schwachen Strömen, welche eine geringe, aber deutlich sichtbare Kontraktion des Muskels herbeiführten, keine Empfindung“; eine solche trat vielmehr erst bei stärkerer Kontraktion auf. „Die Qualität derselben gleicht vollkommen derjenigen, welche man bei Druck auf den Muskel hat; das Gefühl wird nicht in der Haut, sondern in der Tiefe lokalisiert und ist diffuser Art. Es wird durchaus nicht als Bewegung aufgefasst und auch nicht in die zu bewegendenden Finger verlegt.“ Bei Druck auf die gleiche Stelle bemerkt Goldscheider eine in die Tiefe lokalisierte dumpfe Empfindung von eigentümlichem Charakter, welche sich sehr merklich von jeder anderen unterscheidet.

Schreuder⁴⁾ schildert die elektromuskuläre Empfindung wie folgt: „Beinahe alle untersuchten intelligenten Personen geben bei dieser Prüfung an, dass sie in der Nähe der Elektrode ein eigentümliches, kurz dauerndes, taubes Gefühl wahrnehmen, was einige

1) M. Bernhardt, Zur Lehre vom Muskelsinn. Arch. f. Psychiatrie Bd. 3 S. 624. 1872.

2) W. Erb, Handbuch der Krankheiten des Nervensystems. Ziemssen's Handb. d. spez. Pathol. u. Ther. Bd. 12. 1879. — W. Erb, Handbuch der Elektrotherapie. Ziemssen's Handb. d. allgem. Ther. Bd. 3 S. 99. 1882.

3) A. Goldscheider, Gesammelte Abhandlungen Bd. 2 S. 38. 1898.

4) H. W. Schreuder, Die elektromuskuläre Sensibilität S. 16. Inaug.-Dissert. Freiburg 1892. — Schreuder und Müller (l. c. S. 6) bringen eine Reihe älterer Literaturangaben.

Kontraktionsgefühl nennen, andere nicht. Die meisten nehmen dies gleichzeitig mit der Kontraktion wahr, bei einigen geht es voraus, bei anderen folgt es nach bei Annäherung der sekundären Rolle steigt ihre (sc. elektromuskuläre Empfindung) Intensität, und gleichzeitig verbreitet sie sich über eine grössere Strecke der sich kontrahierenden Muskelbündel. Merkwürdig ist hierbei, dass sie im letzten Falle in distaler Richtung der Elektrode beobachtet wird.“

H. F. Müller¹⁾ gibt an, dass das Gefühl des kreisenden Stromes von seinen Patienten zumeist als ein Surren, Prickeln, Wimmern, Vibrieren, Zittern bezeichnet wurde. Auch betont derselbe Beobachter ausdrücklich, dass die Definition der elektromuskulären Sensibilität als jener Empfindung, welche die elektrische (bezw. faradische) Muskelkontraktion begleitet, zu eng sei, weil „bereits schwache faradische Ströme, die überhaupt noch keine Kontraktion auslösen, gefühlt werden, anderseits, weil die Sensation des elektrisch gereizten Muskels auch bei fehlender elektrischer Erregbarkeit vorhanden sein kann.“ Müller beweist ferner, dass auch Duchenne der Ansicht war, dass die Sensation, welche die elektromuskuläre Kontraktion begleitet, auf die direkte Erregung der sensiblen Muskelnerven durch den faradischen Strom zu beziehen sei²⁾.

Dejerine beschreibt die bei direkter Muskelreizung auftretenden Empfindungen in folgender Weise: „Die Einwirkung des elektrischen Stromes auf die Muskeln ruft zugleich und neben der Kontraktion eine eigentümliche Empfindung hervor, welche wie die elektrokutane Empfindung bei einer gewissen Stärke des Stromes schmerzhaft wird: es ist dies die elektromuskuläre Sensibilität. Doch ist in diesem Falle die Erscheinung schon komplizierter wegen der unvermeidlichen Beteiligung der Hautnerven an der elektrischen Reizung“³⁾.

Aus diesen Angaben ist zu entnehmen, dass die Ansichten darüber, ob die faradomuskuläre Empfindung die Muskelkontraktionen begleite oder auch unabhängig von ihr auslösbar sei, geteilt sind. Vielleicht ist ein Vergleich der beiden eingangs beschriebenen Versuche

1) H. F. Müller: Über die Störungen der elektromuskulären Sensibilität bei Läsionen gemischter Nerven. Deutsches Arch. f. klin. Med. Bd. 55 S. 550—602. 1895.

2) l. c. S. 556.

3) J. Dejerine, *Semiologie du système nerveux. Traité de pathologie générale* t. 5 p. 881. 1901.

geeignet, die Widersprüche aufzuklären. Beim ersten dieser Versuche, bei welchem die Reizung an einem motorisch leichter erregbaren Punkte des Muskels erfolgte, traten die elektromuskulären Empfindungen zugleich mit den ersten sichtbaren fibrillären Zuckungen auf. Beim zweiten Versuche, bei welchem eine motorisch weniger leicht erregbare Muskelstelle gereizt wurde, stellten sich die elektromuskulären Empfindungen in voller Deutlichkeit lange vor den ersten Muskelkontraktionen ein. Dass jedoch hier sowie in einzelnen pathologischen Fällen mit gestörter Kontraktilität, aber erhaltener elektromuskulärer Sensibilität nicht doch auch Zuckungen feinerer Muskelbündel stattfanden, die bei der Beobachtung der Hautoberfläche der Wahrnehmung entgingen, ist vorderhand noch unerwiesen.

Zu Schreuders Angabe, dass die elektromuskuläre Empfindung bei Verringerung des Rollenabstandes in distaler Richtung von der Elektrode sich ausbreitend wahrgenommen werde, sei bemerkt, dass bei Reizung an motorischen Muskelpunkten die Empfindung zumeist nicht nur distalwärts, sondern auch, allerdings auf kürzerer Strecke, proximalwärts von der Elektrode lokalisiert wird. Bei Reizung an motorisch weniger leicht erregbaren Muskelstellen erscheint, wie bereits oben erwähnt, die faradomuskuläre Empfindung mehr diffus im Umkreise der Elektrode verteilt. —

Bei dem Studium der galvanomuskulären Empfindungen gingen wir von einer ähnlichen Versuchsanordnung aus, wie sie uns zur Prüfung der faradischen Muskelempfindlichkeit diene. Den indifferenten (positiven) Pol bildet die auch bei jenen Versuchen verwendete breite Nackenelektrode, den differenten (negativen) eine gut durchfeuchtete Elektrode von 11 mm Durchmesser. Die Kathode wurde an eine motorisch leichter erregbare Muskelstelle gelegt und ein Element der galvanischen Batterie nach dem anderen in den Stromkreis eingeschaltet. Bei einer Stromintensität von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ M.-A. stellt sich beim Stromschlusse eine deutlich in die Tiefe lokalisierbare Empfindung von momentaner Dauer ein. Die Qualität dieser galvanomuskulären Empfindung erscheint von der durch kontinuierliche faradische Reizung ausgelösten deutlich verschieden. Reizt man dagegen bloss mit einzelnen Öffnungsschlägen, so erscheint die Qualität der faradomuskulären Empfindung gleich jener der galvanomuskulären. Bei einer Stromintensität von ungefähr 1 M.-A. treten an der er-

wählten Stelle die ersten unter der Haut wahrnehmbaren Muskelzuckungen auf. Eine Vermehrung der Stromstärke bis auf 4 und 5 M.-A. bewirkt, ausser einer Zunahme der Intensität der ausgelösten Empfindungen, das Auftreten von Muskelzuckungen auch in weiter von der Elektrode abliegenden Muskelpartien. Bei dieser Stromintensität machen sich aber auch bereits tiefe, die galvanomuskuläre Empfindung begleitende Schmerzempfindungen geltend, ferner treten Gelenkbewegungen auf und mit ihnen Bewegungsempfindungen, deren Verhältnis zu den galvanomuskulären Empfindungen dem früher beschriebenen Verhältnisse der faradomuskulären zu den Bewegungsempfindungen entspricht. Der Versuch erfährt bis hierher und selbst bei noch weiterer Steigerung der Stromintensität keinerlei Störung durch Hautempfindungen. Wohl macht sich bei leichtem Anlegen der Kathode ein schwaches, oberflächliches Prickeln geltend, das unmittelbar in ein Brennen übergeht, bei tieferem Eindrücken der Elektrode aber wird die Beobachtung durch Hautempfindungen in keiner Weise merklich beeinträchtigt. Auch die Kathodenöffnung, Anodenöffnung und -schliessung lösen bei entsprechender Reizstärke gleiche galvanomuskuläre Empfindungen aus.

Wir wiederholen nun den Versuch an einer motorisch weniger leicht erregbaren Stelle. Jetzt treten die galvanomuskulären Empfindungen bei einer Stromstärke von $1\frac{1}{2}$ M.-A., die ersten Zuckungen bei $2\frac{1}{2}$ M.-A. auf. Einer Vermehrung der Stromintensität folgen die gleichen Wirkungen wie beim ersten Versuche.

Isolierte Reizung des Stammes der Muskelnerven durch den galvanischen Strom erregt in den Muskeln lokalisierte Empfindungen von gleicher Qualität, wie sie bei direkter Reizung des Muskels auftreten. Das gleiche Phänomen ist übrigens auch bei faradischer Nervenreizung zu beobachten.

Eine Erörterung der möglichen Annahmen bezüglich der Erregung der elektromuskulären Empfindung bringt Schreuder, dessen Gedankengang hier kurz angeführt sei. Die erste Möglichkeit, es handle sich bloss um ein „Hautgefühl“, wird durch Reizung über einer muskellosen Stelle entschieden. Die zweite Frage, die Schreuder stellt, lautet: entsteht die elektromuskuläre Empfindung „durch Reizung sensibler Nerven, welche mit den in der Muskelsubstanz eingebetteten motorischen Nerven in einem Bündel zusammenliegen?“¹⁾ Die Frage wird aus dem Grunde verneint, weil

1) l. c. S. 18.

Muskelstellen geringerer motorischer Erregbarkeit gleiche Sensibilität zeigen wie solche höherer motorischer Erregbarkeit. Mit dem gleichen Argumente wird auch die Annahme abgelehnt, dass „das Gefühl die Folge einer Kontraktion ist, welche durch die Reizung motorischer Muskelnerven bewirkt wird¹⁾. Aber selbst unter der Annahme einer vollständigen Richtigkeit jenes Argumentes, dem freilich sowohl Schreuders eigene als auch meine Beobachtungen widersprechen, kann wohl, wie unmittelbar einzusehen ist, dem Beweise nicht zugestimmt werden, da aus dem Mangel grober, sichtbarer Kontraktionen noch nicht auf das Fehlen von Zuckungen überhaupt geschlossen werden darf. Danach ist die Annahme, für welche sich Schreuder entscheidet, „dass das fragliche Gefühl in der Muskelsubstanz durch direkte Muskelreizung“ hervorgerufen wird, noch unerwiesen. Da wir wohl heute noch von vornherein auf die Entscheidung der Frage verzichten müssen, ob Empfindungen, welche im Muskel durch den faradischen Strom ausgelöst werden, auf einer Reizung von sensiblen Nervenstämmchen oder sensiblen Endorganen im Muskel beruhen, so dürfte sich wohl folgende Fragestellung empfehlen: sind die elektromuskulären Empfindungen auf direkte Erregung sensibler Elemente zurückzuführen oder bedarf es zu ihrem Zustandekommen erst des Zwischengliedes von Muskelkontraktionen. Als Stütze der ersten von Duchenne²⁾ und Müller³⁾ vertretenen Ansicht kann auch folgender Versuch dienen, welchen ich an einem Patienten mit Paramyoclonus multiplex anstellte. Der Patient sass in bequemer Haltung mir gegenüber und hatte zunächst die Aufgabe, bei geschlossenen Augen jedesmal das Auftreten von Zuckungen im Gebiete des Deltoideus zu melden. In kurzem stellte sich in diesem Muskel das bekannte, für diese Krankheit charakteristische Flimmern und Wogen ein, bald zuckten gröbere, bald feinere Muskelbündel: der Gesichtseindruck entsprach vollkommen jenem bei faradischer Reizung des Muskels mit geringer Stromstärke an einer motorisch leicht erregbaren Stelle. Es war nun festzustellen, dass der Patient von diesen Zuckungen keine Empfindungen hatte und bei eindringlicherem Fragen das Bestreben zeigte, die Deltagegend zu betasten, um sich auf diese Weise von eventuellen Zuckungen zu überzeugen.

1) l. c. S. 19.

2) l. c.

3) l. c.

Erst bei Zuckungen grösserer Bündelkomplexe oder krampfhaften Kontraktionen des ganzen Muskels erfolgte die Angabe: „es zuckt“. Der Patient schilderte seine Empfindungen als dumpf, verschwommen und durchaus schmerzlos. Nun wurde mittels faradischen Stromes eine motorisch leicht erregbare Muskelpartie gereizt. Der Patient gab an, oberflächliche Empfindungen sehr gut von tiefen unterscheiden zu können; von der Richtigkeit dieser Angabe konnte ich mich bei der Reizung über faradisch weniger leicht erregbaren Muskelpartien überzeugen. Jetzt aber erfolgte die Angabe „es zuckt“ schon bei den geringsten, eben sichtbaren Zuckungen, und es gelang mir nicht, Muskelkontraktionen auszulösen, welche der Patient nicht auch empfunden hätte. Bei der galvanischen Prüfung erfolgte, wie bei den früher beschriebenen Versuchen, die Angabe einer Empfindung bei Reizung mit geringerer Stromstärke, als zur Auslösung sichtbarer Kontraktionen erforderlich war. Endlich berichtete der Patient, dass diese drei verschieden bedingten Empfindungen sich wohl voneinander unterscheiden, ferner dass die galvanomuskuläre und faradomuskuläre Empfindung eine gewisse Ähnlichkeit hätten, sich aber gar nicht mit jenen Empfindungen vergleichen liessen, die er beim spontanen Zucken seiner Muskeln habe.

Zur Annahme qualitativer Differenzen zwischen der elektromuskulären Empfindung und der blossen Kontraktionsempfindung führt ferner auch die Selbstbeobachtung. Vergleicht man nämlich die Empfindung, welche bei schwacher Muskelreizung unter Kokainanästhesie der Haut an einem motorischen Punkte ausgelöst wird, mit jenen Muskelempfindungen, die man bei ruckweiser Kontraktion einer Muskelgruppe gegen einen Widerstand erhält oder mit jener Empfindung, welche die bekannten unwillkürlichen Zuckungen einzelner Bündel eines Muskels beim Gesunden begleitet, so kann man deutlich eine qualitative Differenz zwischen der elektromuskulären Empfindung und der Kontraktionsempfindung feststellen.

2. Einfluss wiederholter schwacher Reizungen auf die Reizschwelle der faradomuskulären Empfindung.

Die im folgenden unter den Fehlerquellen noch näher zu besprechende Erscheinung, welche lehrte, dass die am Ende einer Sitzung gefundenen Schwellenwerte von den zu Beginn ermittelten abweichen, veranlasste mich, die Reizschwelle für eine und dieselbe

Stelle in verschiedenen zeitlichen Abständen wiederholt zu bestimmen. Hierbei zeigte es sich, dass, falls die Zwischenzeiten ziemlich klein gewählt werden, eine periodische Erniedrigung und Erhöhung der Reizschwelle nachzuweisen ist. Die Tabelle I gibt die Resultate zweier Versuchsreihen an einem dem oberen Drittel des Brachioradialis entsprechenden Punkte. In der ersten fand von Minute zu Minute je eine Reizung statt. Man erkennt in den ersten sechs Minuten eine allmähliche Erniedrigung der Reizschwelle um 10 mm R.-A.

Tabelle I.

Wiederholte Bestimmung der faradomuskulären Reizschwellen an der gleichen Stelle des M. brachioradialis (oberes Drittel).

I							II		Anmerkungen
Min. nach Versuchsbeginne	Reizschwelle in mm Ra	Versuchsdauer in Sek.	Min. nach Versuchsbeginne	Reizschwelle in mm Ra	Min. nach Versuchsbeginne	Reizschwelle in mm Ra	Versuche in möglichst rascher Folge, ca. 26''		
							Reizschwelle in mm Ra	Reizschwelle in mm Ra	
1	132	30	26 *	130	75	135	137	135	* 23—26 bei 90 bis 110 Ra tetanisiert
2	128	45	27	130	76	138	139	132	
3	135	30	28	130	77	140	140	135	
4	137	30	29	135	78	142	143	135	
5	138	30	30	139	79	144	144	135	
6	142	30	31	142	80	139	142	137	
7	141	30	32	140	81	139	142	137	
8	140	30	33	141	82	139	142	138	
9	140	30	34	141	83	139	144	140	
10	142	30	36 *	127	84	140	141	142	* 35—36 bei 110 Ra tetanisiert
11	143	30	37	135	85	138	141	140	
12	142	30	38	139	86	138	139	140	
13	142	15	39	136	87	137	134	142	
14	142	30	40	137	—	—	137	142	
15	144	15	41	135	—	—	139	142	
16	144	15	42	138	—	—	139	142	
17	145	15	43	134	—	—	139	142	
18	145	15	44	137	—	—	—	139	
19	140	30	45	138	—	—	—	140	
20	142	15	46	140	—	—	—	142	
21	144	15	47	140	—	—	—	—	
22	142	30	—	—	—	—	—	—	
23	140	30	—	—	—	—	—	—	

In den folgenden zwei Minuten findet eine geringe Erhöhung, hierauf wieder eine Erniedrigung statt u. s. w. Vor Anstellung des 24. Versuches (4. Stab, 26. Minute) wurde durch einige Minuten mit geringem Rollenabstande an der gleichen Stelle gereizt. Die un-

mittelbar darauf bestimmte Schwelle zeigt eine bedeutende Erhöhung, die folgenden wieder allmähliche Erniedrigung. In der zweiten Versuchsreihe wurden die Bestimmungen in kürzeren zeitlichen Abständen von durchschnittlich 26 Sekunden vorgenommen. Auch hier ist ein periodisches, langsames Ansteigen und ein rasches Absinken der Werte zu erkennen. Ein ähnliches Resultat ergab eine weitere, in die Tabelle nicht aufgenommene Versuchsreihe.

Die einzelnen Perioden stimmen weder hinsichtlich ihrer zeitlichen Dauer noch in der Zahl der Reizungen überein, welche auf eine derselben entfallen; allerdings könnte diese scheinbare Regellosigkeit auch durch gewisse, bei Besprechung der Fehlerquellen noch zu erwähnende Momente bedingt sein.

Es liegt nahe, die eben beschriebenen Versuche mit jenen zu vergleichen, die Veress¹⁾ zum Studium des Einflusses der Adaptation auf den Schwellenwert der Wärmeempfindung angestellt hat. Derselbe bestimmte im Verlaufe von 50 Minuten mittels des von ihm verwendeten Thermästhesiometers die Reizschwelle für Temperaturempfindung und -schmerz an der gleichen Hautstelle „in 65 Versuchen, welche in nach Möglichkeit kurzen und gleichen Zeitabschnitten“ einander folgten. Die von Veress entworfenen Diagramme zeigen neben einer ausgesprochenen Adaptationswirkung sehr deutliche periodische Schwankungen der Reizschwelle. Auch diese Schwankungen lassen eine Regelmässigkeit in der Periodenlänge vermissen.

Ähnliche Schwankungen der Reizempfindlichkeit des Temperatursinnes beschrieb schon Dessoir²⁾ und deutete sie als einen Ausdruck des Gesetzes, dass von mehreren aufeinanderfolgenden gleichen Reizen „die ersten gleichmässig, die folgenden verstärkt, die letzten abgeschwächt empfunden“ werden.

Den auf anderen Sinnesgebieten vielfach über das Phänomen des Anklingens gemachten Beobachtungen (Fick³⁾, Exner⁴⁾,

1) Veress, Beiträge zur Kenntnis der Topographie der Wärmeempfindlichkeit. Pflüger's Arch. Bd. 89. 1902.

2) M. Dessoir, Über den Hautsinn. Arch. f. Anat. u. Physiol., physiol. Abt. S. 201. 1892.

3) A. Fick, Über den zeitlichen Verlauf der Erregungen der Netzhaut. Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 739. 1863.

4) S. Exner, Über die zu einer Gesichtswahrnehmung nötige Zeit. Sitzungsberichte d. Wiener Akad. d. Wissensch. Abt. 2 Bd. 58 S. 601—632. 1868.

Kunkel¹⁾, Urbantschitsch²⁾, Dessoir) ist hier eine weitere hinzuzufügen, welche die elektromuskuläre und elektrokutane Empfindung betrifft. Bei den Versuchen mit faradischer Reizung der Muskeln oder der Haut konnte ich mich sehr häufig davon überzeugen, dass bei einem gewissen niedrigen Rollenabstande die Minimalempfindung erst einige Sekunden nach dem Anlegen der Elektrode auftrat.

Tabelle II.

Versuchs- zahl	Reizschwelle	Vergrößerung des Ra auf	Nach Öffnen des Schlüssels Empfindung noch bei Ra
I	117	127	—
II	140	145	143
III	115	122	122
IV	115	125	125
V	125	135	132

Von der Steigerung der Empfindlichkeit durch einen vorhergehenden Reiz kann man sich auch noch durch einen anderen Versuch überzeugen. Wird nämlich die Reizschwelle durch Über-einanderrücken der Rollen bestimmt, so kann eine mehr oder weniger starke Vergrößerung des Rollenabstandes wieder vorgenommen werden, ohne dass die ausgelöste Minimalempfindung verschwindet. Das gleiche Phänomen ist aber auch dann noch zu beobachten, wenn unmittelbar nach Auslösung der Empfindung der Strom durch den Schlüssel unterbrochen wird. Lässt man nun mit der Öffnung des Schlüssels den Strom bei etwas verringertem Abstände der Rollen wieder eintreten, so vermag derselbe auch jetzt noch eine Empfindung auszulösen. Die bei einigen derartigen Versuchen gewonnenen Werte sind in der Tabelle II verzeichnet. Diese Erscheinung dürfte wohl in Analogie zu folgender Beobachtung von A. Fick zu stellen sein: „wenn man mit adaptiertem Auge einen Gegenstand bei einer eben genügenden Beleuchtung bemerkt hat und nun die Beleuchtung etwas abschwächt, so verschwindet der Gegenstand nicht, mit anderen Worten, er wird bei geringerer Beleuchtung erkannt

1) A. Kunkel, Über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Zeit. Pflüger's Arch. Bd. 9 S. 197—220. 1874.

2) V. Urbantschitsch, Zur Lehre von der Schallempfindung. Pflüger's Arch. Bd. 24 S. 574—595. 1881.

als zuvor.“ „Nun habe ich bemerkt, dass diese Erscheinung noch wahrzunehmen ist, wenn das Auge, nach dem Erblicken des Gegenstandes, geschlossen und erst wieder geöffnet wird, nachdem die Beleuchtung abgeschwächt ist.“ Einige verwandte Erscheinungen erwähnt Piper¹⁾, der zur Erklärung des Phänomens Exners Begriff der Bahnung heranziehen möchte. Piper scheint also vorwiegend an zentrale Ursachen zu denken, während Fick²⁾ es dahingestellt liess, ob wir es mit rein psychischen Vorgängen oder mit der „Trägheit der Netzhaut“ zu tun haben. Dass eine Beteiligung peripherer Momente jedoch nicht von vornherein auszuschliessen ist, lehren analoge Erscheinungen bei der Reizung motorischer Nerven. Auch bei meinen Untersuchungen war ziemlich regelmässig zu beobachten, dass die Minimalzuckung selbst nach beträchtlicher Vergrösserung des Rollenabstandes erhalten blieb.

3. Ermüdungs- und Erholungserscheinungen.

Bei näherer Betrachtung der Tabelle I dürfte kaum entgehen, dass die Zahlen in der zweiten Hälfte derselben niedriger werden. So kommt hier der Wert 145 überhaupt nicht mehr vor, 144 wird verhältnismässig viel seltener, demgegenüber sinkt der Schwellenwert oft bis 135 und auf noch tiefere Werte, wie sie nur in den allerersten Stellen der Tabelle auftreten. Endlich macht sich unmittelbar nach den beiden Versuchen mit Tetanisierung des Muskels eine plötzliche Erhöhung der Reizschwelle geltend (von 140 auf 130 und von 141 auf 127 mm R.-A.). Es handelt sich hier offenbar um Erscheinungen der Ermüdung, auf deren Studium bei dieser Untersuchung schon deshalb näher eingegangen werden musste, da sie sich für die folgenden vergleichenden Bestimmungen der Reizschwelle als wesentliche Fehlerquelle erwiesen. Zeigten schon Reizungen, welche durch Pausen unterbrochen waren, eine Veränderung der Schwelle, so war eine solche noch mehr von kontinuierlichen Reizungen zu erwarten. Ein derartiges Beispiel bietet der zweite Versuch in der ersten Reihe der Tabelle. Hier

1) H. Piper, Über Dunkeladaptation. Zeitschr. f. Psycholog. und Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 31 S. 161—214. 1903.

2) E. A. Fick, Studien über Licht- und Farbenempfindung. Pflüger's Arch. Bd. 43 S. 441—501. 1888.

finden wir den im übrigen ziemlich gleichmässigen Anstieg der Werte scharf unterbrochen. Die Erklärung für diese Unregelmässigkeit dürfte darin zu suchen sein, dass in diesem Falle die Bestimmung der Reizschwelle eine verhältnismässig viel längere Reizdauer ($\frac{3}{4}$ Minuten) erforderte. Noch deutlicher zeigte den gleichen Einfluss einer längeren Reizdauer folgender Versuch: an einer Stelle im oberen Drittel des Brachioradialis wurde die Reizschwelle mit 144 mm festgestellt, hierauf die Elektrode von neuem an den gleichen Punkt angelegt und, ohne sie zu entfernen, durch Veränderung des Rollenabstandes die Empfindung in ihrer ursprünglichen, minimalen Intensität zu erhalten gesucht. Bald ward die Empfindung bei diesem Rollenabstande weniger deutlich und verschwand vollkommen, so dass die Rollen einander genähert werden mussten, um die Minimalempfindung wieder auszulösen. Jetzt wiederholte sich der gleiche Vorgang u. s. f. Vorübergehend machte sich allerdings auch eine geringe Steigerung der Empfindungsintensität geltend, worauf die Rollen ein wenig voneinander entfernt wurden; dennoch überwog aber weitaus die Abnahme der Empfindungsintensität, so dass nach fünf Minuten der Abstand der Rollen nur mehr 130 mm betrug. Eine Minute nach Beendigung des Versuches wurde als Reizschwelle 143 mm gemessen. Ein ganz analoges Resultat ergaben entsprechende Versuche mit dem galvanischen Strome. Hierbei wurde nach Bestimmung der Reizschwelle die Elektrode am gleichen Punkte belassen und der Strom mehrmals hintereinander rasch geöffnet und geschlossen. Nach ungefähr 15 bis 20 Unterbrechungen war mit dieser Stromstärke eine Empfindung nicht mehr auslösbar; die frühere Empfindlichkeit kehrte erst nach einer Pause von ca. einer Minute wieder. Einen deutlichen Ermüdungseinfluss zeigte ferner eine Reihe von Versuchen, bei denen die Reizschwelle an der gleichen Stelle einmal mit langsamer, das zweite Mal mit möglichst rascher Veränderung des Rollenabstandes bestimmt wurde. Die bei diesen Versuchen ermittelten Werte sollen erst später, bei Besprechung der Fehlerquellen, angeführt werden.

Weitere Versuche beschäftigten sich damit, die im vorhergehenden bereits angedeutete Veränderung der Reizschwelle durch stärkere Reize genauer festzustellen. Zunächst wurde an einer Stelle die Reizschwelle bestimmt, hierauf längere Zeit bei verhältnismässig niedrigen Rollenabständen gereizt und sodann in kurzen zeitlichen Intervallen die Reizschwelle an der gleichen Stelle gemessen. Die

Tabelle III.

Reiz- schwelle zu Beginn	Tetani- siert bei Rollen- abstand	Dauerd. Tetani- sierung in Sek.	Ver- suche folgen in Sek.	Reizschwellen vor und nach Tetanisierung, in mm Rollenabstand							
140	90—110	180	60	130	130	130	135	139	142	—	—
141	110	120	60	127	135	139	—	—	—	—	—
145	80—90	60	15	110	120	125	130	135	140	143 ¹⁾	145 ²⁾
141	100—110	60	24	125	128	130	135	137	140	—	—

so gewonnenen Werte sind in der Tabelle III verzeichnet. Unmittelbar nach Unterbrechung des stärkeren Reizes ist eine beträchtliche Erhöhung der Schwelle nachzuweisen. Die folgenden Bestimmungen ergeben eine neuerliche Erniedrigung derselben bis auf den ursprünglichen Wert. Der dritte Versuch, bei dem der stärkste Reiz voranging und in dem die Veränderung der Reizschwelle etwas länger verfolgt wurde, zeigt, dass der Anstieg der Werte keineswegs gleichmässig ist, sondern anfänglich rasch, hierauf langsamer erfolgt. Dieselbe Tatsache ist übrigens auch aus den anderen Versuchen zu entnehmen, wenn man berücksichtigt, dass gleichen Differenzen niedriger Rollenabstände weit grössere Unterschiede der Stromintensitäten entsprechen als ebensolchen Differenzen höherer Rollenabstände. Die graphische Wiedergabe dieser Schwellenveränderung würde manche Berührungspunkte mit den zur Veranschaulichung des Verlaufes der Dunkeladaptation entworfenen Kurven ergeben.

Wie wohl vorausszusehen, erstreckt sich die Erhöhung der Reizschwelle durch intensive Reizung nicht bloss auf die unmittelbar unter der Elektrode gelegene Stelle, sondern auf einen grösseren peripheren Bezirk. Dies bewies unmittelbar folgender Versuch: auf einer über dem Brachioradialis markierten Linie wurden drei Punkte bezeichnet, welche voneinander je 1 cm abstanden. Die Reizschwelle betrug an denselben 140, 135, 135 mm. Entsprechend dem Punkte I (Reizschwelle 140 mm) wurde bei 100 mm R.-A. durch eine Minute tetanisiert; die unmittelbar darauf an den beiden anderen Punkten bestimmte Schwelle betrug für den näheren 120, für den entfernten 125 mm R.-A.

1) Nach 120 Sekunden.

2) Nach 60 Sekunden.

Zwei weitere Versuchsreihen befassten sich mit der Ermittlung der Wirkung tetanischer, nach Stärke und Dauer variierter Reize auf die Empfindungsschwelle. Bei der ersten wurde eine Stelle, an welcher die Reizschwelle ursprünglich 140 mm betrug, bei 90 mm R.-A. in Zwischenpausen von einigen Minuten verschieden lange gereizt; hierauf wurde, ohne die Elektroden zu entfernen, die sekundäre Rolle auf 130 mm gestellt und die Zeit gemessen, nach welcher bei diesem Rollenabstande die elektromuskulären Empfindungen auftraten. Die Werte sind in der Tabelle IV wiedergegeben. Diese Versuche lehren, dass im allgemeinen nach längerer tetanischer Reizung eine längere Zeit bis zum Eintreten der neuen Empfindung verstreicht, dass aber eine genaue Proportionalität zwischen beiden Werten nicht statthat. Ein gleiches Resultat ergab eine grosse Zahl ähnlicher Versuche, die ich nicht im einzelnen wiedergebe.

Tabelle IV.
Einfluss tetanischer Reize auf die Reizschwelle.

Bei 90 mm R.-A. tetani- siert durch Sek.	Bei 130 mm R.-A. tritt Emp- findung ein in Sek.	Bei 80 mm R.-A. tetani- siert durch Sek.	Höhe der Reiz- schwelle	Tetani- siert bei 90 mm R.-A.	Reiz- schwelle	Tetani- siert bei 100 mm R.-A.	Reiz- schwelle
4	2	0	135	0	140	0	142
6	2	2	130	—	—	2	138
6	2	2	132	—	—	2	137
6	4	4	128	4	130	4	135
8	6	4	127	4	128	4	133
8	6	4	129	4	130	4	134
8	4	6	125	6	125	6	132
10	6	6	125	6	125	6	133
10	8	6	126	6	126	6	132
10	8	8	125	8	120	8	126
14	10	8	124	—	—	8	126
15	10	8	124	—	—	8	128
20	8	10	122	10	115	10	125
20	8	10	124	10	120	10	124
20	8	10	123	10	115	10	123
20	10	12	121	12	115	12	119
20	10	12	119	12	115	12	120
30	12	12	118	—	—	12	122
30	12	14	118	14	110	14	120
30	14	14	117	14	110	14	118
—	—	14	115	15	110	14	123
—	—	16	113	—	—	16	120
—	—	16	112	—	—	16	121
—	—	16	113	—	—	16	117
—	—	18	112	18	110	18	117
—	—	18	110	—	—	18	120
—	—	18	110	—	—	18	115
—	—	20	110	—	—	20	113
—	—	20	109	—	—	20	114
—	—	20	108	—	—	20	115

Eine zweite Versuchsreihe wurde in der Weise durchgeführt, dass mit verschiedenen starken Strömen (80—100 mm R.-A.) verschieden lange gereizt und jedesmal sofort nach der Tetanisierung die Reizschwelle an der gleichen Stelle ermittelt wurde. Ein Vergleich der Werte (Tabelle IV) ergibt, dass mit Zunahme der Reizdauer eine Erhöhung der Reizschwelle erfolgt, dass jedoch gleichen Differenzen der Dauer tetanischer Reizung im Anfange der Reihen stärkere Veränderungen der Reizschwelle entsprechen als gegen das Ende der Reihen.

Ein Vergleich der ersten und dritten Zahlenreihe lässt entnehmen, dass bei gleicher Reizdauer die höhere Reizschwelle (135 mm) durch stärkere Reizung (80 mm R.-A.) um ebenso viel erniedrigt wird, als die niedere Reizschwelle (142 mm R.-A.) durch schwächere Reizung. Allerdings ist auch hier zu berücksichtigen, dass durch gleiche Verminderung des Abstandes der Rollen bei geringer Entfernung derselben eine stärkere Zunahme der Stromintensität erfolgt als bei grösserer Entfernung, so dass die Entscheidung darüber, ob eine Proportionalität zwischen Reizdauer und Erhöhung der Reizschwelle bzw. Reizstärke und Erhöhung der Reizschwelle besteht, nicht ohne weiteres gefällt werden kann. Es sei noch bemerkt, dass, wiewohl zwischen den einzelnen Abschnitten von drei bis vier Versuchen jedesmal eine zwei bis drei Minuten lange Pause eingeschaltet wurde, eine Abnahme der Reizempfindlichkeit des Muskels im Verlaufe einer Versuchsreihe doch nicht auszuschliessen ist; dieselbe kann aber vernachlässigt werden, da die Werte in den einzelnen Abschnitten gleicher Reizdauer gut übereinstimmen und oft gerade der letzte der höchste ist.

Zur Veranschaulichung des Versuchsergebnisses wurden die Werte der dritten und vierten Spalte der Tabelle IV in ähnlicher Weise graphisch verzeichnet, wie Zwaardemaker¹⁾ bei der Konstruktion der Ermüdungskurven für den Geruchssinn verfuhr. Auf der Abscisse (Textfig. 1) wurde die Dauer der tetanischen Reizung bei 80 mm Rollenabstand eingetragen, auf der Ordinate der durchschnittlich nach dieser Reizung gefundene Schwellenwert. Die Kurve zeigt deutlich die mit zunehmender Reizungsdauer stetig abnehmende Grösse des Schwellenwertes an.

Die eben dargestellten Befunde stimmen mit den Erfahrungen überein, welche bei analogen Versuchen auf anderen Sinnesgebieten

1) H. Zwaardemaker, Die Physiologie des Geruches. Leipzig 1895.

gewonnen wurden. Die allmähliche Erhöhung der Reizschwellen durch konstante Reize steht in Parallele mit der bekannten Verschiebung des physiologischen Nullpunktes der Haut durch länger dauernde Temperaturreize. Auf eine ähnliche Erscheinung beim Drucksinne machte v. Frey¹⁾ aufmerksam. Er fand bei der Prüfung mit Tasthaaren, dass schwache Reize nur anfänglich wahrgenommen werden; „sofort oder kurze Zeit nach dem Auftreten verschwinden die Empfindungen, auch wenn das Haar noch auf der Haut verweilt; es bedarf ziemlich starker Reize, um eine länger andauernde Empfindung hervorzurufen.“ Der festgestellten Veränderung der Reizschwelle durch tetanische Reizung entspricht auch der bekannte Versuch Webers. Bei diesem setzt das

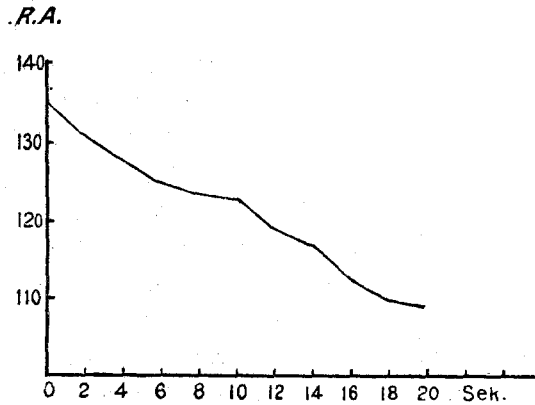


Fig. 1.

Eintauchen der Hand in 12°iges Wasser die Empfindlichkeit der vorher noch durch eine Temperatur von 18° erregbaren Kältepunkte so weit herab, dass ein gleich temperiertes Wasser von 18° die Kälteempfindung noch nicht auszulösen vermag. In analoger Weise wurde bei den früher erwähnten Versuchen etwa durch einen Reiz von 90 mm R.-A. die vorher noch bei 130 mm R.-A. leicht erregbare Stelle gegen diesen Reiz unempfindlich gemacht. Dass kurz aufeinanderfolgende, minimale faradische Reizungen auf die Schwelle der elektromuskulären Sensibilität von ähnlichem Einflusse sind wie entsprechende Temperaturreize für den Schwellenwert der Temperaturempfindlichkeit, wurde bereits früher hervorgehoben. Ebenso deutlich

1) M. v. Frey, Untersuchungen über die Sinnesfunktion der menschlichen Haut. Erste Abhandlung: Druckempfindung und Schmerz. Abhandl. d. math.-phys. Klasse d. kgl. sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Bd. 23 Nr. 3 S. 218. 1896.

ist auch die Analogie der hier gemachten Beobachtungen mit den sogenannten Ermüdungs- und Erholungserscheinungen des Gesichtssinnes. Es lassen demnach auch jene Phänomene der elektromuskulären Sensibilität eine zwanglose Deutung im Sinne der Theorie Herings zu.

4. Aufmerksamkeitsschwankungen.

Bei den früher erwähnten Versuchen über Veränderung der Reizschwelle durch kontinuierliche Reizung konnte stets, wenn der Reiz nahe der Schwelle lag, trotz des lebhaftesten Bestrebens, die erregte Empfindung im Bewusstsein festzuhalten, ein periodisches Verschwinden derselben beobachtet werden. Es handelt sich hier offenbar um die bei anderen Sinnesempfindungen vielfach studierten sogenannten Aufmerksamkeitsschwankungen [Urbantschitsch¹⁾, Lange²⁾, Münsterberg³⁾, Eckener⁴⁾ u. a.]. Ich lasse zunächst die Beschreibung eines derartigen Versuches folgen: die diesmal mit einer schwachen Lysollösung getränkte Elektrode wird in die Nähe der Einstichstelle der durch eine Kokaïnjektion anästhesierten Haut angelegt, die Minimalempfindung ausgelöst und mit scharf gespannter Aufmerksamkeit festzuhalten gesucht. Bald scheint sich gleichsam ein dichter Schleier auf die eben noch wahrgenommene Empfindung zu legen und sie verschwindet. Schon im nächsten Augenblicke aber kehrt sie in ihrer früheren Deutlichkeit wieder. Die gleiche Erscheinung wiederholt sich nun mehrmals in gleicher Weise oder die Empfindung wird, ehe sie verschwindet, undeutlich, sie scheint zunächst noch aus weiterer Ferne zu kommen, beim Wiederauftauchen sich gleichsam zu nähern. Oft empfindet man vor dem Verschwinden der flächenhaften Empfindung noch ein deutliches Vibrieren an einer kleinen, umschriebenen Stelle, und damit setzt auch die wiederkehrende Empfindung ein. Stellt man den gleichen Versuch bei verringertem Rollenabstände an, so werden die Empfindungsausfälle kürzer, die Dauer der persistierenden Empfindung gewinnt an Länge; auch macht sich jetzt der früher schon angedeutete Unterschied zwischen der unmittelbar unter

1) Urbantschitsch, Über subjektive Schwankungen der Intensität akustischer Empfindungen. Pflüger's Arch. Bd. 27 S. 436—453. 1882.

2) N. Lange, Beiträge zur Theorie der sinnlichen Aufmerksamkeit und der aktiven Apperception. Wundt's Philos. Studien Bd. 4 S. 390—422. 1888.

3) H. Münsterberg, Beiträge zur experimentellen Psychologie H. 2. 1889.

4) H. Eckener, Untersuchungen über die Schwankungen der Auffassung minimaler Reize. Wundt's Philos. Studien Bd. 8 S. 343—387. 1893.

der Elektrode gelegenen Stelle und entfernteren Bezirken noch mehr geltend, indem nun deutlich ein früheres Verschwinden der Empfindung an den weiter von der Elektrode abliegenden Stellen wahrzunehmen ist. Bei noch stärkerer Verminderung des Rollenabstandes sind es nur mehr diese peripheren Bezirke, an welchen ein Wechsel zwischen dem Auftauchen der Empfindung und ihrem Verschwinden beobachtet werden kann. Diese Stromstärke hat aber auch schon in der Umgebung der anästhetischen Zone Hautempfindungen geweckt oder einen Hautnerven in Erregung versetzt, wodurch die scharfe Beobachtung der Muskelempfindung wesentlich erschwert wird; auch diese neu hinzutretenden Empfindungen lassen das beschriebene Phänomen erkennen.

Ein Vergleich der eben beschriebenen Versuche mit anderen Beobachtungen ergibt zunächst eine Übereinstimmung der geschilderten Art des An- und Abschwellens der elektromuskulären Empfindung mit den Befunden, die Eckener¹⁾, Pace²⁾, Marbe³⁾ bei entsprechenden Versuchen an anderen Sinnesorganen machten. Ferner wurde schon von Pace, Marbe, Lehmann⁴⁾, Wiersma⁵⁾ darauf hingewiesen, dass mit der Intensität des Reizes die Dauer der Unmerklichkeit abnehme. Endlich ist noch das durchaus analoge Verhältnis zwischen dem Fixationspunkte des Auges und den seitlichen Stellen einerseits und den unmittelbar unter der Elektrode gelegenen und den entfernteren Muskelpartien andererseits zu betonen, wie ein Vergleich des obigen Versuches mit den Versuchsprotokollen Marbes ergibt. Auch trifft die von diesem Beobachter für einzig zulässig angesehene Erklärung in unserem Falle vollkommen zu, da hier die geringere Stromintensität in peripheren Bezirken die längeren Intermissionen gegenüber der zentralen Stelle verständlich macht.

Eine nähere Untersuchung der zeitlichen Verhältnisse der Auf-

1) l. c.

2) E. Pace, Zur Frage der Schwankungen der Aufmerksamkeit nach Versuchen an der Masson'schen Scheibe. Wundt's Philos. Studien Bd. 8 S. 388—402. 1893.

3) K. Marbe, Die Schwankungen der Gesichtsempfindungen. Wundt's Philos. Studien Bd. 8 S. 615—637. 1893.

4) A. Lehmann, Über die Beziehungen zwischen Atmung und Aufmerksamkeit. Wundt's Philos. Studien Bd. 9 S. 66—95. 1894.

5) E. Wiersma, Untersuchung über die sogenannten Aufmerksamkeitschwankungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane Bd. 26 S. 168—200. 1901.

merksamkeitsschwankungen stiess bei der elektromuskulären Empfindung auf Schwierigkeiten. Von vornherein schien es am geeignetsten, für derartige Experimente zur Vermeidung störender Hautempfindungen die motorischen Punkte des Muskels zu wählen. Wie schon auf S. 7 erwähnt, fällt aber an diesen das Auftreten der elektromuskulären Empfindungen mit Zuckungen gröberer Muskelbündel zusammen; daraus ergibt sich wieder eine neue Störung, indem, abgesehen von der Beeinträchtigung der Aufmerksamkeitsspannung, auf diese Weise besondere Schwankungen ähnlicher Art auftreten können, wie sie bei den Versuchen, welche sich mit der Hautsensibilität über Arterien befassten, beobachtet wurden [Dessoir¹⁾, Lehmann²⁾]. In unserem Falle könnte die Zuckung die Berührung mit der Elektrode inniger machen, wodurch die Stromstärke steigen müsste. Es erwies sich deshalb angezeigt, die Untersuchung über motorisch weniger erregbaren Stellen des Muskels vorzunehmen und die Sensibilität der Haut durch Injektionen von Kokaïn herabzusetzen. Nach dieser Vorbereitung wurde in ähnlicher Weise wie im obigen Versuche gereizt. Die Registrierung der Schwankungen geschah durch Niederdrücken eines Tasters, der mit einem Markiermagnete in Verbindung stand, auf der berussten Trommel eines Kymographions; durch den gleichen Markiermagneten wurden auch die Zeitmarken verzeichnet. Die Länge einer Versuchsreihe betrug 2 · 4 Minuten. Das Tasterzeichen wurde jedesmal beim Auftreten der Empfindung gegeben, so dass der Abstand je zweier solcher Marken der Dauer einer Schwankung entspricht. Als Versuchsperson diente ausschliesslich der Verfasser; da zur Anstellung dieser Versuche grössere Übung und Vertrautheit mit den elektromuskulären Empfindungen notwendig erschien, konnten dieselben auch erst am Schlusse der vorliegenden Untersuchung mit einiger Aussicht auf Erfolg ausgeführt werden.

Den ermittelten Werten für die durchschnittliche Länge der Schwankungen kommt zunächst nur eine beschränkte, d. h. individuelle Bedeutung zu. Auf die grossen individuellen Unterschiede in der Dauer der Aufmerksamkeitsschwankungen ist schon mehrfach hingewiesen worden (Münsterberg, Eckener, Pace, Wiersma). So kommt Wiersma nach Versuchen, die er an sich und Professor

1) l. c.

2) l. c.

Tabelle V.

Arithmetisches Mittel	Mittlere Variation	Zahl der Versuchsreihen
3,61	1,05	16
3,39	1,15	16
4,09	1,24	10

Tabelle VI.

R.-A.	Arithmetisches Mittel	Mittlere Variation	Versuchszahl
114	4,09	1,24	272
113	5,35	2,02	37
112	6,12	2,27	51
110	12,56	3,34	25

Heymans angestellt hat, zu folgendem Ergebnisse: „Jede der beiden Versuchspersonen reagiert auf Druck-, Licht- und Schallreize auf eine bestimmte, für sich charakteristische, auf jenen drei Gebieten sich nahezu identisch wiederholende Weise.“ ¹⁾ Auch meine Beobachtung spricht für die Konstanz der mittleren Schwankungsdauer, da die arithmetischen Mittel (Tabelle V, erster Stab) von drei Versuchstagen ziemlich übereinstimmen. Der etwas höhere Wert des dritten Versuchstages ist wohl dadurch bedingt, dass der Reiz für diese Versuche etwas überschwellig gewählt wurde. Diese Zahl müsste für den Vergleich mit den beiden anderen eine geringe Erniedrigung erfahren, da, wie die folgenden Versuche zeigten, mit einer Vergrößerung der Reizstärke auch die mittlere Schwankungsdauer zunimmt. Zur Ermittlung dieses Verhältnisses konnten allerdings nur wenige orientierende Versuche angestellt werden. Wie die Tabelle VI veranschaulicht, ergaben dieselben in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Marbe und Wiersma mit zunehmender Reizstärke eine Verlängerung der Schwankungsdauer und zwar, wie hinzugefügt werden muss, unter wesentlicher Abnahme der Unmerklichkeitsphasen. Bei allen Versuchen konnte keine Regelmässigkeit in der Schwankungsdauer nachgewiesen werden, was schon die beträchtliche mittlere Variation andeutet. Wenn auch eine Zusammenstellung der Schwankungsdauer erkennen liess, dass

1) l. c. S. 198.

bei minimalen Reizen Schwankungen von über sechs Sekunden Länge selten vorkamen und niedrigere Werte bei überschwelligen Reizen spärlicher wurden, so sieht man doch in beiden Fällen sehr oft Perioden von annähernd gleichmässigen Schwankungszeiten plötzlich von auffallend langen, beziehungsweise kurzen Schwankungen unterbrochen. Ähnliche Beobachtungen liegen auch für andere Sinnesempfindungen vor (Eckener, Pace, Marbe).

5. Das Verhältnis der faradokutanen zur faradomuskulären Sensibilität.

Bei der systematischen Untersuchung der Reizempfindlichkeit grösserer Muskelgebiete wird man kaum auf einen Muskel stossen, an dem die Bestimmung der Reizschwelle nicht an einzelnen Punkten durch Hautempfindungen verhindert oder doch zum mindesten sehr erschwert wird. Diese Störung kann oft auch dann nicht umgangen werden, wenn die Massnahmen, welche zur Vermeidung stärkerer Hautempfindungen empfohlen sind — wie sorgfältiges Anfeuchten der Epidermis, Umhüllung des Metallknopfes mit einem feuchten Leiter, kräftiges Aufdrücken der Elektrode —, auf das strengste beobachtet werden.

Schon Duchenne¹⁾ wies darauf hin, dass man bei Reizung über empfindlicheren Hautstellen Empfindungen, welche durch Reizung der Haut erregt sein dürften, als Muskelempfindungen deute, und kein geringerer als er selbst war es, den der Vorwurf getroffen hat, diese beiden Empfindungen mitunter verwechselt zu haben (v. Ziemssen).

Um mich über die Grösse des störenden Einflusses zu orientieren, nahm ich an Hautstellen, welche durch Kokaïn anästhesiert worden waren oder deren Empfindlichkeit mittels Durchfrierens herabgesetzt war, Bestimmungen der Reizschwelle vor. Bei den Versuchen unter Kokaïnanästhesie wurden zunächst auf einem Hautbezirke Stellen durch farbige Punkte markiert und an ihnen die Reizschwelle für die elektromuskuläre und elektrokutane Sensibilität festgestellt, sodann die Anästhesierung vorgenommen und sofort nach der Kokaïninjektion und in bestimmten zeitlichen Abständen die Reizschwellen neuerdings ermittelt. Tabelle VII enthält die

1) l. c.

Resultate eines derartigen Versuches am proximalen Drittel des Brachioradialis. Die ersten vier Werte in der ersten Spalte entsprechen der faradomuskulären Reizschwelle an vier über dem Margo medialis des Muskels gelegenen Punkten, welche je 1 cm voneinander abstanden. Die folgenden vier Werte geben die Reizschwellen für eine 1 cm lateralwärts gelegene Punktreihe wieder, ebenso die nächsten vier. Der zweite Versuch wurde in ähnlicher Weise am gleichen Muskel vorgenommen. Für den dritten Versuch wählte ich eine Hautstelle, bei welcher die faradokutane Reizschwelle weit unter der faradomuskulären lag (Tabelle VIII).

Tabelle VII.

Reizschwelle der faradomuskulären und faradokutanen Sensibilität in mm Rollenabstand. M. brachioradialis (oberes Drittel).

Erster Versuch						Zweiter Versuch					
Vor Kokainisierung		Unmittelbar nach Kokainisierung		$\frac{1}{2}$ Stunde später		Unmittelbar nach Kokainisierung		1 Stunde später		2 Stunden später	
fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.
115	—	110	—	112	—	—	—	—	—	—	—
125	130	125	} 90	120	} 125	100	} 90	100	—	98	—
135	130	115		128		125		120	—	120	—
110	—	110	—	110	—	120	—	120	—	115	—
100	—	105	—	100	—	110	—	112	—	112	—
110	} 120	110	} 90	110	} 110	110	} 90	113	} 130	112	} 130
125		125		125		135		130		130	
120	—	120	—	118	—	128	—	128	—	125	—
120	—	110	—	120	—	117	—	118	—	120	—
98	} 110	100	} 90	100	} 112	130	} 90	125	—	127	—
95		100		100		123		120	—	120	—
90	—	90	—	90	—	—	—	—	—	—	—

Tabelle VIII.

Reizschwelle der faradomuskulären und faradokutanen Sensibilität in mm Rollenabstand. M. extensor digitorum communis (oberes Drittel).

Vor Kokaininjektion		Unmittelbar nach Kokaininjektion		Zweite Kokaininjektion 5 Minuten später		Nach 10 Minuten	
fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.	fm. S.	fc. S.
90	—	90	—	90	—	90	—
90	} 130	90	} 80	90	} 80	92	} 80
90		95		90		85	
85	—	90	—	90	—	95	—

Ich lasse noch die Beschreibung eines typischen Versuches mit Kälteanästhesie durch Äthylchlorid folgen: über einer Stelle des Brachioradialis wurde durch mehrere Bestimmungen die Reizschwelle für die elektromuskuläre Sensibilität mit 140 mm R.-A., für die faradokutane mit 130 mm festgestellt. Nun wurde auf diese Stelle der Äthylchlorid-spray gerichtet und der Reizpunkt und seine Umgebung intensiv durchgefroren. Die Reizschwelle für die elektromuskuläre Sensibilität blieb 140 mm, während jene für die faradokutane Sensibilität jetzt 120 mm R.-A. betrug. Hierauf wurden in kurzen Pausen noch einige weitere Bestimmungen vorgenommen und die Haut durch Reiben hyperämisch gemacht. Die Werte für die faradokutane Sensibilität stiegen auf 130, 132, 133, 136, während die Schwelle der faradomuskulären konstant 140 mm blieb.

Diese Versuche erweisen, dass die Bestimmung der Reizschwelle für die faradomuskuläre Sensibilität innerhalb ziemlich weiter Grenzen ungestört von der Hautsensibilität erfolgen kann. Freilich muss bemerkt werden, dass diese Kontrollversuche bei voller Übung geschahen, welche vor Ermittlung der für die Tabelle bestimmten Werte durch eine grosse Anzahl von Versuchen gewonnen worden war. Aber auch unter diesen Umständen sind den Bestimmungen der Reizschwelle elektromuskulärer Sensibilität durch zu lebhaft empfundene Grenzen gesetzt, indem, wie schon Erb bemerkte, die Prüfung der elektromuskulären Sensibilität, wenn eine Reizung sensibler Nerven der Haut erfolgt, unmöglich werden kann. Diese Grenze ist bei einer Differenz des Schwellenwertes faradomuskulärer und faradokutaner Sensibilität von ungefähr 40—60 mm R.-A. gegeben, bei welcher nach meiner Erfahrung nur selten eine sichere Unterscheidung zwischen Haut- und Muskelempfindungen getroffen werden kann. Es wurden daher bei der systematischen Untersuchung der einzelnen Muskelgebiete die Stellen grösserer Hautempfindlichkeit möglichst umgangen und die Untersuchung zumeist nicht bis an das weniger sensible Muskelende durchgeführt.

Da nun jenen Schwellenwerten der elektromuskulären Sensibilität, welche an Stellen grösserer Hautempfindlichkeit (Differenz über 40 mm R.-A.) gewonnen wurden, nicht mehr unbedingte Gültigkeit beigemessen werden kann, so erschien es angezeigt, die Topographie der faradokutanen Sensibilität über jenen Muskeln, deren Empfindlichkeit geprüft werden sollte, festzustellen. Bei diesen Versuchen wurde

eine feuchte Elektrode als differenter Pol gewählt, um der schon von Leyden¹⁾ betonten Fehlerquelle, welche in der wechselnden Feuchtigkeit verschiedener Körperregionen gelegen ist, zu begegnen.

Auch bei den auf diese Weise ausgelösten Empfindungen haben wir es offenbar mit einem Empfindungskomplexe zu tun, in dem alle jene Empfindungen enthalten sein dürften, welche durch punktuelle faradische Reize isoliert auslösbar sind (Druck, Temperatur, Schmerz). Der wechselnden Dichte der einzelnen Empfindungspunkte an verschiedenen Hautstellen dürfte die wechselnde Art der durch örtlich verschiedene, flächenhafte Reizungen ausgelösten Empfindungen entsprechen. Ihr Charakter erscheint insbesondere durch das Verhältnis der Druckpunkte zu den Schmerzpunkten bestimmt, während die Kalt-Warmkomponente selbst an jenen Stellen, an denen die Reizung mit der Nadelelektrode eine grössere Dichte der Kältepunkte ergibt, sich nur in geringerem Masse geltend macht. Reizt man unter allmählicher Verminderung des Rollenabstandes an den Fingerspitzen, so erhält man eine eigentümliche, durchaus nicht schmerzhaft empfundene von oscillierendem Charakter, welche selbst bei beträchtlicher Näherung der Rollen nicht besonders schmerzhaft wird. Der Versuch entspricht einer isolierten Reizung der Blix'schen Druckpunkte. Hierbei tritt an ihnen nach Goldscheider: „ein prickelndes Gefühl ein, bei einer Stromstärke, welche zwischen ihnen keine Empfindung hervorruft. Macht man den Strom etwas stärker, so fühlt man zwischen den Punkten ein unbestimmtes Ziehen oder Stechen, auf denselben ein kräftiges Prickeln“²⁾. Wiederholt man den Versuch an einer weniger druckempfindlichen Stelle, etwa über dem Trapeziusrande, so empfindet man schon an der Reizschwelle ein deutliches Stechen, das mehr kontinuierlich erscheint (Trägheit der Schmerzempfindung). Zwischen diesen Extremen liegen alle faradokutanen Empfindungen, und oft besteht schon zwischen dicht nebeneinander gelegenen Stellen ein scharfer Unterschied.

Ein Zusammenhang zwischen dem Charakter der Empfindung und der Höhe ihrer Reizschwelle konnte nicht festgestellt werden.

Die Resultate meiner Bestimmungen des Schwellenwertes für die faradokutane Sensibilität sind in den Tabellen IX—XII verzeichnet.

1) E. von Leyden, Untersuchungen über die Sensibilität im gesunden und kranken Zustande. Virchow's Arch. Bd. 31 S. 1—34. 1864.

2) A. Goldscheider, Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 192.

Tabelle IX.

Reizschwellen der faradischen Sensibilität der Haut über dem linken Trapezius.

Horizontal- abstand in cm	Vertikalabstände kraniokaudal à 2 cm (Zahlen des Vorderrandes sind fett gedruckt).														
1	110	110	104	105	102	108	98	95	100	110	102	112	90	98	85
2	109	111	105	112	103	110	110	107	112	110	115	119	115	97	102
3	130	112	106	110	108	115	120	109	105	121	110	111	109	110	—
4	131	114	106	105	103	107	115	111	104	119	113	102	114	—	—
5	129	131	110	102	107	110	111	127	110	109	109	104	—	—	—
6	115	124	110	115	108	110	102	114	111	103	113	—	—	—	—
7	118	116	111	102	110	110	118	116	117	110	—	—	—	—	—
8	123	116	116	115	108	110	104	112	117	104	—	—	—	—	—
9	—	116	128	113	102	111	110	99	108	—	—	—	—	—	—
10	—	131	130	104	110	123	—	—	—	—	—	—	—	—	—
11	—	—	127	121	110	124	—	—	—	—	—	—	—	—	—
12	—	—	116	125	108	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—
13	—	—	125	127	110	111	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	—	128	110	102	121	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	124	124	114	—	—	—	—	—	—	—	—	—
16	—	—	—	126	101	103	—	—	—	—	—	—	—	—	—
17	—	—	—	124	99	120	—	—	—	—	—	—	—	—	—
18	—	—	—	116	116	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—
19	—	—	—	128	125	110	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	—	—	—	—	121	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
21	—	—	—	—	135	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
22	—	—	—	—	130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Auf der Haut über dem Trapezius wurde die Reizschwelle an Punkten bestimmt, welche je 1 cm voneinander abstanden und auf horizontal am Rumpfe gezogenen Linien eingetragen waren. Diese Linien verliefen von der Gegend der Dornfortsätze zum lateralen Rande des Muskels und waren in vertikaler Richtung je 2 cm voneinander entfernt. Nimmt man in der Tabelle den zweiten horizontalen Strich als Mediane an, dann entsprechen die Stäbe den erwähnten horizontalen Linien. Zwischen der sechsten und siebenten Spalte ist die Spina scapulae vorzustellen. Zunächst ist in der Medianen eine Abnahme der Empfindlichkeit in kraniokaudaler Richtung bemerkbar. In den lateralwärts gelegenen Sagittalen ist eine solche Abnahme nur im allgemeinen angedeutet, indem die niedrigen Werte kaudalwärts entschieden vorwiegen. Ferner findet eine ziemlich stete Erniedrigung der Reizschwelle von der Medianen lateralwärts bis zu einer Linie statt, welche für den oberen Abschnitt des Trapezius mit seiner lateralen Umschlagstelle zusammenfällt und im unteren Teile etwas einwärts vom Margo lateralis des Muskels zu

denken ist. Die Umschlagstelle ist in der Tabelle durch fetten Druck der ihr entsprechenden Werte angedeutet. An dieser Linie erreicht die Empfindlichkeit ein Maximum, weiter lateral erfolgt meist ein Abfall, dann wieder ein Anstieg. Die auffallend niedrige faradokutane Sensibilität an den Hautpartien über den Dornfortsätzen fällt mit der von Goldscheider betonten und aus der Nervenverbreitung erklärten geringen Temperaturempfindlichkeit dieser Stellen zusammen.

Die Haut über dem Sternocleidomastoideus (Tab. X) zeigt eine ziemlich gleichmässige und verhältnismässig hohe Empfindlichkeit. Die kranialwärts gelegenen Stellen lassen einen raschen Abfall der Werte erkennen; dieser entspricht der bekannten, stumpfen Empfindlichkeit der behaarten Kopfhaut.

Über dem Pectoralis major wurde die faradokutane Sensibilität auf vier Linien untersucht, die folgenden Verlauf hatten: je eine über dem oberen und unteren Muskelrande, die dritte vom Sternalende der zweiten, die vierte vom Sternalende der dritten Rippe zum Ansatz des Pectoralis major am Humerus. Die Reizpunkte lagen auf diesen Linien je 1 cm voneinander entfernt. Die Tabelle X lässt ein allmähliches Ansteigen der Sensibilität in der Richtung vom Sternum gegen den Humerus erkennen. Die geringe faradokutane Empfindlichkeit der Sternalgegend entspricht der von Goldscheider und Veress bestimmten Temperaturempfindlichkeit dieser Region.

Auf der Haut über dem Deltamuskel wurde in Abständen von je 1 cm auf drei Linien gereizt, die in vertikaler Richtung 0,5 cm lateral von der Symmetrieebene des Oberarmes, durch die Mitte seiner Facies lateralis und dicht neben dem Margo posterior des Deltoideus gezogen wurden. Die Tabelle X zeigt auf dem ganzen Hautgebiete einen Anstieg der Empfindlichkeit in distaler Richtung an, ferner eine geringere Empfindlichkeit an der Facies lateralis als an der Facies anterior und eine noch geringere an der Facies posterior.

An der Streck- und Beugeseite des Oberarmes wurde die faradokutane Sensibilität auf je drei Linien bestimmt, deren eine in der Symmetrieebene, die beiden anderen in seitlichen Abständen von 2 cm neben ihr verliefen. An der Beugeseite ist auf allen drei Linien eine Zunahme der Sensibilität in distaler Richtung angedeutet; an der Streckseite ist kein Unterschied zwischen den einzelnen Höhenabschnitten ausgesprochen. Sowohl an der Beugeseite als auch

Tabelle X.

Reizschwellen faradokutaner Sensibilität über den Musculi.

	Sternocl. mast.		Pectoralis major				Deltoideus		
	rechts	links	Unterer Rand	Dritte Rippe Humerus- ansatz	Zweite Rippe Humerus- ansatz	Oberer Rand	Facies ant.	Facies lat.	Hinterer Rand
1	139	136	120	122	115	124	123	116	110
2	140	137	119	124	120	120	117	115	107
3	138	138	121	123	128	131	115	110	109
4	137	139	128	127	127	135	116	117	109
5	136	137	129	126	125	126	127	112	117
6	138	140	130	126	124	135	133	112	115
7	141	140	134	124	135	133	130	115	114
8	140	140	132	131	134	137	128	120	114
9	137	137	131	130	132	136	130	120	117
10	137	141	127	132	130	139	129	128	116
11	143	145	131	132	133	125	130	128	120
12	138	137	133	134	135	—	125	125	134
13	136	132	131	135	133	—	128	125	127
14	137	140	130	134	134	—	130	130	130
15	120	133	125	134	133	—	131	130	135
16	128	125	133	128	135	—	—	—	—
	—	—	132	130	—	—	—	—	—

Tabelle XI.

Reizschwellen der faradokutanen Sensibilität.

Höhen- ab- stände in cm	Beugeseite des Oberarmes			Streckseite des Oberarmes			Beugeseite des Unter- armes. Mittellinie	Streckseite des Unter- armes. Über Ulna
	med.	Mitte	lat.	med.	Mitte	lat.		
1	120	121	105	—	110	—	127	105
2	125	120	115	—	112	—	115	107
3	130	115	115	—	112	—	118	110
4	125	115	120	—	115	—	125	118
5	120	120	115	133	112	120	130	110
6	123	115	110	—	120	—	134	125
7	117	110	110	—	120	—	120	115
8	120	110	110	—	120	—	118	110
9	115	110	115	—	120	—	125	115
10	120	110	112	132	110	115	125	110
11	120	120	110	—	115	—	130	110
12	130	120	112	—	110	—	135	105
13	132	120	120	—	112	—	135	115
14	135	110	120	—	110	—	136	112
15	130	120	125	140	110	130	135	115
16	130	120	125	—	111	—	125	114
17	125	125	128	—	115	—	127	110
18	127	130	128	—	112	—	122	115
19	—	—	—	—	112	—	122	112
20	—	—	—	136	99	112	130	112
21	—	—	—	—	114	—	125	120
22	—	—	—	—	108	—	135	115

an der Streckseite ist die Reizschwelle in den medialen Partien niedriger als in den lateralen; die Gegend der Mittellinie ist an der Beugeseite ein wenig empfindlicher als die laterale Hautpartie; an der Streckseite besteht zwischen den beiden letztgenannten Zonen das umgekehrte Verhältnis.

Am Vorderarme, dessen Empfindlichkeit in der Symmetrieebene der Beugeseite und über dem Margo posterior der Ulna bestimmt wurde, macht sich an der Beugeseite ein Maximum der Hautsensibilität in einem mittleren Höhenabschnitte geltend, von wo distal- und proximalwärts wieder ein geringer Abfall erfolgt; ähnliche Verhältnisse erscheinen auch auf der Streckseite angedeutet. Ein Vergleich der nebenstehenden Werte in der Tabelle XI lässt eine höhere Empfindlichkeit der Beugeseite erkennen.

Tabelle XII.

Reizschwellen der faradokutanen Sensibilität.

Höhen- abstände in cm	Oberschenkel Fac.:			Unterschenkel Fac.:		
	med.	ant.	lat.	med.	post.	lat.
1	—	—	123	122	115	117
3	—	—	132	123	127	121
5	—	—	131	128	130	108
7	—	122	128	120	125	107
9	130	119	125	123	126	106
11	135	117	122	115	120	119
13	140	115	125	120	118	117
15	135	122	123	119	127	118
17	130	125	120	123	123	121
19	135	113	120	110	128	114
21	130	135	120	115	129	113
23	135	120	120	116	128	117
25	140	128	125	—	—	112
27	135	135	125	—	—	111
29	135	122	125	—	—	—
31	140	120	115	—	—	—
33	140	128	120	—	—	—
35	—	—	123	—	—	—
37	—	—	120	—	—	—
39	—	—	118	—	—	—

Am Oberschenkel wurde die Reizschwelle für die faradokutane Sensibilität an Stellen bestimmt, welche je 2 cm voneinander abstanden und auf Linien eingetragen waren, die in vertikaler Richtung durch die Mitte der Facies anterior, medialis und lateralis verliefen. Ein Unterschied in der Empfindlichkeit zwischen distal und proximal gelegenen Hautpartien ist nirgends wahrzunehmen.

Dagegen ergibt ein Vergleich der nebeneinander stehenden Schwellenwerte in der Tabelle XII, dass die Medialseite weitaus die empfindlichste ist. Das arithmetische Mittel der Werte für die Facies lateralis stellt sich etwas höher als jenes für die Facies anterior; nimmt man aber bloss den Durchschnitt für jene Höhen der Facies lateralis, an denen auch die Facies anterior untersucht wurde, so erhält man für die letztere einen höheren Mittelwert der Reizempfindlichkeit.

Auf der Haut des Unterschenkels wurden die Schwellen an Punkten bestimmt, die in gleichen Abständen voneinander auf Linien eingetragen waren, deren eine parallel mit der inneren Tibiakante, deren zweite über die Fibula, deren dritte in gleicher Richtung über die Mitte der Wade verlief. Auch in diesen Hautabschnitten sind die Werte für verschiedene Höhen ungefähr gleich; ferner ist aus der Tabelle XII zu entnehmen, dass die Empfindlichkeit an der Facies lateralis am niedrigsten, an der Facies medialis höher, am höchsten an der Facies posterior ist.

Ein Vergleich der Mittelwerte in den Tabellen ergibt die untersuchten Körperregionen nach absteigender Empfindlichkeit geordnet in folgender Reihe:

Tabelle XIII.

	Hautpartie	Durchschnitt der Schwellenwerte
1	Sternocleidomastoideus	sin. 137,31 dext. 136,56
2	Femur facies medialis	135,38
3	Pectoralis major	129,78
4	Antibrachium facies anterior	127,00
5	Regio deltoidea anterior	126,13
6	Humerus facies medialis	124,66
7	Crus facies posterior	124,6
8	Femur facies lateralis	123,00
9	Femur facies anterior	122,93
10	Regio deltoidea lateralis	120,2
11	Crus facies medialis	119,5
12	Regio nuchae superior	119,36
13	Regio deltoidea posterior	118,26
14	Humerus facies anterior	117,28
15	Humerus facies lateralis	116,33
16	Crus facies lateralis	114,35
17	Antibrachium facies posterior	112,73
18	Regio nuchae inferior	110,00
19	Regio mediana dorsi	101,00

Aus dieser Zusammenstellung (Tabelle XIII) ist, was zunächst die Extremitäten anlangt, die im weiteren Umfange untersucht wurden, zu entnehmen, dass die Reizschwelle an den Beuge- und Innenseiten niedriger liegt als an den Streck- und Aussenseiten der Gliedmassen.

Der Befund einer höheren Empfindlichkeit am Vorderhalse, an der Nacken- und Schultergegend steht in Übereinstimmung mit den Beobachtungen von Drosdoff¹⁾ über die elektrische Reizbarkeit der Haut. Ferner ergaben auch die Untersuchungen von v. Leyden und von Drosdoff, dass die faradokutane Sensibilität des Unterschenkels niedriger sei als jene des Oberschenkels und dass die Beugeseite des Oberarmes und die Innenseite des Oberschenkels empfindlicher seien als die Streck- bzw. Aussenseite. Drosdoff findet den Vorderarm weniger empfindlich als den Oberarm, während meine Untersuchung in Übereinstimmung mit den Beobachtungen v. Leydens ein umgekehrtes Verhältniss ergab. Das Resultat der Schwellenbestimmung an der Regio sternocleidomastoidea beider Körperseiten stimmt mit den Erfahrungen überein, welche Kiesow²⁾ bei der faradischen Reizung symmetrischer Hautstellen gemacht hat.

Endlich möchte ich noch darauf hinweisen, dass nach der Untersuchung von Veress über die Topographie der Temperaturempfindlichkeit die Beugeseite des Ober- und Vorderarmes sich empfindlicher erwies als die Streckseite, die Innenfläche des Ober- und Unterschenkels empfindlicher als die Aussenfläche respektive Hinterfläche. Der genannte Beobachter ist geneigt, diese Unterschiede vorzugsweise durch eine verschiedene Hautdicke zu erklären. Eine ähnliche Deutung der differenten elektrischen Erregbarkeit der Haut wurde auch von v. Leyden, welcher Versuche an von Epidermis entblösten Körperstellen anstellte, sowie von Bernhardt³⁾ erwogen, von Drosdoff jedoch auf Grund seiner Untersuchungen über die verschiedenen Leitungswiderstände der Haut abgelehnt. Insbesondere dieser vertritt die Ansicht, dass die ungleiche

1) Drosdoff, Untersuchungen über die elektrische Reizbarkeit der Haut bei Gesunden und Kranken. Arch. f. Psychiatrie Bd. 9 S. 203—232. 1879.

2) F. Kiesow, Zur Psychophysiologie der Mundhöhle. Wundt's Philos. Studien Bd. 14 S. 567—588. 1898.

3) M. Bernhardt, Elektrotherapeutische Notizen. Deutsch. Arch. f. klin. Medizin Bd. 19 S. 382—391. 1877.

Hautsensibilität von den „verschiedenen Graden der Erregbarkeit der Hautnerven selbst“ abhängt und „unmöglich durch die Widerstände der Epidermis erklärt“ werden kann. Ebenso hält auch Goldscheider¹⁾ dafür, dass sich die Verschiedenheit der Temperaturempfindlichkeit nicht durch den Leitungswiderstand der Haut erklären lasse, sondern das „Hauptmoment in der Innervation zu suchen sei“. Die Beobachtung von Goldscheider, dass die Schmerz- und Temperaturempfindlichkeit mit dem Nervenreichtume der Haut überhaupt im Zusammenhange stehe, erklärt auch die im obigen vielfach betonte Übereinstimmung zwischen der Empfindlichkeit für Temperatur- und faradische Reize, bei welchen es sich ja nach v. Frey²⁾ um eine direkte Erregung der Hautnerven handeln dürfte. Zu so schroffen Gegensätzen freilich, wie sie die Topographie der Temperaturempfindlichkeit an vielen Stellen ergab, kann es bei der faradokutanen Sensibilität nicht kommen, weil auch Stellen höherer Tastempfindlichkeit, welche nach Goldscheider zu Schmerz- und Temperaturempfindlichkeit ein „gewisses reziprokes Verhältnis“³⁾ zeigt, eine niedrige Reizschwelle faradokutaner Sensibilität ergeben. Während daher die Temperaturempfindlichkeit distalwärts in den Extremitäten abnimmt, die Druckempfindlichkeit ein entgegengesetztes Verhältnis zeigt, erscheint die faradokutane Sensibilität auf den einzelnen Höhenabschnitten der Extremitäten ziemlich gleichmässig ausgebildet.

6. Fehlerquellen bei der topographischen Untersuchung der elektromuskulären Sensibilität.

Bei den Versuchen, welche der Beantwortung der Frage dienen, ob die wiederholte Untersuchung desselben Muskels an der gleichen Stelle konstante Werte ergibt, stiess ich auf eine für eine vergleichende Untersuchung jedenfalls beachtenswerte Fehlerquelle. Die erwähnten Versuche ergaben anfangs neben einer ziemlich weitgehenden Übereinstimmung der ermittelten Werte oft auch ganz wesentliche Differenzen. Eine Erklärung derselben brachte erst die zufällige Untersuchung des gleichen Muskels am Anfange und am Ende eines Versuchstages; während nämlich die zu Beginn der

1) l. c. S. 165.

2) l. c.

3) Gesammelte Abhandlungen Bd. 1 S. 75.

Tabelle XIV.

Reizschwellen der faradomuskulären Sensibilität.

Abstände in cm	Sternocleidomastoideus						Brachioradialis			
	vorderer Rand		hinterer Rand		vorderer Rand		Innenrand		Mitte	
	Beginn der Ver- suchs- reihe	1½ St. später	Beginn der Ver- suchs- reihe	1½ St. später	Beginn der Ver- suchs- reihe	1½ St. später	Beginn der Ver- suchs- reihe	1½ St. später	Beginn der Ver- suchs- reihe	1½ St. später
1	90	—	90	90	—	—	105	115	—	—
2	100	—	102	95	90	110	110	125	110	—
3	110	125	110	110	105	120	115	120	100	115
4	118	129	110	115	110	135	104	130	—	115
5	120	135	120	125	115	140	115	140	110	115
6	120	133	120	130	113	135	115	135	110	120
7	126	135	120	135	113	130	110	125	105	115
8	130	136	130	140	120	140	110	140	110	115
9	123	140	128	130	115	135	124	140	115	115
10	125	135	125	133	120	140	110	120	105	110
11	127	133	120	134	115	135	95	110	110	110
12	126	135	127	140	120	140	90	—	100	100
13	110	130	110	140	110	128	—	—	—	—
14	102	—	95	130	—	—	—	—	—	—
15	—	—	—	100	—	—	—	—	—	—

Versuchsreihe gewonnenen Schwellenwerte weit unter jenen lagen, welche am vorhergehenden Tage nach längerem Experimentieren an anderen Muskeln ermittelt worden waren, stimmten die am Ende der Versuchsreihe gefundenen Werte auffällig mit jenen des Vortages überein. Die Resultate einer mehrfachen Wiederholung des Versuches unter ähnlichen Bedingungen sind in der Tabelle XIV wiedergegeben. Hier wurden die Werte, welche zu Beginn und im weiteren Verlaufe einer Versuchsreihe an den gleichen Punkten desselben Muskels gefunden wurden, nebeneinander verzeichnet. Ein Vergleich derselben ergibt, dass in beiden Untersuchungen die einzelnen Muskelabschnitte eine gleiche relative Empfindlichkeit zeigen, die Reizschwelle aber nach einer Versuchsdauer von 1½ Stunden eine Erniedrigung um durchschnittlich 15 mm R.-A. erfährt. Diese Erscheinung darf jedenfalls in die Reihe jener gestellt werden, welche eine Verstärkung der Empfindungsintensität durch eine vorhergehende Erregung erkennen lassen. Das Eigentümliche des hier beobachteten Phänomens ist aber wohl darin gelegen, dass diese Steigerung der Empfindlichkeit eines Muskels sich durchaus nicht nur bei seiner Reizung selbst ergibt; denn eben bei jenem zuerst beschriebenen Versuche fand ich eine grössere Empfindlichkeit des Sternocleidomastoideus nach vorausgegangener Reizung der Muskeln des Ober-

schenkels. Diese Tatsache dürfte jedenfalls für die Beteiligung zentraler Momente bei dem Zustandekommen des Phänomens sprechen. Genauere Angaben über den zeitlichen Verlauf dieser Erregbarkeitsänderung sind vorderhand noch nicht zu geben; ich sah sie unter gleichen Umständen sich bald rascher, bald langsamer vollziehen. Auch die Intensität der Reizung scheint von keiner wesentlichen Bedeutung für die Dauer des Zustandekommens der höheren Empfindlichkeit zu sein. Die in der beschriebenen Erscheinung gelegene Fehlerquelle für die vergleichende Untersuchung der Schwellenwerte wurde dadurch umgangen, dass die zu Beginn einer Sitzung gewonnenen Werte am Schlusse der Versuchsreihe nochmals nachgeprüft wurden. Es möge hier endlich noch bemerkt werden, dass nach Erreichen des Maximums der Sensibilität bei der in der Untersuchung beobachteten Versuchsanordnung selbst in 2—3 stündigen Versuchsreihen keine weiteren Veränderungen der Reizempfindlichkeit wahrgenommen wurden.

Auf eine andere Fehlerquelle wies die früher (S. 13) des näheren beschriebene Erscheinung hin, welche lehrte, dass nach Auslösung einer Minimalempfindung die Rollen ziemlich weit über den Abstand hinaus entfernt werden können, welcher der Reizschwelle bei Bestimmung des Schwellenwertes mit allmählicher Verminderung des Rollenabstandes entsprach. Bei der Wahl zwischen den Verfahren, die Reizschwelle durch allmähliche Verminderung oder Vergrößerung des Rollenabstandes [eben merkliche, bzw. eben unmerkliche Reizstärke¹⁾] zu bestimmen, entschied ich mich für das erstere, da wenn von niedrigeren Rollenabständen ausgegangen wird, eine Erhöhung der Reizschwelle durch Ermüdung zu befürchten ist. Freilich birgt diese Methode eine Schwierigkeit, weil an empfindlicheren Hautstellen die Wahrnehmung der minimalen Erregung bei allmählicher Verminderung des Rollenabstandes oft recht unsicher erfolgen kann, während die einmal durch einen stärkeren Reiz ausgelöste elektromuskuläre Empfindung bei allmählicher Entfernung der Rollen leicht festgehalten wird. Aus diesem Grunde wurde an jenen Stellen, an welchen eine Störung durch Hautempfindungen zu erwarten war, erst ein Vorversuch angestellt, bei dem in der Reizung von niedrigeren Rollenabständen ausgegangen wurde und

1) Vgl. Wundt: Grundzüge der physiol. Psychologie, 4. Aufl., Bd. I S. 335. 1893.

hierauf unmittelbar der entscheidende Versuch unter rascher Erniedrigung des Rollenabstandes vorgenommen.

Nach den früher beschriebenen Versuchen, die eine Art „Einschleichen“ des Reizes auch für die elektromuskuläre Sensibilität feststellen liessen, war anzunehmen, dass die Schwellenwerte bei kürzerer oder längerer Dauer der Bestimmung verschieden ausfallen würden. Zur Orientierung über die Grösse dieser Fehlerquelle wurden einige Versuche angestellt, bei denen von einem grösseren Rollenabstande ausgegangen und die Rollen langsam übereinandergeschoben wurden (1 mm in ca. 5 bis 10 Sekunden). Nach Eintritt der Minimalempfindung wurde die Elektrode an der gleichen Stelle belassen, der Strom unterbrochen und nach einer Pause abermals die Schwelle bestimmt, diesmal aber die sekundäre Rolle bloss ungefähr 10 mm über jenen Abstand entfernt, der voraussichtlich der Reizschwelle entsprach und möglichst rasch (1 mm in 1 bis 2 Sekunden) der primären Rolle genähert. Die Resultate von fünf derartigen Versuchen sind in der Tabelle XV enthalten. Sie zeigt eine maximale Differenz von 4 mm zwischen den Werten der beiden Bestimmungen. Zur Vermeidung dieser Fehlerquelle wurde bei der vergleichenden Bestimmung der Reizschwellen eine ziemlich gleichmässige Dauer des einzelnen Versuches angestrebt und, wo eine unerwartet hohe Schwelle die Bestimmung verzögerte, der Versuch wiederholt.

Tabelle XV.

Versuchszahl	Dauer der Reizschwellenbestimmung in Sekunden	Reizschwelle	Dauer der Reizschwellenbestimmung in Sekunden	Reizschwelle
I	90	137	14	140
II	120	132	12	136
III	85	138	14	141
IV	85	138	13	141
V	65	138	12	142

7. Topographie der elektromuskulären Sensibilität.

Die vergleichenden Bestimmungen der Reizschwellen der elektromuskulären Sensibilität geschahen im allgemeinen auf folgende Weise: die Konturen der einzelnen, für die Untersuchung gewählten Muskeln wurden mit Tintenstift auf die Hautoberfläche eingetragen, sodann

einzelne Linien in bestimmten Abständen (1 bis 4 cm) voneinander in der Richtung des Faserverlaufes auf die Projektion des Muskels verzeichnet und die Schwellenwerte an Punkten, die in der Faserichtung je 1 cm voneinander abstanden, bestimmt. Zwischen je zwei Versuchen wurde eine Pause von 1—2 Minuten, nach 10—15 Versuchen eine 5 Minuten lange Pause eingeschaltet. Die Dauer einer Sitzung betrug bis zwei Stunden. Das Nähere über die Art der Reizung wurde bei Besprechung der Methodik und der Fehlerquellen angegeben. Die Ergebnisse der einzelnen Versuche sind in Tabellen zusammengestellt. Wo nicht eigens anders bemerkt, gelten die anzuführenden Werte für die linksseitigen Muskeln. Zur übersichtlichen Darstellung wurden auch Diagramme und zwar in folgender Weise entworfen: durch gleichmässiges, verschieden dichtes Linieren von Papierstreifen ward eine Skala hergestellt, deren Tönen einzelne Stufen der Reizskala in der Art gleichgesetzt wurden, dass den höheren Schwellen (der geringeren Erregbarkeit) eine schütterere, den niedrigeren (der höheren Erregbarkeit) eine dichtere Schraffierung entspricht. Aus diesen Papierflächen ausgeschnittene kreisrunde kleine Scheibchen wurden auf die in natürlicher Grösse auf Tafeln entworfenen Projektionen der Muskeloberflächen an Stellen geklebt, deren Lage mit jener der Reizpunkte genau übereinstimmte. Auf diese Weise wurden auch die Figuren der Tafel I hergestellt. In denselben sind acht Farbenstufen kenntlich, welche den Reizwerten 140—130—120 70 mm R.-A. entsprechen.

1. M. sternocleidomastoideus.

Für diesen Muskel wurden in der angegebenen Weise die Schwellenwerte an zwei Linien bestimmt, welche 1 cm von seinem vorderen und hinteren Rande entfernt waren. Auf diesen Linien waren die Reizpunkte in Abständen von je 1 cm eingetragen. Die Versuche erstreckten sich auf die beiderseitigen Muskeln. Die gewonnenen vier Zahlenreihen zeigten eine nahezu vollständige Übereinstimmung der an Punkten gleicher Höhe ermittelten Werte. Ich kann mich daher mit dem Hinweise auf die in der Tabelle XIV gegebene Zusammenstellung begnügen. Es zeigt sich ein breites Maximum der Reizempfindlichkeit ungefähr über den mittleren drei Fünfteln der Muskellänge.

2. M. trapezius.

Die Untersuchung der Reizempfindlichkeit dieses Muskels wurde für seine claviculare Portion getrennt von den dorsalen Muskelabschnitten vorgenommen. Am Rücken wurden die Reizschwellen an Punkten bestimmt, welche in Abständen von je 1 cm auf Linien lagen, die, in vertikaler Richtung je 3 cm voneinander entfernt, horizontal auf der Haut verliefen. Zur Bestimmung der Reizschwellen an der Portio clavicularis ward eine Linie über den Margo anterior des Muskels gezogen, eine zweite in gleicher Richtung 2 cm von der ersten entfernt. Auf diesen Linien standen die Reizstellen je 1 cm voneinander ab. Die Resultate sind in der Tabelle XVI verzeichnet, in welcher die erste Horizontalreihe der Medianen entspricht. Zunächst fällt die äusserst niedrige Reizempfindlichkeit der unter der Scapula gelegenen Muskelpartie auf; die hintere Nackenpartie lässt ein sehr scharf ausgeprägtes Maximum erkennen, das in den unmittelbar über der Spina scapulae gelegenen Muskelabschnitten ziemlich weit von der Umschlagstelle des Muskels absteht, in den kranialen dicht an sie herantritt. Die Portio clavicularis weist fast durchgehends eine starke Reizempfindlichkeit auf, doch ist auch hier wie beim Sternocleidomastoideus eine Erhöhung der Reizschwelle in der Gegend der Clavicula kenntlich.

Tabelle XVI.

Reizschwellen der faradomuskulären Sensibilität über dem Trapezius.

	Pars posterior superior					Pars posterior inferior					Pars anter.	
1	60	—	70	70	—	75	75	—	—	70	120	125
2	75	100	70	90	80	75	100	80	—	60	117	128
3	—	105	80	70	85	80	90	80	—	—	127	130
4	—	125	95	90	90	—	90	90	70	—	125	125
5	—	—	115	125	110	—	—	91	70	—	123	128
6	—	—	—	120	120	—	—	—	—	—	120	112
7	—	—	—	120	125	—	—	—	—	—	130	100
8	—	—	—	90	70	—	—	—	—	—	115	95
9	—	—	—	—	80	—	—	—	—	—	105	—
10	—	—	—	—	70	—	—	—	—	—	105	—
11	—	—	—	—	65	—	—	—	—	—	—	—

3. M. pectoralis major.

An diesem Muskel nahm ich die Bestimmungen der Reizschwellen an den gleichen Stellen vor, an welchen die faradokutanen

Reizschwellen¹⁾ ermittelt wurden. Eine Betrachtung der Tabelle XVII lässt ein deutliches Minimum der elektromuskulären Reizempfindlichkeit am sternalen Ansatz des Muskels erkennen. Die beiden ersten oberen Reihen zeigen im Verhältnisse zu den beiden folgenden weit geringere Werte. Die dritte gibt zwei Maxima zu erkennen, deren eines ungefähr in der Mitte der Muskellänge, deren zweites näher dem humeralen Ansatz gelegen ist. Die letzte Reihe endlich, welche die über dem Margo inferior ermittelten Werte enthält, zeigt ein etwas breiteres Maximum, das einer von Humerus und Sternum ungefähr gleich weit entfernten Muskelpartie entspricht.

Tabelle XVII.

Reizschwellen der faradomuskulären Sensibilität über den Musculi:

	Pectoralis major				Deltoides			
	Oberer Rand	Mitte		Unterer Rand	Akromiale Portion		Spinale Portion	
1	—	90	—	90	70	100	—	—
2	—	100	105	100	90	105	—	—
3	—	120	115	110	125	105	80	80
4	—	—	120	120	130	100	100	90
5	90	120	110	125	120	100	125	120
6	95	120	125	135	112	100	—	—
7	100	125	125	125	120	110	115	115
8	105	112	122	125	140	105	120	115
9	105	114	120	120	105	110	100	110
10	110	104	110	130	110	115	100	—
11	105	105	130	125	110	110	—	100
12	110	105	135	130	115	—	—	—
13	120	120	140	125	—	100	80	—
14	120	115	125	100	100	90	80	—

4. M. deltoideus.

Die Reizschwellen dieses Muskels bestimmte ich auf vier Linien, die über dem proximalen Ansatz des Muskels je 3 cm voneinander abstanden und gegen seinen distalen Ansatz hin konvergierten. Auf diesen Linien waren die Reizpunkte in Abständen von je 1 cm verzeichnet. Aus der Betrachtung der in der Tabelle XVII wiedergegebenen Werte erhellt sofort, dass einem vom proximalen und distalen Ursprunge des Muskels ungefähr gleich weit entfernten Abschnitte die grösste Empfindlichkeit zukommt. Ferner bestehen auch noch Unterschiede der Empfindlichkeit in der Breitenausdehnung des Muskels, indem das Maximum in der Nähe des Margo medialis einen höheren Wert erreicht als in den übrigen Muskelpartien.

1) Vgl. S. 29.

5. M. biceps brachii.

Die Untersuchung der elektromuskulären Sensibilität des Muskels wurde auf drei Linien vorgenommen, welche ungefähr den gleichen Verlauf hatten wie die zur Ermittlung der faradokutanen Reizschwellen¹⁾ gezogenen. Eine Betrachtung der Tabelle XVIII ergibt, dass vom Margo medialis gegen den Margo lateralis eine Abnahme der Reizempfindlichkeit nachweisbar ist; zwar zeigt auch noch die mittlere Linie ein gleich hohes Maximum wie die mediale, ersteres dehnt sich aber über eine kürzere Strecke aus. Im lateralen Abschnitte endlich ist eine gleich niedrige Reizschwelle überhaupt nicht mehr nachweisbar. Auf der Längenausdehnung des Muskels

Tabelle XVIII.

Reizschwellen der faradomuskulären Sensibilität über den Musculi:

	Biceps			Triceps		
	Med.	Mitte	Lat.	Med.	Mitte	Lat.
1	80	70	—	—	120	—
2	90	75	70	—	110	—
3	100	80	—	—	110	—
4	105	90	80	—	117	—
5	126	95	—	—	115	—
6	127	100	90	—	100	100
7	127	116	—	—	115	105
8	135	121	95	105	120	100
9	135	135	—	110	125	95
10	125	121	107	105	115	97
11	132	130	120	105	110	95
12	125	121	120	115	100	85
13	115	115	117	95	105	80
14	100	110	110	100	105	85
15	100	105	90	100	100	100
16	90	105	90	100	90	90
17	—	99	—	95	100	85
18	—	80	—	85	90	90
19	—	—	—	—	90	93
20	—	—	—	—	100	84
21	—	—	—	—	100	91
22	—	—	—	—	100	95
23	—	—	—	—	100	92
24	—	—	—	—	95	97
25	—	—	—	—	100	90
26	—	—	—	—	98	—
27	—	—	—	—	100	—
28	—	—	—	—	90	—

1) Vgl. S. 29.

finden wir in der Muskelmitte die niedersten Schwellen, von da an gegen die beiden Enden eine ziemlich gleichmässige Erhöhung derselben (vergl. Tafel I Fig. 1).

Nach dem bei Besprechung der Fehlerquellen Auseinandergesetzten kann den Werten, welche an den relativ am schwächsten empfindlichen Muskelenden ermittelt wurden, wegen des grossen Abstandes zwischen faradokutaner und faradomuskulärer Empfindlichkeit an diesen Stellen nicht die gleiche Gültigkeit zuerkannt werden wie den für die mittleren Muskelabschnitte gewonnenen. Allerdings gilt diese Einschränkung bloss für die Zahlen der ersten und jene der letzten drei horizontalen Reihen.

Bei der Untersuchung der faradischen Empfindlichkeit des Biceps wurde auch seine Sehne eingehender mit dem faradischen Strome geprüft. Sie erwies sich selbst bei sehr starker Reizung anscheinend völlig unempfindlich. Dasselbe Resultat ergab auch die Untersuchung der Sehnen anderer Muskeln. Es möge hier noch erwähnt werden, dass ich in meinen Versuchen auch durch faradische Reizung über Gelenken keine spezifischen Empfindungen auslösen konnte.

6. *M. triceps brachii.*

Auch dieser Muskel lässt, wie der früher besprochene, eine entschiedene Abnahme der Reizempfindlichkeit gegen seinen lateralen Rand hin erkennen. Die niedrigsten Schwellen wurden bei ihm in der Symmetrieebene des Oberarmes gefunden, und zwar ist hier bei Verfolgung der Zahlenreihe (Tabelle XVIII) von den dem distalen Ansätze entsprechenden Werten zu jenen, welche proximalwärts gefunden wurden, erst ein Anstieg, dann ein Abfall der Schwellenwerte, hierauf neuerlicher Anstieg zu einem breiten Maximum festzustellen. Die mediale Partie zeigt eine ziemlich gleichmässig ausgebreitete, niedrige Empfindlichkeit. Der verhältnismässig stumpfen faradokutanen Sensibilität an der Streckseite des Oberarmes zufolge ist hier wohl nur die unterste Zahl der mittleren Reihe als nicht ganz zuverlässig anzunehmen.

7—15. Unterarm.

Die Bestimmung der Reizempfindlichkeit des Brachioradialis wurde auf zwei Linien vorgenommen, deren eine über dem inneren Rande des Muskels, deren zweite über der Muskelmitte verlief. Die Reizpunkte

standen je 1 cm voneinander ab. Für die übrigen Muskeln wurde ungefähr ihrer Mittellinie entsprechend je eine solche Punktreihe verzeichnet.

Was den Brachioradialis anlangt, so war eine entschieden höhere Empfindlichkeit seines Margo medialis im Vergleiche zu der des mittleren Muskelabschnittes festzustellen. Auf beiden Linien fand ein langsamer Anstieg zu einem Maximum statt, das ungefähr an der Grenze des mittleren und oberen Drittels des Muskels gelegen ist (vergl. Tafel I Fig. 2).

Der Extensor carpi radialis zeigt in der gleichen Höhe wie der eben besprochene Muskel ein allerdings etwas niedrigeres Maximum. Ein solches ist auch noch im Extensor digiti III angedeutet, während der Strecker des vierten und fünften Fingers eine fast gleiche Reizempfindlichkeit auf seiner ganzen Länge aufweist. Im Extensor carpi ulnaris findet man ein ziemlich hohes Maximum im proximalen Drittel, in der gleichen Höhe ein solches im Flexor carpi ulnaris. Der Flexor digiti IV und V ergab einen allmählichen Anstieg der Schwellenwerte zu einem an der Grenze des oberen und mittleren Drittels gelegenen Maximum, von da an einen allmählichen Abfall. An dem Beuger des Mittelfingers war ebenfalls ein Abschnitt grösster Reizempfindlichkeit zu beobachten, weniger deutlich am radialen Beuger des Handgelenkes.

Tabelle XIX.

Reizschwellen der faradomuskulären Sensibilität über den Vorderarmmuskeln.

Abstände in cm	Flexor				Brachioradialis		Extensor			
	carpi uln.	digiti IV. et V.	digiti III.	carpi rad.	Innen- rand	Mitte	carpi rad.	digiti III.	digiti IV. et V.	carpi uln.
1	130	110	100	115	115	115	100	95	100	123
2	130	120	105	115	125	115	105	110	100	115
3	130	130	110	120	120	115	105	110	105	112
4	127	122	115	115	130	120	100	105	100	115
5	135	125	115	120	140	115	100	100	95	120
6	125	130	115	120	135	115	105	95	95	116
7	130	120	125	123	125	115	107	95	95	116
8	125	123	145	110	140	110	105	100	95	117
9	125	125	120	105	140	110	110	120	110	115
10	115	123	120	100	120	100	105	110	100	115
11	—	115	100	90	110	—	95	105	110	—
12	—	105	—	—	—	—	100	100	110	—
13	—	120	—	—	—	—	—	100	110	—
14	—	115	—	—	—	—	—	100	—	—

Ein Blick auf die Tabelle für die Hautsensibilität am Unterarme lehrt¹⁾, dass auch in den niedrigsten Werten der elektromuskulären Sensibilität noch nicht jene Differenz der faradokutanen und -muskulären Schwellenwerte erreicht wird, welche die Gültigkeit letzterer einschränkt.

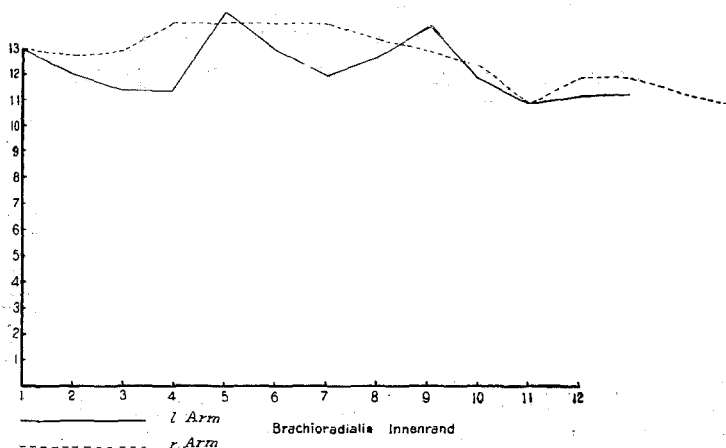


Fig. 2.

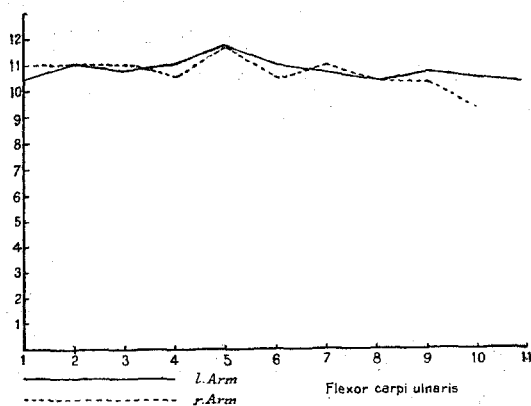


Fig. 3.

Für einzelne Muskeln des Unterarmes wurden die Reizschwellen auch an symmetrisch gelegenen Punkten beider Seiten bestimmt. Die Resultate dieser Versuche sind in den nebenstehenden Kurven (Textfig. 2—4) wiedergegeben. Die Abscisse derselben stellt die Linie vor, auf welcher die Reizpunkte eingetragen waren; die Ordinate

1) Vgl. S. 30.

naten geben die ermittelten Schwellenwerte in Millimetern an. Die Kurven für den rechten Arm sind mit ausgezogener, jene für den linken mit unterbrochener Linie gezeichnet. Die Reizschwellen der rechten und linken Extensoren sowie der beiden Flexores carpi ulnares stimmen nahezu überein; auch ist die in den Tabellen ausgesprochene Differenz zwischen der Reizempfindlichkeit der Streck- und Beugemuskeln unmittelbar zu erkennen. Der Brachioradialis beider Seiten zeigt auch hier wieder das oben erwähnte Maximum im proximalen Drittel. In diesem Muskel erreicht die Reizempfindlichkeit rechts und links die gleiche Höhe, doch ist das Maximum der elektromuskulären Sensibilität in dem Muskel der rechten Seite auf eine längere Strecke ausgedehnt, im linken Brachioradialis dagegen durch einen steilen Abfall in der Mitte unterbrochen.

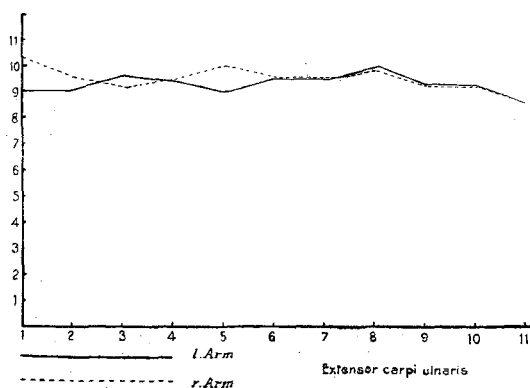


Fig. 4.

Am Unterarme wurden auch an einzelnen Muskeln die Reizschwellen der galvanomuskulären Empfindlichkeit bestimmt. Die Versuchsanordnung war ganz analog wie bei der Ermittlung der Reizschwellen für die faradomuskuläre Sensibilität. Die gefundenen Werte sind in der Tabelle XX enthalten. Aus dem Vergleiche der einzelnen Zahlenreihen ist zu entnehmen, dass die untersuchten Muskeln auch für die galvanomuskuläre Sensibilität Maxima gleicher Lage wie für die faradomuskuläre aufweisen, der Margo ulnaris des Brachioradialis auch für die galvanische Reizung empfindlicher erscheint als der Margo radialis und dass endlich auch zwischen Streckern und Beugern ähnliche Unterschiede bestehen, wie sie bei der faradischen Reizung nachgewiesen wurden.

Tabelle XX.

Reizschwellen der galvanomuskulären Sensibilität bei Kathodenschliessung.

Abstände in cm	Brachioradialis		Flexor carpi ulnaris	Extensor digitorum communis
	Innenrand	Mitte		
1	$\frac{1}{2}$	—	1	1
2	$\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$
3	$\frac{1}{2}$	1	1	$1\frac{1}{4}$
4	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{1}{2}$	1
5	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{2}$	1	$1\frac{1}{2}$
6	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$1\frac{1}{4}$
7	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{4}$	1
8	$\frac{5}{8}$	1	$\frac{3}{4}$	—
9	1	$1\frac{1}{4}$	—	—
10	1	$\frac{3}{4}$	—	—
11	—	1	—	—
12	—	$\frac{3}{4}$	—	—

16—21. Oberschenkel.

Am Oberschenkel wurden die Reizschwellen faradomuskulärer Sensibilität auf Linien bestimmt, welche folgenden Verlauf hatten: 1 cm einwärts vom Innenrande, Mitte und Aussenrande des Vastus lateralis, Mitte des Rectus femoris, 1 cm einwärts vom Innen- und Aussenrande des Vastus medialis. Ferner wurden zwei Linien in einem Abstände von 3 cm an der Innenfläche des Schenkels über den Adduktoren gezogen, je eine weitere über dem Semitendinosus und Biceps femoris caput longum. Die Linien liefen, wie bereits erwähnt, in der Richtung des Faserverlaufes der untersuchten Muskeln. Die Reizpunkte standen je 1 cm voneinander ab.

Sowohl der Rectus femoris als die beiden Vasti lassen je zwei, zum Teile sehr scharf ausgeprägte Maxima erkennen, deren eines im oberen, das andere im unteren Drittel der Muskeln gelegen ist. Die an den Adduktoren — seiner oberflächlichen Lage wegen kommt wohl zunächst der Gracilis in Betracht — gewonnenen Werte zeigen, in distaler Richtung verfolgt, einen raschen Anstieg zu einem im oberen Drittel gelegenen Maximum, von da einen ziemlich stetigen Abfall. Ein ähnliches Ergebnis lieferte auch die Untersuchung des Semitendinosus, dessen Maximum allerdings dem distalen Ansatz näher liegt. In den verhältnismässig niedrigen Werten des Biceps femoris macht sich ein leichter Anstieg, dem oberen Drittel des Muskels entsprechend, geltend. Da der durch-

schnittliche Wert der faradokutanen Empfindlichkeit an der Facies lateralis des Femur 122,93 mm R.-A. beträgt, so kann den höchsten Schwellen für den Vastus lateralis (50—70 mm) keine volle Gültigkeit mehr zukommen.

Tabelle XXI.

Reizschwellen der faradomuskulären Sensibilität an der Muskulatur des Oberschenkels.

	Vastus lateralis			Rectus femoris	Vastus medialis		Adductores		Semi-tendinosus	Biceps
1	—	—	90	80	110	—	—	—	—	—
2	—	—	90	85	110	—	—	—	—	—
3	—	—	100	120	105	—	—	—	—	—
4	—	50	90	110	105	—	—	—	90	—
5	—	60	100	130	105	90	—	—	90	—
6	—	80	105	115	115	95	70	—	—	70
7	—	100	100	110	115	110	85	90	120	—
8	80	100	100	100	115	110	90	125	100	70
9	80	110	100	110	120	110	100	125	110	100
10	70	110	85	120	130	95	105	120	120	95
11	80	110	80	100	120	100	120	120	130	80
12	70	110	—	89	110	105	110	131	115	70
13	85	100	75	90	100	100	110	110	120	70
14	85	90	85	115	95	100	105	110	120	80
15	80	90	80	90	100	95	105	100	105	70
16	80	80	100	100	90	90	90	110	90	70
17	80	75	105	95	—	80	90	110	85	75
18	80	75	107	105	100	90	85	120	80	70
19	85	70	100	95	90	90	80	115	80	70
20	90	70	85	95	100	100	90	110	90	70
21	70	80	93	100	105	100	85	100	70	—
22	70	75	110	95	—	90	—	115	80	—
23	70	80	114	95	120	120	100	90	80	—
24	70	70	125	90	—	131	100	105	90	—
25	70	70	120	100	100	130	80	90	70	—
26	—	80	95	85	90	110	80	90	—	—
27	—	70	90	125	100	100	70	—	—	—
28	—	70	100	105	105	100	70	—	—	—
29	—	70	105	105	100	120	70	—	—	—
30	—	—	95	90	100	105	70	—	—	—
31	—	—	90	—	110	90	—	—	—	—
32	—	—	—	70	115	90	—	—	—	—

22—25. Unterschenkel.

Die Bestimmung der Reizschwelle an der dorsalen und lateralen Seite erfolgte für den Tibialis anticus auf drei, je 1 cm voneinander abstehenden Linien, für den Extensor digitorum longus und den Peronaeus auf je einer Linie. Beim Tibialis anticus finden wir ausser einer Abnahme der Reizempfindlichkeit gegen den lateralen Muskelrand zwei Maxima ausgeprägt, deren

eines dem proximalen Drittel, deren anderes der Muskelmitte entspricht. Auch die beiden anderen Muskeln lassen eine höhere Empfindlichkeit des proximalen Drittels erkennen (vergl. Tabelle XXII und Tafel I Fig. 3).

Tabelle XXII.

Reizschwellen der faradomuskulären Sensibilität an der Muskulatur des Unterschenkels.

	Tibialis anticus			Extensor digitorum longus	Pero-naei	Gastrocnemius							
1	105	100	70	90	—	—	—	—	100	103	—	—	—
2	110	100	80	95	80	72	80	—	100	112	—	102	—
3	115	105	75	90	100	102	95	115	95	115	—	120	—
4	105	90	—	95	95	115	100	105	100	95	—	106	90
5	110	80	70	85	95	110	102	106	95	100	100	104	80
6	100	80	—	85	100	105	100	100	90	100	105	90	90
7	90	90	—	75	95	102	102	100	—	102	105	105	88
8	95	75	70	80	98	—	—	—	95	—	97	97	90
9	90	70	—	—	90	—	—	—	—	—	85	90	90
10	85	70	—	—	85	—	—	—	—	—	—	—	—
11	95	—	70	—	85	—	—	—	—	—	—	—	—
12	100	—	—	—	80	—	—	—	—	—	—	—	—
13	85	—	—	—	70	—	—	—	—	—	—	—	—
14	80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
15	75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Wie bereits angedeutet, musste bei der Untersuchung der Wadenmuskulatur wegen der stellenweise sehr beträchtlichen Differenzen zwischen der faradokutanen und faradomuskulären Empfindlichkeit von dem gewöhnlichen Verfahren abgewichen und die Bestimmung der Schwellenwerte auf Punkte beschränkt werden, an denen die störenden Hautempfindungen sich weniger geltendmachen. Trotzdem überschritt auch hier die seitliche Entfernung zwischen zwei Reizpunkten nur an wenigen Stellen den Wert von 1 cm. Bei der Zusammenstellung der ermittelten Reizschwellen in der Tabelle XXII wurden die Werte für jene Punkte, welche ungefähr in der gleichen Horizontalen bzw. Vertikalen lagen, in Reihen gebracht; es entsprechen somit in diesem Falle die einzelnen Stäbe nicht wie bisher einzelnen Linien, sondern schmalen Streifen. Die Tabelle lässt im wesentlichen ein Maximum der Reizempfindlichkeit im oberen Drittel des Wadenmuskels erkennen. Der höchste Durchschnittswert (109 mm R.-A.) wird in der dritten Horizontalreihe erreicht. Proximal findet ein rasches Absinken statt, indem schon die vorhergehende Reihe

nur mehr ein Mittel von 93 mm zeigt. Distal hingegen sinkt die Reizempfindlichkeit mehr allmählich ab.

Im Anschlusse an die Besprechung der Befunde für die einzelnen Muskeln möchte ich einen Vergleich der ermittelten Reizschwellen mit den Angaben Duchennes über die differente Reizempfindlichkeit einiger Muskeln anstellen. Es heisst bei Duchenne¹⁾: „Am Halse ist die Empfindlichkeit des Platysma ebenso erregbar wie jene der oberen Hälfte des Sternocleidomastoideus und des äusseren Randes der oberen Hälfte des Trapezius. Die übrigen Muskeln des Halses sind weit weniger empfindlich als die vorerwähnten.

Die langen Rückenmuskeln und der Sacrolumbalis sind sehr wenig empfindlich.

Die Glutealmuskeln und der Spanner der Aponeurose sind für die elektrische Erregbarkeit im Vergleiche zu den Muskeln der Aussen- und Hinterseite des Schenkels sehr empfindlich. Jene der Innenseite des Schenkels sind empfindlicher als die der Aussenseite.

Die Muskeln an der hinteren Seite des Unterschenkels sind sehr wenig empfindlich im Vergleiche zu denen der vorderen und äusseren Seite.“

Von der ersterwähnten Muskelgruppe konnte das Platysma der hohen Empfindlichkeit der Haut wegen nicht genauer von mir untersucht werden. Für den Sternocleidomastoideus fand ich, wie ein Vergleich der Tabellen XIV und XVI lehrt, wohl einzelne höhere Schwellenwerte als für den äusseren Rand des Trapezius, im allgemeinen zeigt sich aber doch eine verhältnismässig weitgehende Übereinstimmung der für beide Muskeln geltenden Zahlenreihen. Die stellenweise sehr hohe Reizempfindlichkeit des Pectoralis major ist in der Tabelle XVII ausgesprochen. Schwieriger fällt ein Vergleich des Pectoralis mit dem Deltoideus und den Muskeln des Oberarmes. Abgesehen von der Streckseite des Oberarmes, an der durchaus niedrigere Schwellenwerte als am Pectoralis gefunden wurden, zeigen die übrigen drei Muskeln gleich hohe Maxima; allerdings sind die Stellen höherer Reizempfindlichkeit beim Deltoideus und beim Biceps auf einen kleineren Muskelabschnitt beschränkt, so dass das Mittel aus den gefundenen Werten für den Pectoralis jedenfalls höher zu veranschlagen ist.

1) De l'électrisation localisée p. 79.

E. Pflüger, Archiv für Physiologie. Bd. 105.

In Übereinstimmung mit den Angaben Duchennes ergab die Untersuchung der Muskeln an der Beugeseite des Unterarmes höhere Schwellenwerte als an der Streckseite (vgl. Textfig. 3, 4).

Auch für die Rückenmuskeln ergeben die hohen Reizschwellen, welche in der Nähe der Dornfortsätze gefunden wurden, eine Übereinstimmung beider Untersuchungen.

In der Glutealgegend fand ich durch eine allerdings weniger systematische Prüfung einen Mittelwert von 110 mm R.-A., welcher die Durchschnittszahl für die Reizempfindlichkeit des Vastus lateralis, zumal in dessen äusseren Partien, sowie des Biceps femoris weitaus übertrifft. Ebenso ergab auch meine Untersuchung weit niedrigere Reizschwellen an der Innen- als an der Aussenseite des Oberschenkels.

Was endlich die Muskeln des Unterschenkels anlangt, so lassen die in der Tabelle XXII verzeichneten Werte eine Übereinstimmung mit den Angaben Duchennes vermissen, da der Gastrocnemius keineswegs niedrigere Maxima als die Muskeln der Vorder- und Aussenseite aufweist. Vielleicht handelt es sich hier um einen jener Fälle, in denen, wie schon Remak bemerkte und auch Ziemssen¹⁾ besonders hervorhebt, Duchenne die Sensibilität der Haut mit in den Bereich der elektromuskulären Sensibilität gezogen hat. Diese Vermutung liegt wegen der bedeutenden Differenz zwischen der faradokutanen Empfindlichkeit an der Streck- und Beugeseite des Unterschenkels nahe.

Wenn wir nun die Befunde für die einzelnen Muskeln überblicken, so ergibt sich die Tatsache, dass die Reizempfindlichkeit auf der ganzen Längenausdehnung des Muskels keineswegs eine gleichmässige ist, sondern dass einzelne Höhenabschnitte sich durch eine relativ höhere elektromuskuläre Sensibilität auszeichnen. Diese bereits im obigen öfters erwähnten Maxima erscheinen in einzelnen Muskeln (Biceps brachii, Semitendinosus, Tibialis anticus u. a.) scharf ausgeprägt, in anderen (Vastus med., lat., Rectus femoris u. a.) bloss angedeutet. Was die Lage dieser Maxima im Muskel betrifft, so findet man im Biceps brachii ein solches ungefähr in der Muskelmitte. Die meisten Muskeln des Unterarmes lassen ein Maximum der Reizempfindlichkeit im proximalen Drittel erkennen. Im Tibialis anticus findet man je eines im proximalen Drittel und an

1) v. Ziemssen, Die Elektrizität in der Medizin Bd. 1.

der Grenze des mittleren und distalen Drittels. Der Peroneus zeigt ein Maximum im proximalen Drittel und ebenso der Triceps surae. Eine gleiche Lage hatte auch die Stelle grösster Reizempfindlichkeit des Gracilis. Der Semitendinosus weist ein Maximum an der Grenze des oberen und mittleren Drittels auf, der Rectus femoris eines im oberen Drittel, ein zweites im unteren, der Vastus medialis und lateralis ein Maximum im oberen, ein zweites im unteren Drittel der Muskellänge. Es leuchtet sofort ein, dass diese Maxima der Reizempfindlichkeit jenen Höhenabschnitten entsprechen, an welchen wir nach dem Gesetze Schwalbes¹⁾ die Nerveneintrittsstellen zu suchen haben. Wir können also wohl annehmen, dass die elektromuskuläre Sensibilität im Zusammenhange mit der Nervenaufzweigung im Muskel steht, derart, dass an jenen Stellen des Muskels, an welchen die Nervenstämmе gröbere Verästelungen eingehen, die höchsten Schwellenwerte zu finden sind. Nach meinen gleichzeitig in Druck erscheinenden Untersuchungen²⁾ über die Verteilung der Muskelspindeln hat sich in Übereinstimmung mit den Angaben von Kölliker³⁾ und Kerschner⁴⁾ ein analoger Zusammenhang zwischen der Verteilung dieser Gebilde und der Verästelung der Muskelnerven ergeben, da die grösste relative Spindelmenge in den der Nerveneintrittsstelle entsprechenden Höhenabschnitten der Muskeln gefunden wurde. Das genannte Ergebnis meiner Untersuchung der elektromuskulären Sensibilität stimmt mit der Angabe Schreuders⁵⁾ überein, „dass die elektromuskuläre Sensibilität in der Muskelsubstanz, wo die Enden der motorischen Nerven in dieselbe eindringen, bei geringerer Stromintensität hervorgerufen wird als an Stellen, wo dieselben fehlen“. Allerdings scheint dieses Resultat Schreuders in einem gewissen Gegensatze zu seinen früher erwähnten⁶⁾ Schlussfolgerungen zu stehen.

Wie die Längenausdehnung des Muskels so zeigte auch seine Breitenausdehnung in vielen Fällen recht deutlich ausgesprochene

1) G. Schwalbe, Über das Gesetz des Muskelnerveneintritts. Arch. f. Anat. u. Physiol., anat. Abt. 1879 S. 167—174.

2) Dieselben sind im histolog.-embryolog. Institute der Universität Innsbruck ausgeführt und werden im Arch. f. Anat. u. Physiol., anat. Abt. 1904 veröffentlicht.

3) Handbuch der Gewebelehre Abt. I, 6. Aufl. 1889.

4) l. c. S. 65.

5) l. c. S. 29.

6) Vgl. S. 9.

Unterschiede. Beim Pectoralis major fanden wir an den dem Margo inferior benachbarten Muskelpartien niedrigere Reizschwellen als in der Nähe des Margo superior. Beim Deltoideus ergab der Margo medialis höhere Maxima als die übrigen Muskelabschnitte, beim Biceps brachii die mediale Partie höhere als die laterale. Der Triceps zeigte in seinem mittleren Abschnitte eine grössere Empfindlichkeit als an den seitlichen; der Brachioradialis eine Abnahme seiner Empfindlichkeit vom Margo ulnaris gegen den Margo radialis. Ähnliche Unterschiede ergab auch die Untersuchung der Muskulatur der unteren Extremitäten. Es erwies sich der Vastus lateralis in seinem medialen Abschnitte empfindlicher als in dem lateralen; der Tibialis anticus zeigt eine Erhöhung der Reizschwellen vom Margo medialis zum Margo lateralis; beim Wadenmuskel erschienen die mittleren Partien empfindlicher als die beiden Ränder. Wir dürfen somit auch für die Querdimension eine ungleichmässige Verteilung der Organe, welche die elektromuskulären Empfindungen vermitteln, annehmen. Auch hier liessen sich Analogien mit der Verteilung der Muskelspindeln in der Breitenausdehnung aufweisen.

Es könnte vielleicht noch wünschenswert erscheinen, nach dem Vorgange Duchennes die Reizempfindlichkeit der verschiedenen Muskeln untereinander zu vergleichen. Ein solcher Vergleich könnte vorderhand nur als Zusammenstellung der oft erwähnten Maxima oder der mittleren Reizschwellen gedacht werden. Da sich uns aber ausser Unterschieden in der Längen- auch solche in der Breitenausdehnung ergaben und diese zum Teile unserer Prüfung unzugänglich ist, erscheint ein Vergleich der bisher ermittelten Maxima der Reizempfindlichkeit wohl unstatthaft; damit entfällt aber auch die Möglichkeit, Durchschnittswerte der Reizschwellen aufzustellen und zu vergleichen.

8. Zusammenfassung.

Die wesentlichsten Ergebnisse der vorstehenden Untersuchung seien zum Schlusse in Kürze zusammengefasst:

1. Die elektromuskulären Empfindungen stellen einen Empfindungskomplex vor, welcher sich qualitativ von Bewegungs- und Kontraktionsempfindungen unterscheidet und zu dessen Zustandekommen es des Zwischengliedes der Kontraktion gröberer Muskelbündel nicht bedarf.

2. Die faradomuskuläre Empfindung tritt entweder zugleich mit den ersten unter der Haut erkennbaren Muskelzuckungen oder auch schon bei schwächerer Reizung auf, je nachdem der Reiz an motorisch leichter oder schwerer erregbaren Muskelstellen zur Wirkung kommt. Die galvanomuskuläre Empfindung wird durch eine geringere Stromintensität erregt, als zur Auslösung von eben unter der Haut erkennbaren Muskelzuckungen erforderlich ist.

3. Die elektromuskulären Empfindungen sind auch durch Reizung der Nervenstämmen auszulösen.

4. Bei wiederholter Reizung der gleichen Muskelstelle in kleinen zeitlichen Abständen ist eine periodische Erniedrigung und Erhöhung der Reizschwelle festzustellen.

5. Durch wiederholte Reizung der nicht ermüdeten Muskulatur findet im Verlaufe von ungefähr einer halben Stunde eine allgemeine Steigerung der faradomuskulären Empfindlichkeit statt. (Tabelle I.)

6. Eine kontinuierliche elektrische Reizung führt zur Erhöhung der Reizschwelle.

7. Bei kontinuierlicher faradischer Reizung mit geringer Stromstärke wird ein periodisches Verschwinden und Wiederauftauchen der Empfindung beobachtet; die Länge dieser Schwankungen nimmt mit steigender Intensität der Reizungen zu.

8. Die faradische Sensibilität erweist sich am höchsten in jenen Abschnitten, welche den Eintrittsstellen des Nerven in den Muskel entsprechen. Symmetrische Muskelstellen sind gleich empfindlich. Besondere Angaben über die Empfindlichkeit der einzelnen untersuchten Muskeln sind aus den Tabellen XV und XVII—XXV zu entnehmen. Ein Vergleich der faradomuskulären Empfindlichkeit einzelner Muskeln ist vorderhand unzulässig.

9. Die mit dem galvanischen Strome untersuchten Muskeln (Tabelle XXIII) weisen Differenzen auf, welche den Unterschieden der faradischen Empfindlichkeit entsprechen.

10. Die Untersuchung der faradokutanen Empfindlichkeit, deren einzelne Ergebnisse in den Tabellen X—XIII ersichtlich sind, ergaben am Thorax eine Zunahme der Sensibilität vom Sternum und den Dornfortsätzen in lateraler Richtung; die Innen- und Beugeseiten der Extremitäten erwiesen sich empfindlicher als die Aussen- bzw. Streckseiten.

Tafelerklärung.

Diagramme zur Veranschaulichung der Topographie der faradomuskulären Sensibilität einzelner Muskeln. Die dunkler schraffierten Kreise entsprechen Stellen niedrigerer, die lichter schraffierten solchen höherer Reizschwelle. Die genaueren Zahlenwerte sind aus den zugehörigen Tabellen ersichtlich.

Fig. 1 entspricht der Projektion des *M. biceps brachii* auf die Haut. Der mittlere Muskelabschnitt zeigt ein breites Maximum der Reizempfindlichkeit, gegen die beiden Enden findet allmählicher Abfall statt. Der Margo medialis (*m*) erscheint empfindlicher als die übrigen Muskelpartien.

Fig. 2. *AC* entspricht der Höhe des oberen, *A'C'* der des unteren fleischigen Endes vom *M. brachioradialis*, *AA'* seinem Margo ulnaris. *BB'* ist etwas einwärts vom Margo radialis des Muskels gezogen. *CC'* entspricht der Mittellinie des *Extensor carpi radialis*. Die niedrigsten Schwellenwerte des *Brachioradialis* liegen an der Grenze seines mittleren und oberen Drittels. Es findet eine Abnahme der Reizempfindlichkeit vom Margo ulnaris gegen den Margo lateralis statt. Der *M. extensor carpi radialis* zeigt durchschnittlich höhere Schwellen als der *Brachioradialis*; seine Empfindlichkeit erreicht ihr Maximum im oberen Muskeldrittel.

Fig. 3. *AD* Höhe des proximalen fleischigen Endes des *M. tibialis anticus*, *A'D'* Höhe der Fibulamitte, *AA'* Crista anterior tibiae. *BB'* Margo lateralis des *Tibialis anticus*, *CC'* und *DD'* Mittellinien des *Extensor digitorum longus* beziehungsweise *Peroneus*. *Tibialis anticus*: die Empfindlichkeit nimmt vom Margo medialis gegen den Margo lateralis ab; auf der Muskellänge ist ein Maximum im oberen Drittel, ein zweites in der Muskelmitte gelegen. Die im Verhältnis zum *Tibialis anticus* höheren Schwellen des *Extensor digitorum longus* und *Peroneus* lassen je ein Maximum der Empfindlichkeit für das obere Drittel der Muskeln erkennen.
