

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg i. E.)

Der sogenannte psycho-galvanische Reflex und seine physikalisch-chemische Deutung.

Von

Martin Gildemeister.

(Mit 8 Textfiguren.)

Über dieses Thema habe ich vor einiger Zeit in der Münchner Medizinischen Wochenschrift ¹⁾ eine kurze Mitteilung gemacht. Unter dessen ist es gelungen, das Untersuchungsverfahren so zu vervollkommen, dass ich jetzt photographisch registrierte Kurven als Beweismittel vorlegen kann. Ihre Veröffentlichung in einer physiologischen Zeitschrift erscheint angebracht, weil das besagte Phänomen eng mit einigen anderen, den Physiologen schon lange bekannten Erscheinungen zusammenhängt.

Da der ps. g. R. bisher fast ausschliesslich von klinischer Seite studiert ist, sei es mir gestattet, zunächst einen kurzen Überblick über die Tatsachen, die Geschichte ihrer Entdeckung und die bisher veröffentlichten Erklärungsversuche zu geben.

Im Jahre 1890 teilte Tarchanoff ²⁾ folgende Beobachtungen mit: Wenn man zwei Hautstellen eines Menschen mittels unpolarisierbarer Elektroden zu einem sehr empfindlichen Galvanometer ableitet, den etwa vorhandenen Ruhestrom kompensiert und dann die Versuchsperson in irgendeiner Weise reizt (Berührung, Licht, Schall) oder sie geistig beschäftigt oder einen Affekt bei ihr hervorruft, so

1) M. Gildemeister, Über die physikalisch-chemischen und physiologischen Vorgänge im menschlichen Körper, auf denen der psycho-galvanische Reflex beruht. Münch. med. Wochenschr. Nr. 43. 1913.

2) J. Tarchanoff, Über die galvanischen Erscheinungen in der Haut des Menschen bei Reizungen der Sinnesorgane und bei verschiedenen Formen der psychischen Tätigkeit. Pflüger's Arch. Bd. 46 S. 46. 1890.

Pflüger's Archiv für Physiologie. Bd. 162.

zeigt das Galvanometer Ausschläge, besonders stark dann, wenn die eine der beiden Ableitungsstellen in der Handfläche, der Fusssohle oder der Achselhöhle liegt. Der Strom ist bestenfalls von der Grössenordnung des Ruhestroms eines Froschischiadikus, hat eine Latenzzeit von mehreren Sekunden und eine ziemlich lange Dauer. Es ist immer so gerichtet, dass die an Drüsen reichere Hautstelle negativ wird.

Tarchanoff folgerte aus seinen Beobachtungen, dass es sich hier um Sekretionsströme der Hautdrüsen handle. Aus dem bekannten du Bois'schen Willkürversuch hatte Hermann geschlossen, dass bei willkürlicher Bewegung die Hautdrüsen des betreffenden Gliedes mitinnerviert werden; aus den Tarchanoff'schen Versuchen geht hervor, dass eine Innervation der Drüsen gewisser Hautstellen auch mit anderweitiger Tätigkeit des Zentralnervensystems vergesellschaftet ist, selbst wenn die den Ableitungsstellen nahen Muskeln in Ruhe bleiben.

Es ist verständlich, dass diese Beziehung zwischen Zentralnervensystem und Hautdrüsen von Neurologen nutzbar gemacht wurde. Bald wurde ein zweiter hierher gehöriger Tatsachenkomplex aufgefunden.

Wird nämlich noch eine Stromquelle zwischen Körper und Galvanometer geschaltet, so entsteht natürlich ein Dauerstrom. Nun haben 1904 Müller und Veraguth¹⁾ gefunden, dass dieser Strom unter den oben angeführten Umständen (bei Reizung eines Sinnesorgans und bei Affekten) einen positiven Zuwachs erfährt, der sich in bezug auf Latenzzeit und Dauer genau so verhält wie die Hautsekretionsströme, aber beträchtlich stärker ist, so dass schon ein Galvanometer mässiger Empfindlichkeit ihn erkennen lässt. Hierfür hat Veraguth den Ausdruck „psycho-galvanischer Reflex“ geschaffen, der, weil anscheinend überall eingebürgert, auch hier gebraucht werden soll. Wenn, wie es von klinischer Seite oft geschehen ist, zur Ableitung die Tarchanoff'sche Anordnung (keine äussere Strom-

1) O. Veraguth, Das psycho-galvanische Reflexphänomen. Karger, Berlin 1909. Hierin auch die Literatur bis 1909. Weitere Literaturangaben in den Arbeiten: O. Albrecht, Experimentelle Untersuchungen über die Grundlagen der sogenannten galvanischen Hautelektrizität. Monatsschr. f. Psych. u. Neur. Bd. 27 S. 365, 439, 552. 1910, und A. Gregor und S. Loewe, Zur Kenntnis der physikalischen Bedingungen des psycho-galvanischen Reflexphänomens. Zeitschr. f. d. ges. Neur. u. Psych. Bd. 12 S. 411. 1912.

quelle), aber mit polarisierbaren und ungleichartigen Elektroden, benutzt wird, so wird dadurch natürlich auch eine freilich schlecht kontrollierbare Stromquelle eingeführt; wir haben es dann eigentlich auch mit der Müller-Veraguth'schen Versuchsanordnung zu tun.

Während das Tarchanoff'sche Phänomen als aufgeklärt gelten kann, ist das mit dem Müller-Veraguth'schen anders, weil die Verhältnisse viel weniger durchsichtig sind. Das Experimentum crucis, das zwischen den drei verschiedenen möglichen Erklärungen entscheidet, wird in der umfangreichen Literatur darüber vermisst. Es war mein Bestreben, dieses zu liefern. Dass es sich hier ausschliesslich oder vorwiegend um Drüsensekretionsströme handelt, ist unwahrscheinlich, wie aus dem Weiteren hervorgehen wird.

Wenn ein Strom, der einen Leiter durchsetzt, zunimmt, ohne dass die Stromquelle sich verändert, so kann das zwei Gründe haben: I. der Widerstand nimmt ab; II. die E.M.K. nimmt zu. Im Fall II. gibt es wieder zwei Möglichkeiten: a) es tritt eine gleichgerichtete E.M.K. auf; b) es verkleinert sich eine vorher schon dagewesene elektromotorische Gegenkraft. Andere als diese drei Ursachen können, soviel ich sehe, nicht vorliegen.

Es ist hier nun zunächst zwischen I. und II. zu unterscheiden. Man wird natürlich die Anordnung so zu treffen haben, dass der Kontakt zwischen Haut und Elektroden immer gleich innig bleibt; andernfalls treten selbstverständlich Widerstandsschwankungen auf, wenn die Versuchsperson auf den Reiz unwillkürliche Bewegungen macht¹⁾. Bei passender Versuchsanordnung (zum Beispiel Eintauchen der Hände in weite Gefässe, oder Andrücken der Elektroden an die gut befeuchtete Haut) überzeugt man sich aber leicht, dass selbst recht beträchtliche Bewegungen, wie sie bei etwas geübten Versuchspersonen ganz ausgeschlossen sind, ohne wesentliche Einwirkung auf den Strom bleiben. Falls der ps.g.R. also in einer Abnahme des Widerstandes besteht, muss diese Veränderung an einer andern Stelle als an der Grenze von Elektroden und Körper stattfinden.

Die Fragestellung: Widerstand oder E.M.K.? ist nicht neu. Schon Veraguth (l. c. S. 37 und 153 ff.) erörtert die Frage und nach ihm fast alle Autoren, die sich mit dem Phänomen beschäftigt haben. Im allgemeinen sind sie der Meinung, dass beide Faktoren

1) R. Sommer, Zur Messung elektromotorischer Vorgänge an den Fingern. Beitr. z. psych. Klinik H. 1. 1902.

zusammenwirken¹⁾. Entscheidende Versuche fehlen bis jetzt aus technischen Gründen.

Zu I. Dass Widerstandsänderungen beim ps.g.R. auftreten, ist von vornherein sehr wahrscheinlich; man kann sich sehr gut vorstellen, dass die Ausführungsgänge der Hautdrüsen sich erweitern, und dass die Drüsenmembranen selbst und die Haut in der Umgebung ihrer Mündungen von Sekret durchtränkt werden.

Zu IIa. Ferner können auch selbständige E.M.K.K. entstehen (Tarchanoff's Versuche); es ist nur auffällig, dass sie immer dem Dauerstrom gleichgerichtet wären.

Zu IIb. Schon Peltier hat gefunden, dass die tierischen Gewebe polarisierbar und deshalb der Sitz einer elektromotorischen Gegenkraft sind; neu wäre nur, dass diese Polarisierung beim ps.g.R. abnimmt. Nun hat Aebly (l. c.) gezeigt, dass der Depolarisationsstrom, den man erhält, wenn man den Menschen rasch von der Stromquelle trennt und mit einem Galvanometer verbindet, zur Zeit des ps.g.R. schwächer ist als vorher und nachher. Aebly schliesst daraus auf eine Verminderung der Polarisierung beim ps.g.R. Der Schluss ist nicht zwingend, weil der nach aussen ableitbare Strom

1) Experimentelle Beiträge zu dieser Frage: O. Albrecht (l. c.). Es wird hier der Körper abwechselnd mit zwei Stromkreisen verschiedenen Widerstands verbunden und versucht, aus den Ausschlägen zweier in beide Kreise eingeschalteter Galvanometer Widerstand und E.M.K. des Körpers zu berechnen. Dabei wird vorausgesetzt, dass die E.M.K. in beiden Fällen dieselbe sei. Bei polarisierbaren Systemen hängt aber die E.M.K. von der Stromstärke ab, deshalb ist der Schluss: sowohl Widerstand als E.M.K. ändern sich beim ps.g.R., unbewiesen. — J. Aebly (Zür Analyse der physikalischen Bedingungen des psycho-galvanischen Reflexes. Med. Dissertation. Zürich 1910, unter Zangger's Leitung) stellt zuerst fest, dass der Wechselstromwiderstand des Körpers durch gleichzeitige Durchströmung mit Gleichstrom nicht verändert wird, schliesst aus dem scheinbaren allmählichen Anwachsen des Gleichstromwiderstandes auf zunehmende Polarisierung des Körpers, stellt als sehr wahrscheinlich folgende Erklärung des ps.g.R. hin: Der durch eine exosomatische Stromquelle erzeugte Polarisationszustand des Menschen ist unter dem Einfluss von Affekten veränderlich. Durch Messungen hat Aebly diesen nach den Ergebnissen der vorliegenden Arbeit richtigen Satz nicht bewiesen und konnte es auch nicht, weil Widerstandsmessungen des Körpers mit Induktorium und Telephon nicht ausführbar sind, und der beweisende Versuch auch anders gedeutet werden kann (s. nächste Seite oben). — A. Gregor und S. Loewe (l. c.). Auch hier wird auf die Polarisierung des Körpers keine Rücksicht genommen. Die Schlüsse werden deshalb von einem der beiden Autoren — dieselbe Zeitschr. Bd 16, S. 5 — widerrufen.

auch schwächer werden muss, wenn der innere Widerstand abnimmt, denn dann entsteht ein besserer Nebenschluss zum Galvanometer. Die Frage ist also noch offen.

Spielen nun beim ps. g. R. alle drei Faktoren eine Rolle, oder überwiegt einer so sehr, dass die beiden andern dagegen zu vernachlässigen sind?

Die erste Frage, ob sich der Widerstand verändert oder nicht, ist nur durch eine Widerstandsmessung während des Reflexes zu entscheiden. Da der Körper aus Elektrolyten zusammengesetzt ist, hat die Messung mit Wechselstrom stattzufinden. Die Aufgabe bietet mehrere Schwierigkeiten: Erstens muss die Messung vorgenommen werden, während der Körper vom Gleichstrom durchströmt wird, ohne dass sich die beiden Stromkreise stören. Dass ist durch passende Schaltung auszuführen. Zweitens ist, da nur die Wheatstone'sche Brückenmethode in Frage kommt, die Einstellung eines scharfen Minimums nötig. Wenn man aber versucht, nach der Kohlrausch'schen Methode mit Induktorium und Telephon den menschlichen Körper zu messen und ein solches Minimum aufzusuchen, so erweist sich diese Aufgabe als unlösbar, da das Telephon bei keiner Schieberstellung schweigt und der Bereich des schwächsten Schalls sehr breit und verwaschen ist. Eventuelle kleine Änderungen des Widerstandes müssen so unbemerkt bleiben. — Der Grund dieser schon lange bekannten Erscheinung liegt in der starken Polarisierbarkeit der Haut. Man kann das Minimum absolut scharf machen und den Widerstand richtig bestimmen, wenn man anstatt der Induktionsströme reine Sinusströme von grosser Frequenz anwendet und den Minimum-verschlechternden Einfluss der Polarisierung durch eine Spule von passender, jedesmal auszuprobierender Selbstinduktion kompensiert ¹⁾.

Drittens ist die Telephonmethode eine subjektive und als solche nicht einwandfrei und auch nicht empfindlich genug, wenn es sich um rasche Änderungen handelt.

Allen Anforderungen genügt nach meiner Meinung die Methode, die bei den folgenden Versuchen zur Anwendung kam.

1) M. Gildemeister, Über Polarisation, Kapazität und Leitungswiderstand tierischer Gewebe. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 28 Nr. 12. 1914. (Auf der zweiten Seite dieser Mitteilung ist ein sinnstörender Druckfehler zu verbessern: Zeile 14 lies $w_1 - w = \Delta w$ anstatt $w_1 = w \cdot \Delta w$.) Über dieses Thema erscheint demnächst ein ausführlicher Artikel in dieser Zeitschrift.

Methodik.

Um den Widerstand des stromdurchflossenen Körpers mit Wechselströmen zu messen, wurde eine Schaltung angewendet, die schematisch in Fig. 1 dargestellt ist. Es ist eine Wheatstone'sche Brücke, in deren einem Zweig ein Rheostat Rh eingeschaltet ist, während der andere ausser dem Körper K mit den angelegten Elektroden noch ein Element E , ein Galvanometer G_2 mit dem Shunt Sh und einige Hilfsvorrichtungen XXX enthält, von denen sogleich die Rede sein wird. A ist die Wechselstromquelle, T ein Telephon, C ein Sperrkondensator von 2 Mf.¹⁾ — Der vom Element E gelieferte Gleichstrom durchsetzt also den Körper K , das Galvanometer $Sh G$, die Hilfsvorrichtungen XXX (s. unten), teilt sich dann

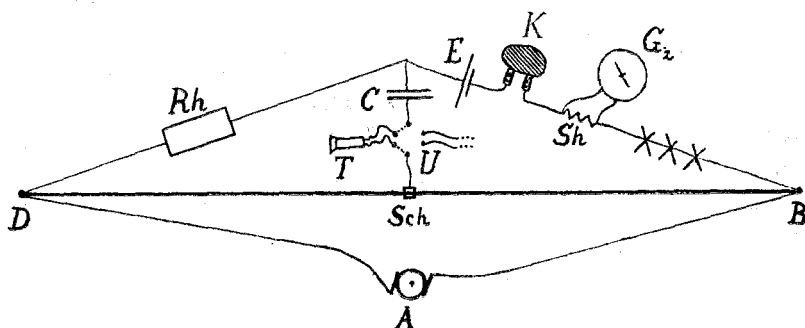


Fig. 1. Schaltungsschema zur Bestimmung des Wechselstromwiderstandes des Körpers während des ps. g. R.: A Wechselstromquelle; DB Messdraht; Sch Schieber desselben; Rh Rheostat; E Element (das entfernt und durch einen Draht ersetzt wird, wenn der Widerstand des stromlosen Körpers gemessen werden soll); K Körper mit Elektroden; G_2 Galvanometer mit Nebenschluss Sh ; XXX Hilfsvorrichtungen, die auf Fig. 3 nochmals dargestellt sind; C Kondensator von 2 Mf.; T Telephon; U Umschalter zur Einschaltung der auf Fig. 2 dargestellten Detektoreinrichtung.

in zwei Zweige ($B Sch D$ und $B A D$) und geht schliesslich durch den Rheostaten Rh . Der Weg $CTSch$ ist durch den Kondensator C verlegt, der aber frequenten Wechselströmen kein wesentliches Hindernis bietet. Der Gleichstrom fliesst also in einer am Galvanometer G_2 ablesbaren Stärke durch den Körper.

Andererseits kann man bei dieser Schaltung mit Wechselstrom und Telephon den Widerstand des Komplexes $E K Sh G_2 XXX$ messen,

1) Da eine solche Anordnung am empfindlichsten ist, wenn alle vier Zweige etwa gleichen Widerstand haben, diente als „Messdraht“ eine mit Zinksulfat gefüllte Rinne.

sowohl im durchströmten wie im stromlosen Zustand; im ersten Falle bleibt das Element E eingeschaltet, im zweiten wird es (durch Umlegen einer Wippe ohne Kreuz) durch einen Draht ersetzt. Wird jetzt die Versuchsperson gereizt, so kann man an dem Galvanometer G_2 den ps.g.R. beobachten und gleichzeitig mit dem Telephon die Widerstandsmessung vornehmen.

Um jetzt die letztere ihres subjektiven Charakters zu entkleiden ist es nötig, die etwa auftretenden Widerstandsschwankungen objektiv aufzuzeichnen. Durch den Umschalter U (Fig. 1 und 2) wird statt des Telephons T der Detektor Det eingeschaltet¹⁾. Durch diesen werden die Wechselströme in Gleichstrom verwandelt, der das Galvanometer G_1 zur Ablenkung bringt. Hat man zuerst im Telephon ein scharfes Minimum eingestellt, so fließen ja im Brückenzeige keine Wechselströme; es wird also G_1 im Augenblick der Umschaltung in Ruhe

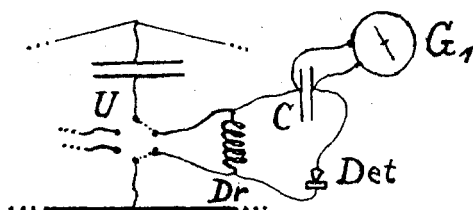


Fig. 2. Detektoreinrichtung: U Umschalter (s. Fig. 1); Dr Drosselspule von etwa 0,02 Henry; Det Detektor; C Kondensator von 2 Mf.; G_1 Galvanometer.

bleiben. Verändert sich beim Eintreten des ps.g.R. der Widerstand von K , so verschlechtert er das Minimum und veranlasst deshalb G_1 zu einer Bewegung, die ebenso wie der an G_2 sichtbare Reflex photographisch aufgezeichnet werden kann. Wie empfindlich diese Anordnung ist, geht aus den unten abgebildeten Kurven hervor.

Was nun die Hilfsvorrichtungen XXX anbetrifft, so bestehen sie aus der oben erwähnten variablen Spule²⁾ und zwei Eichappa-

1) Der Detektor bestand aus zwei Stücken Kupferkies und Rotzinkerz, die mit leichtem Druck aneinander gepresst waren (Perikon-Detektor). Die Schaltung ist aus Fig. 2 zu ersehen. Näheres in J. Zenneck, Lehrbuch der drahtlosen Telegraphie, 2. Aufl. S. 337.

2) Diese ist nötig, um das Minimum absolut scharf zu machen. Man kann entweder eine Doppelspule verwenden, deren beide hintereinander geschaltete Teile mehr oder weniger gegeneinander verschoben werden, oder, wenn es nicht auf eine genaue Kenntnis der kompensierenden Selbstinduktion ankommt, eine einzige Spule (die sekundäre eines Induktoriums) mit einem verschiebblichen feindrähtigen Eisenkern.

raten zur Ein- und Ausschaltung bekannter Widerstände und elektromotorischer Kräfte (s. Fig. 3). W ist ein Widerstand, der gewöhnlich eingeschaltet ist, aber durch den Kurzschlusschlüssel S_1 ausser Wirkung gesetzt werden kann. Dadurch wird der Widerstand des ganzen zu messenden Systems um einen bekannten Betrag herabgesetzt, wodurch sowohl G_2 (wegen Veränderung der Gleichstrombahn) als auch G_1 (wegen Verschlechterung des Wechselstromminimums) abgelenkt werden müssen. Man weiss dann also, welche Ausschläge bei beiden Galvanometern einer Veränderung des Systemwiderstandes um W Ohm entsprechen, was nachher bei der Beurteilung des ps.g.R. von Wichtigkeit ist. — Bei der dritten Vorrichtung (Fig. 3) kann

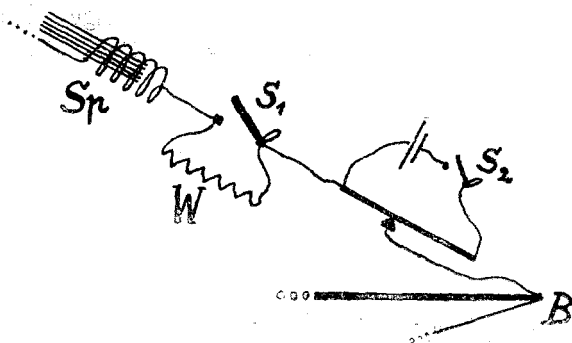


Fig. 3. Die in Fig. 1 durch XXX angedeuteten Hilfsapparate: Sp Spule mit verschiebbarem Eisenkern; W Widerstand (gewöhnlich 250 Ohm), der durch den Schlüssel S_1 kurz geschlossen werden kann; S_2 Schlüssel; E Element; ab Gleitdraht.

man durch Schliessen des Schlüssels S_2 eine bekannte E.M.K. einführen, ohne den Widerstand merklich zu ändern. Darauf wird, bei gut eingestelltem Minimum, nur das Galvanometer G_2 reagieren, wodurch es nun hinsichtlich der E.M.K. geeicht ist.

Die technisch schwierigste Aufgabe ist die Herstellung annähernd reiner Sinusströme von grosser Frequenz. Es gibt dazu eigentlich nur zwei Mittel: eine gute Wechselstrommaschine¹⁾ oder die Poulsen'sche Lampe (Bogenlampe in Wasserstoff brennend, positive Elektrode aus Kupfer, durch Wasser gekühlt, negative Elektrode aus Homogenkohle²⁾). Mir stand nur die letztere Vorrichtung zur

1) Zum Beispiel die Dolezalek'sche, hergestellt von Siemens & Halske in Siemensstadt-Berlin.

2) Vgl. Zenneck, l. c.

Verfügung; ich kann ohne Einschränkung sagen, dass man damit, was Bequemlichkeit und Konstanz anbetrifft, bei einiger Einarbeitung sehr zufrieden sein kann¹⁾. Die Schaltung ist aus der Figur in der S. 489 Anm. 1 angeführten Arbeit zu ersehen. Ich habe immer mit der Frequenz 5000—6000 gearbeitet; der Ton ist hoch genug, um die Polarisation der Haut bis auf einen kleinen Betrag herabzusetzen und den Detektor zum kräftigen Ansprechen zu bringen, andererseits doch noch so weit von der oberen Hörgrenze entfernt, dass auch noch telephonische Einstellung gut möglich ist.

Die Elektroden schliesslich²⁾ waren „unpolarisierbar“, Hg in 1% iger, gut mit HgCl gesättigter NaCl-Lösung mit einem Überschuss von HgCl. Unten waren sie mit einer Schweinsblase verschlossen (Fig. 4); sie wurden auf die gut gereinigte und mit Elektrodenflüssigkeit befeuchtete Haut aufgesetzt und durch schwere Stative gehalten.

Die Versuche wurden in einem stillen Dunkelzimmer vorgenommen. Der Faden einer Nernstlampe beleuchtete die beiden Galvanometerspiegel und wurde dann durch Linsen auf dem über eine Kymographiontrommel gespannten Bromsilberpapier abgebildet. Durch ein Metronom, dessen Pendel etwas verbreitert war und vor dem Nernstfaden hin und her schwang, wurde die photographierte Lichtlinie in einigen Versuchen zum Zwecke der Zeitmessung unterbrochen; die Unterbrechung fand alle zwei Sekunden statt.

Versuche.

Nachdem die Versuchsperson sich zwanglos so hingesezt hatte, dass sie von der Versuchsanordnung und den dort nötigen Einstellungen nichts sehen konnte, wurde eine Elektrode auf eine Hand-

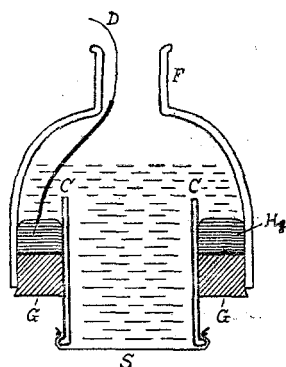


Fig. 4. Unpolarisierbare Elektroden: *F* Glasflasche ohne Boden; *C* beiderseits offener Glaszylinder; *G* ringförmiger Gummistopfen; *Hg* Quecksilber; *S* Schweinsblase; *D* isolierter Platindraht. Innere Füllung: 1% ige NaCl-Lösung + HgCl.

1) Die Technik — Konstruktion der auch zu akustischen Zwecken (s. Zentralbl. f. Physiol. Bd. 28, Nr. 12 „Sinnesphysiologische Mitteilungen“) gut brauchbaren Lampe, Bedingungen der Konstanz, Frequenzbestimmung usw. — wird in der Zeitschr. f. Sinnesphysiol. veröffentlicht werden.

2) Gemeinsam mit Dr. L e v a konstruiert.

fläche, die andere auf die Beugeseite des andern Vorderarms gesetzt. Dann wurde der Umschalter U nach links umgelegt, so dass also anstatt des Detektors das Telephon eingeschaltet war; das Element E (Fig. 1) wurde durch einen kurzen Draht ersetzt. Das Galvanometer G_1 , das nun ja nicht eingeschaltet war, blieb natürlich in Ruhe; auch Galvanometer G_2 bewegte sich nicht merklich, da wegen

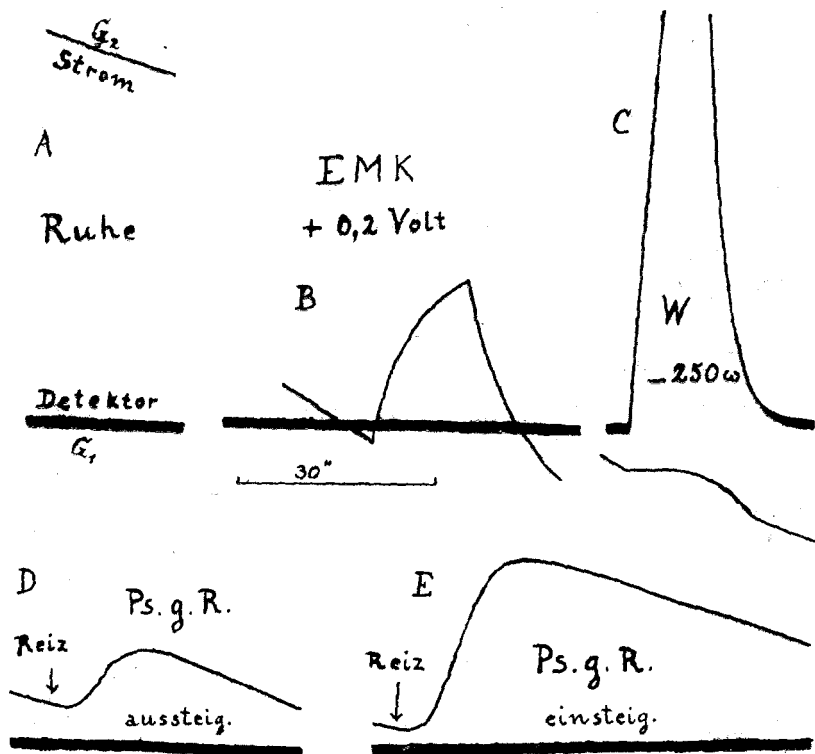


Fig. 5. Versuch am Menschen: A Ruhesurve; B und C Vorversuche: B Einschaltung einer E. M. K. von 0,2 Volt, C Ausschaltung eines Widerstandes von 250 Ohm. Im ersten Falle spricht nur G_2 , im zweiten fast nur G_1 an. D und E zweimaliger ps. g. R., zuerst in bezug auf die Handfläche aussteigend, dann, nach Vertauschung der Elektroden, umgekehrt. In beiden Fällen im Sinne des polarisierenden Stromes, ohne Ansprechen des Detektors! Auf $\frac{2}{3}$ verkleinert.

des Shunts seine Empfindlichkeit zu gering war, um durch etwa vorhandene Ungleichartigkeiten der beiden Hautstellen sichtlich beeinflusst zu werden. Nun wurde durch Stöpselung des Rheostaten Rh , Verschieben von Sch und Regulierung der Spule (oder ihres Eisenkerns) ein absolut scharfes Minimum eingestellt, so dass der Ton im Telephon vollständig verschwand. Damit war der Widerstand des Komplexes KSh XXX im stromlosen Zustand bestimmt; er betrug gewöhnlich

1500—3000 Ohm. Nun wurde das Element E eingeschaltet. Dann blieb das Minimum im Telephon immer unverändert gut, ohne dass Seh verschoben zu werden brauchte, ein Beweis, dass ein schwacher Gleichstrom den Widerstand des Körpers nicht beeinflusst¹⁾. Das Galvanometer G_2 , das natürlich im Augenblick des Strombeginnes einen starken Ausschlag gemacht hatte, wurde durch Drehung seines Torsionsknopfes wieder auf Null zurückgeführt. Nun zeigte sich die bekannte Erscheinung der „Ruhekurve“: der Spiegel drehte sich trotz konstanter Stromquelle immer mehr und zeigte dadurch an, dass der Gleichstrom kontinuierlich schwächer wurde; der Wechselstromwiderstand blieb aber unverändert²⁾. Es nimmt also die Polarisierung des Körpers zu³⁾.

Nun folgt die photographische Aufzeichnung der Galvanometerausschläge vor dem ps. g. R. und während desselben und die nötigen Eichungen. Das Verfahren möge an dem in Fig. 5 dargestellten Versuche erläutert werden.

Es wird U umgelegt, so dass der Detektor eingeschaltet ist; das Galvanometer G_1 zeigt in diesem Augenblick bei guter Einstellung gar keinen oder nur einen ganz unbedeutenden Ausschlag. Nach einer Weile wird, ohne dass die Versuchsperson gereizt wird, die erste Kurve geschrieben (Fig. 5 A); das ruhig stehende Widerstands- (Detektor-) Galvanometer G_1 zeichnet eine Horizontale, das Stromgalvanometer G_2 wegen des abnehmenden Stromes einen schräg abwärts gehenden Strich. — Versuch B: Durch Schliessung von S_2 (Fig. 3) wird eine dem polarisierenden Element gleichgerichtete E. M. K. von 0,2 Volt eingeschaltet und nach einigen Sekunden wieder ausgeschaltet. Ausschlag von G_2 3,5 cm, von G_1 0 cm. Auf elektromotorische Kräfte, die im rechten oberen Brückenweig entstehen, reagiert also allein das Galvanometer G_2 , und es bedeutet 1 cm Ausschlag 0,06 Volt.

Versuch C: Es wird durch Schliessung von S_1 der Widerstand (hier 250 Ohm) ausgeschaltet und bald wieder eingeschaltet. Aus-

1) Bestätigung der Angaben von Aebly (l. c.) und Gallet (Pflüger's Arch. Bd. 149 S. 156. 1912).

2) Legt man eine konstante Stromquelle von einigen Volt an zwei Körperstellen, so wächst der Strom im allgemeinen mit der Zeit; nur die Handflächen und Fusssohlen machen eine Ausnahme, der Strom nimmt hier ab (d'Armand, La conducibilità elettrica del corpo umano 1894. Zitiert nach Veraguth).

3) Bestätigung der Aebly'schen Angabe.

schlag von G_2 mehr als 10 cm, von G_1 0,5 cm. Widerstandsschwankungen des besagten Brückenzweiges beeinflussen also vorwiegend das Detektorgalvanometer.

Versuch D. Die Versuchsperson wird ins Ohrläppchen gekniffen; nach einer Latenzzeit von einigen Sekunden zeigt der Körperstrom die erwartete positive Schwankung, erkennbar an einer Bewegung

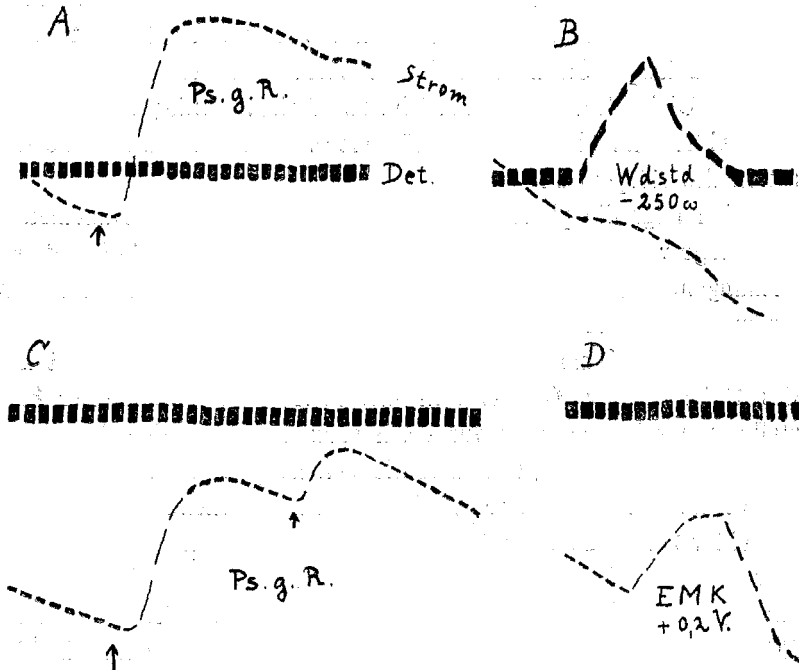


Fig. 6. Wie der vorige Versuch, nur in anderer Reihenfolge. Diesmal Zeitschreibung durch Unterbrechung der Lichtlinien im Rhythmus von 2 Sekunden. Bei C zweimaliger ps.g.R. Resultat wie vorher. Auf $\frac{2}{3}$ verkleinert.

von G_2 um 1,6 cm. Der Detektor (dicke Kurve) spricht aber nicht an. Schluss: Der Körperwiderstand hat sich nicht merklich, d. h. sicher nicht um mehr als 50 Ohm, geändert¹⁾ (vgl. den grossen Ausschlag bei 250 Ohm). Nehmen wir nun 50 Ohm als möglichen Wert an. Eine solch kleine Schwankung würde bei dem Gesamtbetrag von etwa 2000 Ohm den Körperstrom nicht wesentlich verändern, wie die dünne Kurve des Versuchs C zeigt²⁾. Wir können also mit

1) Es ist der Detektorausschlag nicht einfach proportional der Widerstandsschwankung zu setzen (wahrscheinlich besser ihrem Quadrat), und er hat vielleicht eine Schwelle.

2) Dort erzeugten ja 250 Ohm nur eine Erhebung von 1,6 cm.

Sicherheit sagen: In unserm Versuch D hat sich beim ps.g.R. nur die E.M.K. verändert.

Der Versuch E ist eine Wiederholung von D, nur mit vertauschten Elektroden. Hier dringt der polarisierende Strom in die Handfläche ein und tritt am Vorderarm aus; bei D war es um-

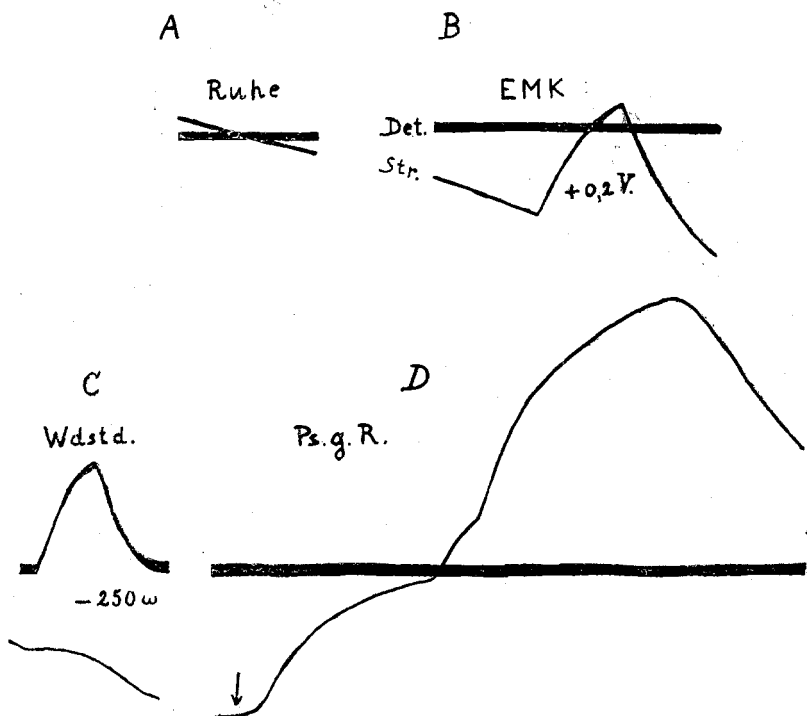


Fig. 7. Wie Fig. 5 und 6. Bei D zeigt der ps.g.R., ohne bekannte Ursache, mehrere Absätze, und ist ganz besonders stark. Auf $\frac{2}{3}$ verkleinert.

gekehrt. Die auftretende E.M.K. ist grösser als 0,2 Volt und wieder im Sinne des polarisierenden Stromes, also in bezug auf die Handfläche von umgekehrter Richtung.

Zwei ähnliche Versuche sind in den Fig. 6 und 7 dargestellt; die nötigen Angaben sind in den Legenden zu finden. Auch hier bleibt der Widerstand ungeändert. Die E.M.K. erreicht in Fig. 7 D annähernd 0,7 Volt.

Aus diesen Versuchen geht nun hervor: Wenn der ps.g.R. unter Benutzung unpolarisierbarer Elektroden und mit guter Ruhigstellung der abgeleiteten Hautstellen ausgelöst wird, so verändert sich der mit frequentem Wechselstrom gemessene Widerstand nicht merklich

(d. h. sicher nicht um 3%), sondern es tritt eine E.M.K. von beträchtlicher Grösse (0,2 bis 0,7 Volt) auf, die immer so gerichtet ist, dass sie den polarisierenden Strom verstärkt, gleichgültig wie dieser in bezug auf die Ableitungsstellen gerichtet ist (diese waren

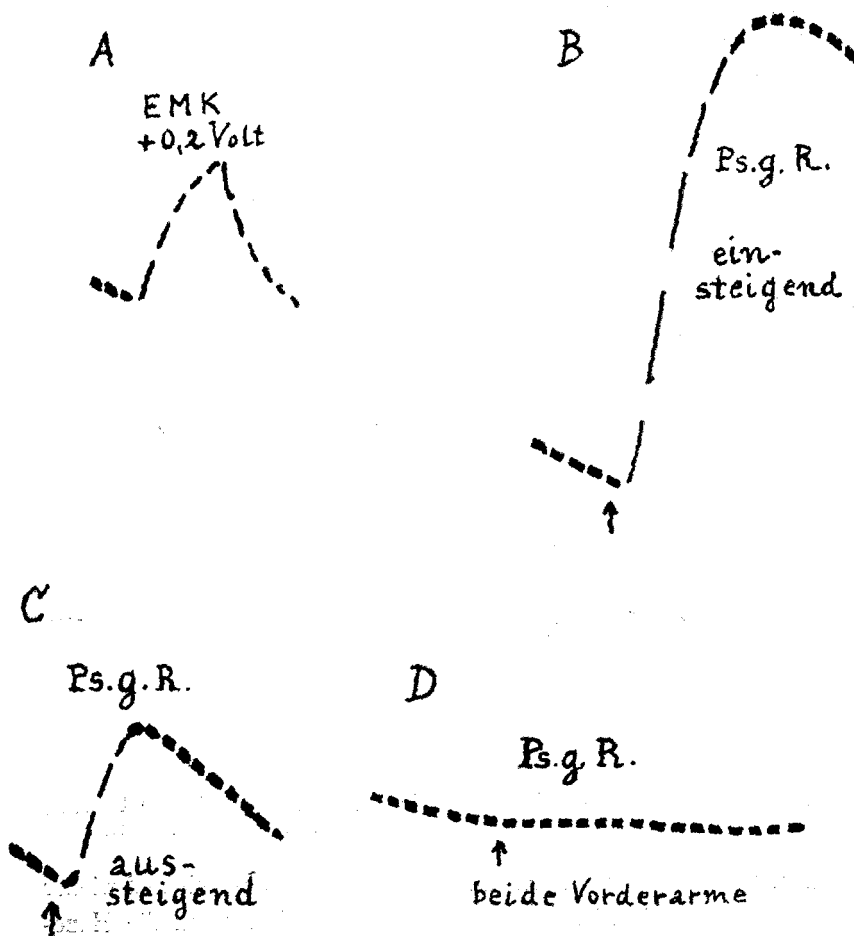


Fig. 8. Dieser Versuch zeigt, dass von beiden Vorderarmen (D) nur ein ganz schwacher Reflex auszulösen ist, während die Ableitung Vorderarm-Handfläche (B und C) starke Ausschläge gibt. Natürl. Grösse.

immer die eine Handfläche und der andere Vorderarm). Damit ist die erste Frage: Widerstand oder E.M.K.? im zweiten Sinne entschieden. Unser Material erlaubt uns aber noch weitere Schlüsse auf die Art der E.M.K.

Wie oben besprochen, liegen zwei Möglichkeiten vor: Auftreten von gleichgerichteten Tätigkeitsströmen der Hautdrüsen oder Abnahme

der Polarisation. Bei unseren Versuchen wurde von Handfläche und Vorderarm abgeleitet; die letztere Stelle gibt aber, wie Fig. 8 D zeigt, übereinstimmend mit den Befunden früherer Untersucher, nur einen ganz schwachen ps. g. R. Wir werden also unsere hohen Schwingungskurven auf Vorgänge in der Handfläche beziehen müssen. Die Stromschwankungen waren immer beim ps. g. R. so gerichtet, dass der Dauerstrom verstärkt wurde, gleichgültig ob er die Haut der Handfläche von aussen nach innen durchsetzte („einstiegend“ war) oder umgekehrt. Wollte man nun die auftretende E. M. K. als Aktionsstrom der Hautdrüsen der Handfläche auffassen, so müsste man annehmen, dass dieser zugleich mit dem Dauerstrom ihre Richtung umkehrte; das wäre eine Verlegenheitshypothese ohne Analogon in der ganzen Elektrophysiologie. Geradezu widerlegt wird diese Annahme durch die Grösse der auftretenden E. M. K.; denn wie können plötzlich Aktionsströme von 0,2, ja 0,7 Volt in einem Organ auftreten, das ohne Durchleitung eines Dauerstroms nur Hundertstel Volt hervorbringt?

Es bleibt nun noch die letzte Auffassung übrig: Beim ps. g. R. vermindert sich die Polarisation. Wenn wir das Phänomen so auffassen, erscheint auch die Grösse der Kraftschwankung weniger befremdend. Denn die menschliche Haut ist sehr stark polarisierbar¹⁾. Es können in ihr Gegenkräfte von mehreren Volt auftreten; eine momentane Verminderung um einige Zehntel Volt ist nicht unmöglich.

Diese Schlüsse werden sehr befestigt durch Untersuchungen, die A. Schwartz nach dem Erscheinen meiner auf S. 489 angeführten Mitteilung an der Froschhaut angestellt hat²⁾. Reizt man die Nerven derselben direkt, so treten Aktionsströme auf. Wenn nun gleichzeitig ein Dauerstrom hindurchgeleitet wird, so erfährt letzterer eine gewaltige Kraftzunahme, gleichgültig ob er mit den Aktionsströmen gleiche oder entgegengesetzte Richtung hat, und der mit Wechselstrom gemessene Leitungswiderstand bleibt ungeändert. Die aus diesem „neuro-galvanischen Phänomen“ zu ziehenden Schlüsse decken sich vollständig mit den obigen.

1) M. Gildemeister, Über die im tierischen Körper bei elektrischer Durchströmung entstehenden Gegenkräfte. Pflüger's Arch. Bd. 149 S. 389. 1912.

2) Zentralbl. f. Physiol. Bd. 27 Nr. 14 S. 738. 1913.

Theoretische Folgerungen.

Was nun die Deutung der Polarisationsverminderung beim ps. g. R. anbetrifft, so erhebt sich zunächst die Frage nach ihrer Lokalisation. Veraguth¹⁾ hat nachgewiesen, dass sie in der Haut ihren Sitz hat; dafür spricht auch der Schwartz'sche Froschhautversuch. Die Beteiligung der darunter liegenden quergestreiften Muskulatur ist aus verschiedenen Gründen so unwahrscheinlich, dass sie wohl gar nicht erörtert zu werden braucht.

Bei der Haut wird man zunächst an Schwankungen der Durchblutung zu denken haben. Aber abgesehen davon, dass diese sich wahrscheinlich doch im Widerstand geltend machen müssten, hat Veraguth²⁾ auch diese Möglichkeit durch Versuche ausgeschlossen.

Die Hermann'sche Deutung des du Bois'schen Willkürversuches und seine Frosch- und Katzenversuche³⁾ lassen uns an die Hautdrüsen denken, und wir haben oben gesehen, dass diese von Tarchanoff zur Erklärung seiner Beobachtung herangezogen worden sind. Deshalb betrachtet auch Veraguth die Schweissdrüsen als die Erfolgsorgane beim ps. g. R. Diese Auffassung hat eine starke Stütze durch neuere Versuche von M. Leva⁴⁾ erhalten, nach denen die Intensität des Phänomens an verschiedenen Körperstellen mit der Anzahl der Schweissdrüsen parallel geht. Durch Atropindarreichung kann nach den beiden letzterwähnten Autoren der ps. g. R. unterdrückt werden. So kann die Schweissdrüsentheorie wohl als gesichert gelten; natürlich ist es aber nicht unmöglich, dass zugleich auch andere Teile der Haut (glatte Muskelfasern, Bindegewebe usw.) unter Nerveneinfluss elektrisch durchlässiger werden.

Eine weitere Frage ist, ob Analoges von anderen Organen bekannt ist. In der älteren Literatur findet sich eine Angabe von du Bois-Reymond⁵⁾, dass der Leitungswiderstand des quergestreiften Muskels (gemessen mit Gleichstrom) sich im Tetanus ändere. Daraufhin haben Herr Dr. A. Schwartz und ich an Froschmuskeln ähnliche Versuche gemacht, wie sie in der vorliegenden Arbeit beschrieben

1) l. c. S. 177.

2) l. c. S. 182.

3) Pflüger's Arch. Bd. 17 S. 291 u. 310. 1878.

4) M. Leva, Münchner Med. Wochenschr. Nr. 43. 1913.

5) Untersuch. üb. tier. Elektr. Bd. 2 H. 1 S. 82. 1849.

sind; wir sind aber zu keinem eindeutigen Resultat, nicht einmal zu einer klaren Bestätigung oder Widerlegung der du Bois'schen Angabe gekommen, weil beim Tetanisieren nicht mit Sicherheit eine Formveränderung der Strombahn auszuschliessen ist. Die Versuche wären an anderen Objekten zu wiederholen. Positive Resultate sind wohl wahrscheinlicher als negative.

Den Nerven schreibt schon Hermann ¹⁾ im Jahre 1880 eine Verminderung der Polarisierung bei der Tätigkeit zu. Obschon er diesen Satz nicht streng bewiesen hat — denn die Tatsachen, aus denen er abgeleitet ist, können auch durch Widerstandsveränderung erklärt werden —, ist dieser doch von den meisten Elektrophysiologen angenommen worden. Auch hier wäre eine Nachprüfung am Platze, die aber wegen des bedeutenden Leistungswiderstandes der Nerven sehr grosse technische Schwierigkeiten haben wird, weil die Messströme einerseits so schwach sein müssen, dass sie nicht merklich erwärmen und nicht reizen, andererseits doch stark genug, um die Einstellung eines scharfen Minimums durch Telephon oder Detektor zu ermöglichen und seine Veränderung, wenn es eine solche gibt, erkennen zu lassen.

Weitere hierher gehörige Beobachtungen auf elektrophysiologischem Gebiet sind mir nicht bekannt. R. Höber setzt aber in seinem bekannten Buche ²⁾ ausführlich auseinander und führt viele Beweise für die Anschauung an, dass bei der Tätigkeit die Permeabilität der Zellmembranen zunehme; den Aktionsstrom fasst er geradezu als Beweis dafür auf. Vermehrung der Permeabilität für Elektrolyte und Verminderung der Polarisierbarkeit müssen aber parallel gehen; deshalb ist es sehr wahrscheinlich, dass der Hermann'sche Satz: Das Protoplasma . . . ist an seinen Grenzflächen stark polarisierbar; die Polarisationskonstante nimmt durch Erregung . . . ab ³⁾ in voller Allgemeinheit Geltung hat.

Schliesslich bleibt noch eine Frage übrig: Ist der Ausdruck psycho-galvanischer Reflex zutreffend? Ist das Grosshirn notwendig daran beteiligt? Es ist doch denkbar, dass zum Beispiel bei einer Ableitung beider Fusssohlen und sensibler Reizung eines Beines auch dann reflektorisch die betreffenden Schweissdrüsen innerviert werden

1) Pflüger's Arch. Bd. 24 S. 289. 1880.

2) R. Höber, Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, 4. Aufl., S. 438 ff. und S. 591 ff.

3) Pflüger's Arch. Bd. 33 S. 161.

Pflüger's Archiv für Physiologie. Bd. 162.

könnten, wenn der Weg nach dem Grosshirn gesperrt ist. Darüber fehlt es noch an Versuchen. In einem solchen Falle mit Querschnittsläsion des Rückenmarks, über den Leva (l. c.) berichtet hat, fehlte der Reflex, jedoch ist es möglich, dass hier wegen der schon lange bestehenden Krankheit die Bahnen der Schweissdrüsen gelitten hatten. Frische Verletzungen und Tierversuche werden darüber Klarheit bringen. Die Lehre von den Schweissnerven könnte dadurch vielleicht gefördert werden.

Die zur vorliegenden Arbeit benutzten Hilfsmittel sind teilweise mit Unterstützung der von Recklinghausen-Stiftung beschafft worden.