

**Zur Physiologie der motorischen Region des Menschen und  
über die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der  
Nervenerregung in den zentralen Abschnitten des  
menschlichen Nervensystems.**

Von  
**Professor Dr. Hans Berger-Jena.**

Mit 6 Textabbildungen.

(*Eingegangen am 26. April 1926.*)

I. Teil.

**Zur Physiologie der motorischen Region des Menschen.**

In der ausgezeichneten Arbeit von *C. und O. Vogt* aus den Jahren 1906/07 sind die Ergebnisse aller früheren Reizversuche am tierischen Großhirn seit *Hitzig* übersichtlich zusammengestellt, so daß hier auf diese Zusammenstellung und kritische Würdigung der früheren Ergebnisse verwiesen werden kann. Die Reizversuche der beiden *Vogts*, die faradisch und unipolar vorgenommen wurden, sind deswegen auch für den Kliniker von besonderem Interesse, da sich unter ihnen vor allem auch sehr sorgfältige Versuche an 27 Cercopitheken befinden. *C. und O. Vogt* konnten feststellen, daß  $C_p$  unerregbar ist und daß alle Spezialbewegungen nur von dem Bereich von  $C_a$  aus erzielt werden können. Diese Spezialbewegungen zeigen stets ein koordiniertes Zusammenarbeiten verschiedener Muskeln oder doch wenigstens einen Ansatz dazu. Außer den Spezialbewegungen erhielten sie von anderen Rindengebieten aus, allerdings nur mit etwas stärkeren Strömen, Einstellungs- oder Adversionsbewegungen. Endlich konnten sie vor der Mundfacialisregion ein Zentrum feststellen, von dem aus auf einmalige Reizung rhythmische Bewegungen, und zwar Lecken, Kauen und Schlucken, sich einstellten. Eine zweite Arbeit dieser Autoren aus dem Jahre 1919 erweitert diese Reizergebnisse an Cercopitheken ganz wesentlich und stellt vor allem einen weitgehenden Parallelismus zwischen physiologischer Funktion und Rindenbau fest, worauf hier nicht näher eingegangen werden kann. Sie fanden durch sehr sorgfältige Untersuchungen, die diesmal mit bipolarer Reizung ausgeführt wurden, daß das der motorischen Region vorgelagerte Feld auch elektrisch erregbar ist, daß jedoch der Reiz in diesem Falle durch intracortical verlaufende Fasern auf die motorische Region übertragen wird. Auch von  $C_p$  aus

können Reizerfolge erzielt werden, aber auch da handelt es sich um die Weiterleitung des Reizes nach der motorischen Region, und zwar sind es in diesem Falle subcortical verlaufende Fasern, die der Reizübertragung dienen. Die eigentliche reizbare Zone ist eben die Area gigantopyramidalis, auf die die Reize übertragen werden müssen, wenn es zu einer Bewegung kommen soll. Beim Menschen kennen wir natürlich durch *Horsley, Fedor Krause, Cushing* u. a. die allgemeine Verteilung der Reizpunkte innerhalb von  $C_a$ . In einem trefflichen Referat auf der 13. Jahresversammlung der Gesellschaft deutscher Nervenärzte in Halle im Jahre 1922 hat *Förster* auf Grund seiner zahlreichen eigenen Erfahrungen beim Menschen die von *C.* und *O. Vogt* an Affengehirnen gewonnenen Ergebnisse auch für den Menschen voll und ganz bestätigen können. Er weist darauf hin, daß beim Menschen die an der Konvexität freiliegende und dem elektrischen Reiz ausgesetzte Fläche von  $C_a$  vom dorsalsten Abschnitt abgesehen der Area agranularis frontalis angehöre, und meint, daß von hier aus bei den Reizversuchen die benachbarte Area gigantopyramidalis in Mitleidenschaft gezogen werde. *Förster* fand auch beim Menschen bei Reizung mit stärkeren Strömen die Gebiete, von denen aus Adversionsbewegungen, wie sie die *Vogts* beschrieben haben, erzielt werden. Er hebt jedoch hervor, was für unsere spätere Betrachtung von Bedeutung ist, daß gerade von diesen Gebieten aus besonders leicht ein epileptischer Anfall ausgelöst werden könne. Im ventralsten und oralsten Teil des Operculum centralis fand *Förster* entsprechend den Feststellungen der *Vogts* auch beim Menschen ein Feld für rhythmische Bewegungen. Auch in einem auf der 15. Jahresversammlung der Gesellschaft deutscher Nervenärzte in Cassel im Jahre 1925 gehaltenen Vortrag hat *Förster* diese Ergebnisse für den Menschen nochmals bestätigt und noch weitere, sehr wichtige Einzelheiten mitgeteilt, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. *Förster* hebt aber auch hervor, daß  $C_a$  einschließlich des ihr entsprechenden Teiles des Lobulus paracentralis das Feld für isolierte Bewegungen einzelner Körperteile und Extremitätenabschnitte, ja einzelner Muskeln und Muskelteile sei. Von ausländischen Arbeiten sind noch die sehr wichtigen Untersuchungen von *Leyton* und *Sherington*, die 1917 veröffentlicht wurden, zu erwähnen. Die in der experimentellen Nervenphysiologie rühmlichst bekannten Untersucher haben an 22 Schimpansen, 3 Gorillas und 3 Orang-Utangs experimentiert, indem sie Reiz- und Exstirpationsversuche im Bereich der motorischen Region anstellten. Die Reizversuche, auf die allein ich kurz eingehen will, wurden mit dem faradischen Strom, und zwar unipolar angestellt. Die Untersucher fanden, daß der Gorilla das höchststehende Gehirn von diesen drei anthropoiden Affen hat. Ihre Ergebnisse sind für den Kliniker äußerst interessant. Sie konnten bei den Reizversuchen

400 verschiedene von C<sub>a</sub> aus zu erzielende Bewegungen feststellen. Sie fanden allein 120 primäre Bewegungen der oberen Extremitäten, davon allein 22 verschiedene Daumenbewegungen. Es ist unmöglich, hier auf die Einzelheiten einzugehen. Ich möchte aber doch die Ergebnisse so weit hervorheben, als sie für die folgenden Betrachtungen von Bedeutung sind. Die Untersucher kommen zu dem Ergebnis, daß die von ihnen erzielten Bewegungen zwar nur Bruchstücke seien, aber doch ein zusammenhängender Teil einer zusammengesetzten Bewegung, die einem ganz bestimmten Zwecke, z. B. der Futterergreifung, der Verteidigung usw., dient. Die motorische Rinde verfügt nach ihrer Ansicht über die Möglichkeit, eine große, aber doch begrenzte Anzahl von Einzelbewegungen zu Bewegungsfolgen zusammenzustellen. Sie ist vorwiegend ein synthetisches Organ für motorische Akte, die in ihren Teilstücken in den bulbospinalen Zentren bereitliegen. Die motorische Rinde besitzt aber auch die Fähigkeit, in den bulbospinalen Zentren bereits verknüpfte Bewegungsfolgen aufzubrechen, um die Teilbewegungen anders zu verwenden, und sie hat demnach auch in manchen Fällen eine analytische Funktion. Diese Eigenschaften der motorischen Region sind nach Leyton und Sherrington die physiologische Basis für die Erlernung geschickter Willkürbewegungen.

Ich habe vor Jahren die Beobachtung gemacht, daß man bei Menschen mit Schädeldefekten in der Gegend der motorischen Region durch unipolare faradische Reizung durch die Haut hindurch Bewegungen erzielen kann, wie sie von Chirurgen bei der Reizung der bloßliegenden motorischen Region beschrieben werden. Diese Feststellung bestimmte mich dazu, diese Beobachtungen weiter zu verfolgen, und ich habe in den letzten Jahren in 21 Fällen solche Untersuchungen vorgenommen. Die Technik dieser Untersuchungen war dabei folgende:

Es wurde ein von E. Zimmermann-Leipzig bezogenes Vertikalinduktorium verwendet, dessen sekundäre Rolle 5000 Windungen hatte. Dieser Apparat hat sich mir als sehr zuverlässig erwiesen, hat aber den kleinen Nachteil, daß zum Vergleich mit den Ergebnissen anderer Forscher die am Apparat angebrachte Einteilung auf den wirklichen Abstand der primären und sekundären Rolle umgerechnet werden muß, was aber sehr leicht möglich ist. Für den primären Strom wurde ein Trockenelement von 2,5 Volt verwendet, dessen Ladung vor den jeweiligen Untersuchungen durch ein Voltmeter nachgeprüft wurde. Als differente Reizelektrode wurde eine kleine Messingknopf elektrode verwendet, die mit Leder überzogen war; der Durchmesser ihres kugeligen Knopfes betrug mit Lederüberzug 0,5 cm. Als indifferenten Elektrode wurde eine Plattenelektrode, die mit Flanell überzogen war und einen Flächeninhalt von 200 qcm hatte, verwendet. Diese indifferenten Elektrode wurde auf die Brust und oft auch auf die Oberbauchgegend auf-

gelegt und daselbst entweder von einer damit beauftragten Schwester gehalten oder durch einen Gurt befestigt. Die Reizdauer für den Einzelreiz betrug höchstens 1 Sekunde, d. h. die differente Elektrode wurde eben nur aufgesetzt und sofort wieder entfernt. Später kürzte ich diese Reizdauer noch wesentlich ab und ging sogar auf eine Reizzeit von nur  $20-45\sigma$  herunter, die sich als vollständig ausreichend erwiesen hat. Diese Abkürzung der Reizzeit war nur dadurch möglich, daß das große Zimmermannsche Kymographion in Verbindung mit dem Universal-kontaktapparat (dem sog. großen Zeitsinnapparat von *Meumann*) verwendet und durch dreieckige Platinschleifkontakte der primäre Strom nur diese kurze Zeit geschlossen wurde, während die Reizelektrode schon vorher auf der Reizstelle lag. Auch der sekundäre Strom floß dann nur diese kurze Zeitdauer hindurch durch die der Haut über dem Schädeldefekt anliegende differente Elektrode. Obwohl durch diese Anordnung die Reizung etwas umständlicher wurde, so hielt ich es doch im Interesse der Untersuchten für notwendig, diese Vorsichtsmaßregel anzuwenden. *Fedor Krause* hat schon darauf hingewiesen, daß durch elektrische Reizung der motorischen Region des Menschen sehr leicht epileptische Anfälle hervorgerufen werden können. Er hebt auch hervor, daß er doch einzelne Male zahlreiche frische kleinere und größere Blutaustritte in den Piamaschen und im Rindenparenchym nach unipolarer elektrischer Reizung gesehen habe. *Vogts* bilden auf ihren den „Erkrankungen der Großhirnrinde“ 1922 beigegebenen Tafeln auf Tafel 10, Abb. 1 eine fast die ganze Rinde durchsetzende Blutung ab, die bei einem *Macacus rhesus* nach einer zweimaligen elektrischen Reizung in dieser Gegend aufgetreten war. Diese Autoren weisen an dieser Stelle (S. 71, 73 und 76) ausdrücklich darauf hin, daß auf die Schädigung der Rindenreizung auch die Ganglienzellen ganz regelmäßig mit einer ganz speziellen Veränderung reagieren und sich an ihnen ein cytolytischer Vorgang nachweisen lasse. Sie nehmen an, daß dieser durch eine Schädigung der Blutgefäß und dadurch bedingte Ernährungsstörung der Nervenzelle hervorgerufen sei. Außerdem hatte ich Gelegenheit zu sehen, daß die von anderer Seite gelegentlich einer Operation vorgenommene Rindenreizung innerhalb der motorischen Region des Menschen sofort zu einem schweren epileptischen Anfall bei diesem Kranken führte. Dies alles bestimmte mich natürlich, recht vorsichtig vorzugehen, obwohl bei der unipolaren Reizung von der Haut aus die Verhältnisse doch etwas anders liegen als bei den Reizversuchen der *Vogts* oder bei den Reizungen *Fedor Krauses*, wo die bloßliegende Großhirnoberfläche manchmal auch noch nach Entfernung der subarachnoidalen Flüssigkeit gereizt wurde. Ich habe auch versucht, mit der von *Fedor Krause* angegebenen Reizelektrode, die ein Platinknöpfchen von 1 mm Durchmesser hat, von der Haut aus unipolar zu reizen. Ich mußte

diese Versuche sofort wieder aufgeben, da eine so kleine Elektrode an der Reizstelle in der Haut unerträgliche Schmerzen und damit verbundene heftigste Abwehrbewegungen, die natürlich alle Reizerfolge überdecken, hervorruft. Für die Reizerscheinungen an der Haut ist ja namentlich die Stromdichtigkeit maßgebend; diese beträgt bei meiner Anwendung mit der 0,5 cm im Durchmesser messenden Reizelektrode, mit der bei dem kurzen Aufsetzen doch immer eine kreisförmige Hautstelle von mindestens 2, jedoch auch 3 mm Durchmesser berührt wird, wenn die Stromdichtigkeit an der indifferenten Elektrode = 1 gesetzt wird, an der Reizstelle in der Haut 6370 — 2830 an der differenten Elektrode. Bei der *Krauseschen* Elektrode ist unter der gleichen Anordnung, wenn sie eben aufgesetzt oder mit ihrer ganzen Fläche angedrückt wird, an dieser Elektrode die Stromdichtigkeit 40000 — 20000, wenn sie an der indifferenten Elektrode = 1 gesetzt wird. Abgesehen von der Schmerhaftigkeit spricht auch diese Überlegung gegen die Anwendung solch kleiner differenter Elektroden als Reizelektroden, da doch auch das unter der Haut auf der Dura liegende Gehirn, dessen Entfernung von der Unterfläche der Reizelektrode doch nur 3—4 mm, manchmal sogar bei der papierdünnen Haut über Prolapsen noch erheblich weniger beträgt, von einem Strom von großer Dichtigkeit getroffen und so um so mehr der Gefahr einer Schädigung ausgesetzt wird. Man nimmt doch an, daß von der differenten nach der indifferenten Elektrode hin die Stromlinien sich fächerförmig ausbreiten, so daß die gereizte Fläche auf der Großhirnrinde kaum merklich größer sein wird als die Aufsatzfläche der differenten Elektrode auf der Haut. — Der Widerstand wurde bei der von mir verwendeten Anordnung mit Hilfe der von *Edelmann* angegebenen Apparatur auf 4000—12000  $\Omega$  bestimmt. Gegenüber den Reizversuchen am Tier oder auch gegenüber den Reizversuchen bei Operationen am Menschen besitzt dieses Vorgehen natürlich den Nachteil, daß der elektrische Reiz nicht so punktförmig ist wie dort, und daß durch die notwendigerweise größer zu wählende differente Elektrode immer ein flächenhaftes Stück der Rinde vom Strom getroffen wird. Andererseits besitzt sie aber den großen Vorteil, daß weder eine Narkose noch eine Abkühlung oder auch ein Austrocknen der Rinde die Reizerfolge verändern. Diese letzteren Momente sind ja auch bei Operationen, die in Lokalanästhesie ausgeführt werden, nicht zu vermeiden. Vor allem können aber die Untersuchungen, wenn entsprechende Vorsichtsmaßregeln angewendet werden, beliebig lang ausgedehnt und so die erhaltenen Ergebnisse entweder in derselben Sitzung oder noch besser später auch nach Wochen und Monaten nachgeprüft werden.

Die Untersuchungen wurden in einem ruhigen, auch gegen äußeren Lärm geschützten Zimmer bei sehr guter Beleuchtung vorgenommen.

Die zu untersuchenden Personen wurden vollständig entkleidet und lagen bequem unter weitgehendster Erschlaffung aller Muskeln auf einem Ruhebett. Das Zimmer war gut geheizt. Außerdem wurde der zu Untersuchende in den Pausen immer mit warmen wollenen Decken zugedeckt, so daß Zittererscheinungen, hervorgerufen durch Abkühlung, nicht störend dazwischen kommen konnten. Bei den Patienten, bei denen Entlastungstrepanationen vorgenommen waren, die meist Wochen oder Monate, in manchen Fällen auch schon Jahre zurücklagen, wurde gewöhnlich am Tage vor dem ersten Reizversuch die genaue Lage des Knochendefektes mit Hilfe des Kocherschen Craniometers bestimmt und das Ergebnis in ein Schema von *Goldstein* eingetragen. Dabei wurde namentlich die Lage der Fossa Sylvii, des Sulcus praecentralis und der Fissura Rolando bestimmt und ihr Verlauf innerhalb des Defektes, so weit dies bei diesen Messungen möglich ist, genau festgestellt. Bei den Reizversuchen selbst wurde die Trepanationsstelle mit Alkohol und Äther abgerieben und dann mit Watte, die in körperwarmer physiologischer Kochsalzlösung lag, bedeckt. Bei den Versuchen waren außer mir stets noch ein Arzt und eine Schwester anwesend. Die Reizversuche habe ich stets selbst ausgeführt; der anwesende Arzt und die Schwester, die beiderseits neben dem Untersuchten saßen, bzw. standen, beobachteten die Reizerfolge, auf die ich natürlich auch selbst genau Obacht gab und auf die auch gar nicht selten der Untersuchte selbst aufmerksam machte. Die jeweils gereizte Stelle wurde mit einem Festschreibstift auf der Haut markiert, wobei immer andere Farben gewählt wurden, um die einzelnen Punkte voneinander zu unterscheiden. In das am Tage vorher gewonnene Schema der Lage des Defektes wurde nach jeder erfolgreichen Reizung jeder Punkt eingetragen und sofort schriftlich fixiert, welcher Reizerfolg an diesem betreffenden Punkte erzielt worden war. So wurde die ganze Gegend des Knochendefektes mit schwachen Strömen anfangend abgetastet, manchmal erst in mehreren Sitzungen, in manchen Fällen aber auch schon in der ersten Sitzung. Die Stromstärke wurde dann allmählich gesteigert und außer dem Reizerfolg wurde auch jeweils der Rollenabstand genau vermerkt. Nach jeder erfolgreichen Reizung wurde dieselbe nach einer kurzen Pause wiederholt, um die Reizergebnisse genau festzulegen und etwa bei der ersten Reizung übersehene Teilbewegungen genau festzustellen. Manchmal war es nötig, an derselben Stelle mit entsprechenden Pausen die Reizung 5—6 mal zu wiederholen. Es wurde dann eine größere Pause eingeschoben, und die Trepanationsstelle wurde mit Watte bedeckt, die mit warmer Kochsalzlösung getränkt war. Der Kranke wurde dann vollständig in Ruhe gelassen, während die schriftlichen Aufzeichnungen vervollständigt wurden. Man konnte so in aller Ruhe vorgehen, jedoch habe ich die einzelnen Sitzungen nie länger als 1 Stunde

mit Einschluß der vielen kleinen und auch der längeren, oft 5—10 Minuten umfassenden Pausen ausgedehnt. Traten bei dem Kranken während des Versuchs irgendwelche Beschwerden, namentlich Kopfschmerzen auf oder zeigte sich, daß eine Reizung die Neigung verriet, sich auf benachbarte Gebiete auszubreiten, so daß ein Rindenanfall zu befürchten war, so wurde die Sitzung sofort abgebrochen. Vorsichtshalber erhielten fast alle Kranken am Abend nach einer Untersuchung 0,1 Luminal, und ich habe in der Tat nie irgendwelche üblen Nachwirkungen gesehen. Bei manchen an sich geeigneten Kranken scheiterte die Untersuchung daran, daß sie zu ängstlich waren und schon unter der Anwendung ganz schwacher Ströme bei jedem Aufsetzen der Reizelektrode zusammenfuhrten. Sie waren natürlich für diese Untersuchung ganz ungeeignet. Bei anderen stellten sich schon bei geringen Stromstärken, die noch keineswegs als schmerhaft empfunden wurden, lebhafte Abwehrbewegungen ein. Auch diese Kranken mußten ausscheiden, da, obwohl ja diese Abwehrbewegungen meist doppelseitig sind, sie doch leicht zu falschen Deutungen der vermeintlichen Reizerfolge Anlaß geben konnten. Ungeeignet für die Untersuchungen sind auch die Fälle, bei denen bei jeder Reizung der Durareflex sich einstellt. Es kommt dann bei jedem Aufsetzen der differenten Elektrode zu einer *gleichseitigen* Zuckung im ganzen Facialisgebiet (*Augen- und Mundfacialis*). In vielen Fällen fehlte dieser Reflex vollständig, wohl deshalb, weil bei den Entlastungstrepanationen die Dura lappenförmig aufgeklappt und dabei auch ihre Nerven durchschnitten worden sind. Auffallend war mir immer auch bei den Leuten, bei denen die Gegend der Trepanationsstelle normal gegen Strom empfindlich war, oder auch bei solchen, bei denen wohl infolge der Durchschneidung von Hautnerven die Haut in ihrer Schmerzempfindlichkeit herabgesetzt war, daß immer in der Nähe der Knochenränder das Aufsetzen der differenten Elektrode äußerst schmerhaft war und deshalb vermieden werden mußte.

Wie schon oben erwähnt, habe ich, in dieser Weise vorgehend, an 21 Kranken mit Schädeldefekten Untersuchungen angestellt. Von diesen 21 wurde in 5 Fällen kein Ergebnis erzielt. In 2 Fällen von Kriegsverletzungen lag einmal eine solche der rechten hinteren Zentralwindung in ihrem mittleren Drittelpunkt vor, in einem anderen Falle lag der Defekt über der Konvexität des linken Occipitallappens. Es konnten weder Reizerfolge noch auch irgendwelche Sensationen ausgelöst werden, vor allem traten auch bei den Reizungen über dem Occipitallappedefekt bei der verwendbaren Stromstärke weder Pupillenveränderungen noch Augenbewegungen noch auch subjektive Lichterscheinungen auf. In den drei anderen ohne Erfolg gereizten Fällen lag eine große Palliativtrepanation, zweimal über der rechten, einmal über der linken Schädelhälfte, vor, in die nach den cyrtometrischen Bestimmungen die Präzentral-

windung unbedingt hineinfallen mußte. Obwohl bei diesen 3 Kranken keinerlei Lähmungserscheinungen oder andere Pyramidenzeichen bestanden, waren die Reizversuche doch vollständig ergebnislos. Einen Grund für dieses negative Ergebnis in den 3 Fällen kann ich nicht angeben. Ich könnte mir aber denken, daß es vielleicht zu postoperativen Blutungen und zu einer Verdickung der Dura gekommen sei, die den Strom so abschwächten, daß er auf die Rinde nicht mehr wirksam war. In 16 Fällen, von denen 9 rechts, 7 links eine große Palliativtropanation hatten, habe ich aber Reizerfolge gesehen, und diese wurden in 37 Sitzungen (abgesehen von den Sitzungen, auf die wir im zweiten Teile zurückkommen, die zu zeitmessenden Versuchen verwendet wurden) genau untersucht und schriftlich festgelegt.

Zunächst möchte ich hervorheben, was ich *nicht* gefunden habe. Ich habe, wie schon oben bei den negativen Fällen erwähnt wurde, außerhalb der Gegend der  $C_a$  niemals irgendwelche Reizerfolge erzielt. Ich habe auch auf ausdrückliches Befragen und vorheriges Daraufmerksamachen der Kranken, daß jetzt bei der Reizung diese oder jene Sensation auftreten könnte, niemals Angaben über solche erhalten, weder bei Defekten im Bereich der  $C_p$  noch in anderen Hirngegenden. Ich habe auch niemals irgendwelche Augenbewegungen, Pupillenveränderungen und auch nicht die von *C.* und *O. Vogt* als Adversionsbewegungen bezeichneten Bewegungen erzielt, obwohl in mehreren Fällen zweifellos die Gegend vorlagen, von denen aus sie auch beim Menschen nach den Mitteilungen *Försters* durch elektrische Reizung hervorgerufen werden können. Es mag dies daran liegen, daß zu ihrer Auslösung, wie dies von allen Untersuchern angegeben wird, stärkere Ströme nötig sind, die auf der Haut bei meiner Anordnung schmerhaft wirken und die ich deshalb nicht anwenden wollte, da von mehreren Untersuchern, namentlich aber von *Förster*, hervorgehoben wird, daß gerade von diesen Gebieten aus besonders leicht epileptische Anfälle hervorgerufen werden können, eine Gefahr, der ich unter keinen Umständen die Kranken aussetzen durfte.

Obwohl meine Reizmethode bei einem vom Strom getroffenen runden Hautbezirk von 2—3 mm Durchmesser auf der Rinde nicht einzelne Punkte treffen, sondern mehr flächenhaft wirken mußte, so habe ich doch gefunden, daß an den Punkten, an denen Reizerfolge erzielt wurden, die Verschiebung der Elektrode schon um 2—3 mm nach der Seite oder nach oben oder unten bei genau gleichbleibender Reizstärke kein Ergebnis mehr zeitigte. Verstärkte man an dieser von dem ersten Reizpunkt 2—3 mm entfernten Stelle dann den Strom, so erhielt man häufig die an der ersten Stelle erzielten Bewegungen wieder. Es sind das Befunde, auf die namentlich auch *Krause* bei seiner Reizung der bloßliegenden Rinde des Menschen hingewiesen hat und die bekannt

sind. Ich war nur erstaunt, sie bei meiner etwas anderen Anordnung auch wiederzufinden.

Ich will nun nicht ausführlich alle die Protokolle über diese 37 Sitzungen mitteilen, sondern nur zur Verdeutlichung der Ergebnisse über 2 Fälle etwas ausführlicher berichten und im übrigen die erhaltenen Ergebnisse in tabellarischer Zusammenstellung bringen.

K. Z., 17 Jahre alt, war wegen Tumorverdachts meiner Klinik überwiesen worden. Es hatten sich bei ihm ganz allmählich eine Erschwerung der Sprache, eine leichte Parese des rechten Armes und starke Kopfschmerzen eingestellt. Die Sehnenreflexe waren rechts etwas gesteigert. Der spinale Druck betrug 244 mm. Wasser. Während der länger durchgeführten Beobachtungszeit stellte sich eine Unschärfe der Papillengrenzen ein, so daß auch aus anderen Symptomen, auf die hier nicht weiter eingegangen werden kann, ein Tumor in der Tiefe des linken Stirnhirns angenommen wurde. Es wurde am 27. April 1923 eine Palliativtropenanation über der

linken Hemisphäre ausgeführt. Da später eine starke Vorwölbung an dieser Stelle entstand und sich wieder Hirndruckscheinungen geltend machten, wurde die Trepanationsstelle am 22. VI. 1923 noch nach hinten zu erweitert. Beide Operationen wurden von Herrn Professor Guleke-Jena ausgeführt. Es stellte sich nach der zweiten Operation eine rasch zunehmende Besserung ein. Z. genas vollständig und wurde wieder voll und ganz arbeitsfähig. Bei ihm wurde in 6 Sitzungen, die sich über 2 Jahre verteilen, die Gegend des ganzen Defektes durch unipolare Reizung untersucht und dabei systematisch abgetastet. Die Lage des Knochendefektes in seinem Verhältnis zum Schädel und zur Lage der Präzentralfurche und des Sulcus Rolandi ersieht man am besten aus Abb. 1, die die Verhältnisse nach einer von mir auf Grund des Röntgenbildes und der Cyrtometerbestimmung angefertigten Zeichnung darstellt.

Ich habe auch die einzelnen Reizpunkte, und zwar nur die, an denen Reizerfolge erzielt wurden, fortlaufend numeriert, eingetragen. Die Größe der schwarzen Punkte auf der Zeichnung stellt auch in halber Größe die von dem elektrischen Reiz jeweils getroffene Hautfläche dar. Es wurden folgende Bewegungen im Verlaufe dieser 6 Sitzungen erzielt,

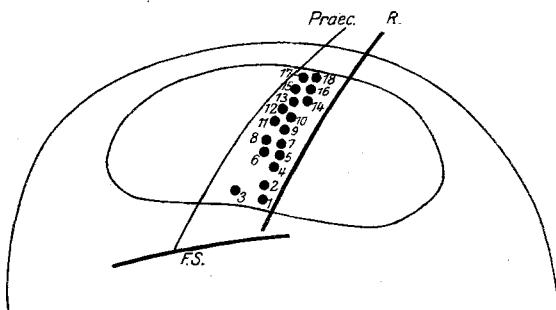


Abb. 1.

330 H. Berger: Physiologie der motorischen Region des Menschen und wobei früher gemachte Feststellungen in den späteren Sitzungen immer wieder nachgeprüft werden konnten.

1. Abweichen der vorgestreckten Zunge nach der Gegenseite.
2. Abweichen der vorgestreckten Zunge nach der Gegenseite verbunden mit einem Nachaußenziehen des Mundes.
3. Heben des Kehlkopfes wie beim Schluckakt.
4. Strecken des Daumens.
5. Streckung und Abduction des Daumens.
6. Streckung und Abduction des Daumens und des 5. Fingers.
7. Strecken des Zeigefingers.
8. *Reizung bei erhobener Hand:* Es tritt eine Bewegung zwischen Daumen, Zeigefinger und den übrigen Fingern ein wie beim Greifen und Festhalten eines Bleistiftes oder einer Feder.
9. Beugen der Hand.
10. Strecken der Hand und aller Finger.
11. Dorsalflexion der Hand und leichtes Beugen aller Finger.
12. Strecken der Hand und Pronation des Unterarmes.
13. Greifbewegung der Hand (die Finger werden leicht gestreckt und dann in allen Gelenken mäßig gebeugt; Adduction des ganzen Armes, der auch gleichzeitig nach hinten gezogen wird).
14. Adduction des Armes im Schultergelenk und Beugen im Ellenbogengelenk.
15. Adduction des Armes mit gleichzeitiger Drehung des Ellenbogens nach vorn (Innenrullung).
16. Faustschluß, Beugen im Ellenbogengelenk und Heben des Armes im Schultergelenk.
17. Heben des Armes im Schultergelenk.
18. Faustschluß, Beugen im Ellenbogengelenk, Heben und Außendrehnung im Schultergelenk, „wie beim Zuschlagen!“.

Bei Z. fallen die Reizpunkte, an denen Erfolge erzielt werden, in der Tat in die auf der Haut cyrtometrisch bestimmte Gegend der vorderen Zentralwindung. Das ist aber keineswegs immer der Fall. Das liegt daran, daß die Bestimmung mit dem Craniometer am Schädel eben doch nicht immer so absolut auf den Millimeter genaue Grenzen ergibt, und vor allem auch daran, daß namentlich bei Palliativtreatnitionen, bei denen ein starker intracraenieller Druck besteht, es zu einem mehr oder minder ausgedehnten Prolaps kommt. Innerhalb derartiger Prolapse treten nicht selten erhebliche Verschiebungen der Windungszüge nach verschiedenen Richtungen auf, so daß man dann nur ungefähr die Gegend angeben kann, wo voraussichtlich C<sub>a</sub> liegen wird. So haben sich z. B. die Reizpunkte im folgenden Falle durchaus nicht mit der auf der Haut aufgezeichneten Präzentralgegend gedeckt, sondern lagen fast sämtlich hinter ihr. Ich möchte aber diesen Fall doch anführen, um zu zeigen, wie verschieden die Ergebnisse, was die Reichhaltigkeit der auftretenden Bewegungen anlangt, sind.

Eine 20jährige Frau E. H., bei der schon seit dem 16. Lebensjahr vorübergehend Sehstörungen aufgetreten waren, erkrankte unter

schweren Kopfschmerzen, Erbrechen und gelegentlichen Vertaubungen des linken Armes während dieser Kopfschmerzenanfälle. Die Untersuchung ergab eine schwere doppelseitige Stauungspapille, eine Steigerung der linksseitigen Sehnenphänomene und eine Herabsetzung der Berührungsempfindlichkeit in der rechten Gesichtshälfte. Es wurde ein großer basaler Tumor angenommen, und am 19. XI. 1923 wurde von Herrn Professor Guleke eine Palliativtrepanation über der rechten Schädelhälfte ausgeführt. Auch diese Patientin ist vollkommen gesund; nach wiederholten Röntgenbestrahlungen sind alle Druckerscheinungen verschwunden, und der anfangs nicht unerhebliche Prolaps ist stetig zurückgegangen. Bei der Patientin wurden im Verlaufe eines Jahres in 7 Sitzungen, die durch 1—2 Monate voneinander getrennt waren, Reizversuche angestellt. Die Ergebnisse zeigt die folgende Zusammenstellung:

1. Zusammenziehen der gegenüberliegenden Zungenhälfte, namentlich im hinteren Teil.
2. Strecken des Zeigefingers.
3. Strecken des Zeigefingers mit anschließendem Beugen in allen 3 Gelenken.
4. Streckung und Abduction des Daumens.
5. Strecken des kleinen Fingers.
6. Abduction des kleinen Fingers.
7. Streckung und Abduction des kleinen Fingers.
8. Strecken des Daumens und des 3. Fingers.
9. Strecken des Zeigefingers und des kleinen Fingers.
10. Strecken des Daumens und leichtes Strecken des 2., 3., 4. und 5. Fingers.
11. Streckung und Abduction des 5. Fingers mit Streckung des Daumens.
12. Strecken des 3. Fingers.
13. Strecken des 3. Fingers mit nachfolgendem Beugen in allen 3 Gelenken.
14. Strecken des 2. und 3. Fingers.
15. Strecken des 2. und 3. Fingers mit sofortigem Beugen in den oberen Gelenken bei bestehendem starker Streckung im Grundgelenk.
16. Streckung des 2., 3. und 4. Fingers.
17. Strecken des 3., 4. und 5. Fingers.
18. Strecken des 3., 4. und 5. Fingers nur im Grundgelenk.
19. Strecken des 3. Fingers mit leichtem Strecken des 2., 4. und 5. Fingers.
20. Strecken und Spreizen sämtlicher Finger.
21. Strecken der Hand und aller Finger.
22. Streckung und Abduction des Daumens mit Strecken und Spreizen aller Finger und Dorsalflexion der ganzen Hand.
23. Rechtwinkliges Beugen im Handgelenk mit Strecken aller Finger.
24. Supination des Unterarms und Strecken des Daumens.
25. Beugen des Unterarms.
26. Beugung des Unterarms mit Supination.
27. Beugung des Unterarms mit Supination und Strecken des Daumens im Grundgelenk.
28. Beugen des Unterarms und Heben des ganzen Arms im Schultergelenk.
29. Dorsalflexion der Hand, Beugen des Unterarms und Heben des Armes im Schultergelenk.

Obwohl die Zahl der Sitzungen bei beiden Kranken fast die gleiche ist, wurden bei H. ungleich viel mehr einzelne Bewegungen festgestellt. Ich möchte dafür einmal die Tatsache verantwortlich machen, daß zur Zeit der Untersuchungen die Gegend der C<sub>a</sub>, die in den Prolaps hineinfiel, natürlich stark vorgewölbt und gewissermaßen fächerförmig auseinandergedrängt war. Namentlich die in der Mitte des Prolapses vorgedrängte Armregion war daher viel besser den Reizwirkungen der differenten Elektrode zugänglich, zumal auch die Haut über dem Prolaps deutlich verdünnt war. Ferner möchte ich es aber auch darauf zurückführen, daß es sich bei Z. um einen einfachen Handarbeiter handelte, während H. eine gebildete Frau ist, die musikalisch sehr begabt und auch eine sehr gewandte Klavierspielerin ist, wodurch besonders auch ihre rechtsseitigen Handzentren wohl besser ausgebildet sind als bei einem im Klavierspiel nicht geübten Rechtshänder.

Wie schon oben bemerkt, will ich nicht alle 16 Fälle in dieser Ausführlichkeit mitteilen, sondern ich stelle nur übersichtlich die Reizergebnisse für alle Fälle zusammen, wobei ich bemerke, daß alle erzielten Bewegungen dem Reizpunkt kontralaterale sind, und nur da kommen gleichseitige oder doppelseitige Bewegungen in Frage, wo dies ausdrücklich in der Zusammenstellung bemerkt ist. Die Zusammenstellungen enthalten die erzielten Bewegungen geordnet nach der Lage der zugehörigen Zentren innerhalb von C<sub>a</sub>, von unten nach oben gehend.

#### I. Kehlkopfbewegungen.

1. Hebung des ganzen Kehlkopfes und Zusammenziehung des Mundbodens (wie beim Schlucken).

#### II. Doppelseitige Kaubewegungen.

(Mehrmalige bei einfacher Reizung.)

#### III. Zungenbewegungen.

1. Vorstrecken der Zunge als Ganzes.

2. Zurückziehen der vorgestreckten Zunge als Ganzes.

3. Abweichen der vorgestreckten Zunge nach der Gegenseite.

4. Abweichen der vorgestreckten Zunge nach der Gegenseite und gleichzeitiges .

NachauBenziehen des gegenüberliegenden Mundwinkels.

5. Zurückziehen der vorgestreckten Zunge als Ganzes und Abweichen derselben im Mund nach der Gegenseite.

6. Zusammenziehen der gegenüberliegenden Zungenhälfte, namentlich im hinteren Teil.

7. Bewegung der *Spitze* der im Mund liegenden Zunge nach der Gegenseite.

8. Abwärtsbewegung des Zungenbeins mit deutlicher Zusammenziehung der beiderseitigen Omohyoidei und der Sternohyoidei.

9. Hebung des Zungenbeins mit Zusammenziehung der Muskulatur des Mundbodens (beiderseits).

#### IV. Bewegungen der vom Facialis versorgten Muskulatur.

a) im Gebiete des Mundfacialis:

1. Verziehen des Mundwinkels nach der Gegenseite.

2. Herabziehen des gegenüberliegenden Mundwinkels und Zusammenziehen des Platysma.

3. Aufeinanderpressen der gegenüberliegenden Hälften der Ober- und Unterlippe, Verziehen dieses Mundwinkels nach außen und Zusammenziehen des Platysma.

4. Zusammenziehen des Platysma auf der Gegenseite.

b) im Gebiet des Augenfacialis:

1. Zusammenziehen des M. corrugator supercilii der Gegenseite.

2. Zusammenziehen des M. corrugator supercilii auf *beiden* Seiten.

3. Zusammenziehen des M. corrugator supercilii und des M. frontalis beiderseits.

4. Doppelseitiger Augenschluß (M. orbicul. oculi).

V. Bewegungen der oberen Extremität.

a) Daumen:

1. Streckung des Daumens.

2. Beugung des Daumens im Grundgelenk.

3. Adduction des Daumens.

4. Opposition des Daumens.

5. Strecken und Abducieren des Daumens.

6. Strecken des Daumens und des Zeigefingers.

7. Strecken und Abduction des Daumens und des kleinen Fingers.

8. Streckung und Abduction des Daumens und Strecken des kleinen Fingers.

9. Streckung und Abduction des Daumens mit Strecken und Spreizen aller Finger und Dorsalflexion der Hand.

10. Strecken des Daumens und des 3. Fingers.

11. Strecken des Daumens und leichtes Strecken des 2., 3., 4. und des 5. Fingers.

12. Zusammenlegen des Daumens und der 3 folgenden Finger, die vorher gespreizt waren, dabei leichtes Beugen dieser Finger im Grundgelenk.

b) Zeigefinger:

1. Strecken des Zeigefingers.

2. Strecken des Zeigefingers mit nachfolgender Beugung in allen 3 Gelenken.

3. Strecken des Zeigefingers und des kleinen Fingers.

c) kleiner Finger:

1. Strecken des kleinen Fingers.

2. Abduction des kleinen Fingers.

3. Streckung und starke Abduction des kleinen Fingers.

4. Streckung und Abduction des kleinen Fingers mit Strecken des Daumens.

5. Streckung und Abduction des kleinen Fingers verbunden mit Strecken des 4. Fingers.

6. Beugen des kleinen Fingers im Grundgelenk bei gleichzeitigem Strecken in den anderen Gelenken dieses Fingers und verbunden mit Adduction des Daumens.

d) aller Finger:

1. Strecken aller Finger einschließlich des Daumens.

2. Strecken des 2., 3., 4. und 5. Fingers.

3. Strecken des 2., 3. und 4. Fingers.

4. Strecken des 3., 4. und 5. Fingers.

5. Strecken des 3., 4. und 5. Fingers im Grundgelenk.

6. Strecken des 3. Fingers.

7. Strecken des 3. Fingers mit nachfolgendem Beugen in allen 3 Gelenken.

8. Strecken (vollständiges) des 3. Fingers mit leichtem Strecken des 2., 4. und 5. Fingers.

9. Strecken des 2. und 3. Fingers.

10. Strecken des 2. und 3. Fingers mit sofort nachfolgendem Beugen in den oberen Gelenken bei bestehenbleibender Streckung im Grundgelenk.
  11. Beugen aller Finger in allen Gelenken einschließlich des Daumens.
  12. Beugen des 2., 3., 4. und 5. Fingers im Grundgelenk.
  13. Beugen des 2. und 3. Fingers im Grundgelenk.
  14. Beugen aller Finger (einschließlich des Daumens) im Grundgelenk.
  15. Beugen des 2., 3., 4. und 5. Fingers im Grundgelenk und gleichzeitiges Strecken in den anderen Gelenken.
  16. Spreizen aller Finger.
  17. Strecken und Spreizen aller Finger.
  18. Zusammenlegen der leicht gespreizten 4 letzten Finger.
  19. Strecken des 2. und 3. Fingers mit nachfolgendem Beugen in allen Gelenken des 2., 3. und 4. Fingers.
  20. Die im Grundgelenk gebeugten 4 Finger werden gegen den gestreckten und in Opposition gerateten Daumen geführt.
  21. Beugen aller 4 Finger im Grundgelenk, Strecken in den übrigen Gelenken und starke Abduction des Daumens.
  22. Beugen der 4 Finger in allen Gelenken und Opposition des Daumens.
  23. Zusammenlegen der Finger wie zum Halten eines Federhalters oder Bleistiftes beim Schreiben (Ähnlichkeit der Bewegungen mit 20!).
  24. Spreizen aller Finger mit starker Dorsalflexion der ganzen Hand.
  25. Aneinanderlegen des 3., 4. und 5. Fingers und leichte Bewegung der Hand nach der ulnaren Seite.
  26. Beugen des 2., 3., 4. und 5. Fingers im Grundgelenk mit gleichzeitigem Beugen im Ellenbogengelenk.
  27. Faustschluß mit Beugen im Ellenbogengelenk.
  28. Strecken aller Finger, festes Aneinanderpressen von Daumen und Zeigefinger, Beugung und Pronation im Ellenbogengelenk.
  29. Greifbewegung der Hand: erst Strecken, dann Beugen aller Finger mit gleichzeitiger Adduction und Nachhintenbewegung des im Ellenbogen gebeugten Armes.
  30. Faustschluß mit Beugen im Ellenbogengelenk und Auswärtsrollen des Armes im Schultergelenk.
  31. Spreizen aller Finger mit Beugen im Ellenbogengelenk und leichtem Heben im Schultergelenk.
  32. Faustschluß mit Beugen im Ellenbogengelenk, Heben und Außendrehung des Arms im Schultergelenk.
- e) der Hand:
1. Strecken der Hand.
  2. Seitwärtsbewegung der Hand nach der radialen Seite.
  3. Seitwärtsbewegung der gestreckten Hand nach der ulnaren Seite.
  4. Beugen im Handgelenk.
  5. Dorsalflexion der Hand mit leichtem Beugen aller Finger in allen Gelenken.
  6. Strecken der Hand und aller Finger.
  7. Beugen im Handgelenk und Strecken sämtlicher Finger.
  8. Strecken der Hand und Pronation des Unterarms.
  9. Ulnarbewegung der gestreckten Hand mit gestreckten Fingern und Strecken im Ellenbogengelenk.
  10. Dorsalflexion der Hand, Beugen im Ellenbogengelenk und Heben des Armes im Schultergelenk.

f) des Unterarms:

1. Beugen im Ellenbogengelenk.
2. Strecken im Ellenbogengelenk.
3. Beugen im Ellenbogengelenk und Bewegen der Hand nach der ulnaren Seite.
4. Beugen im Ellenbogengelenk und Bewegen der Hand nach der radialen Seite.
5. Beugen im Ellenbogengelenk mit Supination.
6. Supination des Unterarms und Strecken des Daumens.
7. Beugen im Ellenbogengelenk mit Supination des Unterarms und Strecken des Daumens im Grundgelenk.
8. Beugen im Ellenbogengelenk, Strecken der Hand und der im Grundgelenk gebeugt bleibenden 4 Finger.
9. Beugen im Ellenbogengelenk mit Heben des Armes im Schultergelenk.
10. Beugen im Ellenbogengelenk mit Adduction des Armes im Schultergelenk.

g) des Oberarms:

1. Heben des Armes im Schultergelenk bis zur Horizontalen.
2. Drehung des Armes im Schultergelenk nach außen.
3. Adduction des Armes im Schultergelenk (Pectoralis).
4. Adduction des Armes im Schultergelenk verbunden mit Drehung des ganzen Armes nach innen, so daß der Ellenbogen nach vorn kommt.
5. Heben des Armes im Schultergelenk und Bewegen des ganzen Armes nach der Medianlinie (Deltoides und Pectoralis).
6. Nachaußenrollen des ganzen Armes, der im Ellenbogengelenk gebeugt ist, verbunden mit Beugung der Hand und festem Aneinanderpressen des gestreckten und vorher leicht gespreizten Daumens, Zeige- und Mittelfingers.

h) der Schulter:

1. Heben der ganzen Schulter.
  2. Zurücknehmen der ganzen Schulter und Beugen im Ellenbogengelenk.
  3. Heben der Schulter und Strecken des Daumens.
  4. *Beiderseitiges* Heben der Schultern (Hochziehen der Schultern).
- VI. Bewegungen der unteren Extremität.
1. Nachaußenrollen des ganzen Beines im Hüftgelenk.
  2. Nachinnenrollen des ganzen Beines im Hüftgelenk.
  3. Beugen des Beines im Hüftgelenk, so daß es von der Unterlage abgehoben wird.
  4. Beugen des Beines im Hüftgelenk mit gleichzeitigem leichten Beugen im Kniegelenk.
  5. Strecken im Kniegelenk.
  6. Strecken im Kniegelenk mit gleichzeitigem Strecken der großen Zehe.
  7. Strecken aller Zehen, am stärksten der großen Zehe.

Überblicken wir diese zusammengestellten Bewegungen, so fällt auf, daß nur einmal mehrmalige Bewegungen, und zwar Kaubewegungen im Sinne der rhythmischen Beobachtungen von C. und O. Vogt, die auch von Förster beim Menschen festgestellt wurden, erzielt werden konnten. Gerade diese rhythmischen Kaubewegungen wurden aber wiederholt bei einem und demselben Kranken in verschiedenen Sitzungen bei einmaliger Reizung festgestellt. Daß in dieser Zusammenstellung die Beinbewegungen so verhältnismäßig wenig vertreten sind, liegt natürlich

daran, daß die Beinzentren viel weniger leicht in den Bereich einer Palliativtrepuration hineinfallen, als die am ausgedehntesten vorliegenden Armzentren, die dementsprechend auch mit der größten Zahl von Bewegungen aufgezählt sind. Ich bin überzeugt, daß bei Fortsetzung der Untersuchungen oder auch bei noch öfterer Wiederholung der Sitzungen bei den einzelnen Kranken ich diese letzteren noch weiter hätte vermehren können, die in ihrer Zahl ganz erheblich hinter der Zusammenstellung von *Leyton* und *Sherrington* zurückbleiben. Ehe ich jedoch auf Einzelheiten in der Zusammenstellung noch etwas näher eingehen will, möchte ich noch über einige weitere Ergebnisse berichten.

In einem Falle, einem 43jährigen Mann, bei dem die Palliativtrepuration links ausgeführt worden war und wo die linke C<sub>a</sub> in größerer Ausdehnung vorlag, habe ich 3 Versuche gemacht, bei denen eine gegabelte differente Elektrode verwendet wurde und so gleichzeitig an zwei der vorgefundenen Reizpunkte gereizt wurde. Bei dem ersten Versuch war die eine Spalte der Elektrode im Gebiet des Augenfacialis aufgesetzt, die zweite Spalte der differenten Elektrode lag auf einem Punkt, der dem Unterarmgebiet angehörte. Es trat nur ein Reizerfolg im Gebiet des Augenfacialis auf, und zwar genau so, als ob der im Augenfacialis gelegene Reizpunkt allein gereizt worden wäre (Zusammenziehung des Corrugator supercilii der Gegenseite). Der Arm blieb vollständig ruhig, obwohl vorher mit der gleichen Stromstärke und auch mit einer etwas geringeren Stromstärke an der zweiten Stelle bei alleiniger Reizung eine Streckung im Ellenbogengelenk und ulnare Bewegungen der Hand mit gestreckten Fingern erzielt worden waren. Bei einem zweiten Versuch wurden die beiden Elektroden ziemlich nahe nebeneinander, jedoch auf vorher bestimmte getrennte Reizpunkte innerhalb der Armzentren aufgesetzt, von denen der eine dem Unterarm (der oben erwähnte Punkt) angehörte, während von dem anderen Punkte aus bei alleiniger Reizung eine Bewegung des Oberarmes erzielt worden war. Es traten nun bei der Reizung bei Stromschluß nur die Bewegungen des Unterarms auf, während der Oberarm sich nicht an der Bewegung beteiligte. In einem dritten und letzten Versuch habe ich die eine Elektrodenzinke wieder auf den oben genannten Punkt im Unterarmgebiet, die andere Elektrode in gleicher Höhe auf die Gegend der cyrtometrisch bestimmten C<sub>p</sub> aufgesetzt. Bei Stromschluß traten die gleichen Bewegungen auf wie bei alleiniger Reizung des Unterarmpunktes. Weitere Untersuchungen habe ich in dieser Richtung nicht angestellt, da sie mir auch zu gefährlich erschienen. Man könnte gegen die Versuche zwar einwenden, daß bei der Anwendung einer gegabelten Reizelektrode an der Stelle der differenten Elektrode die Stromdichtigkeit auf die Hälfte herabgesetzt würde, so daß eben dann die Anwendung stärkerer

Ströme notwendig wäre. Aber andererseits sinkt auch der Widerstand durch die Vergrößerung der Austrittsstelle des Stromes ganz erheblich, so daß dadurch ein Ausgleich geschaffen wird. Jedenfalls hatte ich nicht den Mut, die Stromstärke zu erhöhen, da ich befürchtete, durch eine doppelte Reizung einen epileptiformen Anfall um so leichter auszulösen und so den Kranken zu schädigen.

Die Stromstärke kann leider nur nach dem festgestellten Abstand der primären und sekundären Rolle angegeben werden. Das Maximum der verwendeten Reizstärke war ein Rollenabstand von 8,5 cm, das Minimum, das noch Reizerfolge hervorrief, war 13,5 cm und zwar in einem Falle von erheblichem Prolaps mit entsprechender Verdünnung der Haut. Vergleichen wir diese Zahlen mit den von *Leyton* und *Sherington* festgestellten, so berichten diese über gleiche Werte innerhalb der Armregion von Katze, Macacus und Schimpanse, und zwar haben sie einen Rollenabstand von 9,5—11,5 cm gefunden. Diese Werte der englischen Untersucher gestatten nur einen annähernden Vergleich mit den meinigen, da diese Forscher einen etwas anderen Induktionsapparat verwenden. Ich fand bei ein und demselben Menschen innerhalb der gleichen Sitzung doch deutliche Differenzen in der Erregbarkeit der einzelnen Gebiete. So fand ich bei einer 35jährigen Frau, die rechts eine große Palliativtrepanation erhalten hatte, als Minimalreiz für die Auslösungen der Bewegungen im Gebiete

#### Rollenabstand

des Mundfacialis . . . . .	12,0 cm
der Zunge . . . . .	11,5 cm
von Handbewegungen . . . . .	11,0 cm
von Bewegungen im Ellenbogengelenk	10,8 cm;

bei einem 43jährigen Mann, bei dem links eine Palliativtrepanation ausgeführt worden war, folgende Werte:

#### Rollenabstand

27. VIII. 1924 2. X. 1924

Augenfacialis . . . . .	12,5 cm	12,0 cm
Mundfacialis . . . . .	11,5 cm	11,5 cm
Fingerbewegungen . . . . .	11,0 cm	10,5 cm
Hand und Unterarm . . .	10,5 cm	
Oberarm . . . . .	10,5 cm	
Deltoides . . . . .		10,0 cm

Schon aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß zweifellos erhebliche individuelle Differenzen bei den von mir erhaltenen Werten bestehen. Noch deutlicher tritt dies in folgender Zusammenstellung zutage, die sich auf die Erregbarkeit der Reizpunkte für die Streckung des Daumens und die Beugung des Ellenbogengelenks bezieht.

*Streckung des Daumens*

	Rollenabstand
T., Mädchen, 20 Jahre alt, Trepanation links . . .	13,0 cm
H., Frau, 20 Jahre alt, Trepanation rechts . . .	12,0 cm
	11,5 cm
Z., Mann, 17 Jahre alt, Trepanation links . . .	12,0 cm
K., Mann, 28 Jahre alt, Trepanation links . . .	11,5 cm
W., Mann, 32 Jahre alt, Trepanation rechts . . .	10,5 cm

*Beugung im Ellenbogengelenk.*

	Rollenabstand
P., Mann, 41 Jahre alt, Trepanation links, . . .	11,0 cm
R., Mann, 35 Jahre alt, Trepanation rechts . . .	12,0 cm
W., Mann, 33 Jahre alt, Trepanation links . . .	10,0 cm
F., Mann, 38 Jahre alt, Trepanation rechts . . .	9,0 cm
M., Frau, 33 Jahre alt, Trepanation rechts . . .	$\begin{cases} 11,5 \text{ cm} \\ 11,0 \text{ cm} \\ 10,8 \text{ cm} \end{cases}$
	(in 3 verschiedenen Sitzungen)

Neben anderen Ursachen mag dies vor allen Dingen auch in der Beschaffenheit der im Bereich des Defektes liegenden Haut, ihrer Dicke, der Beschaffenheit der Dura und der weichen Hirnhäute an Ort und Stelle gelegen sein. Daß dies aber doch nicht die einzigen Ursachen sind, geht schon daraus hervor, daß in der letzten Zusammenstellung der Zahlen für die Beugung im Ellenbogengelenk bei ein und derselben Kranken M. in drei verschiedenen Sitzungen drei verschiedene Werte gefunden wurden. So wurden bei Z. an ein und derselben Stelle in 6 verschiedenen, auf 2 Jahre sich verteilenden Sitzungen für die Bewegung der Zunge nach der Gegenseite 5 verschiedene Werte gefunden, und zwar:

10,0 cm	Rollenabstand
10,7 cm	"
11,5 cm	"
12,0 cm	"
13,0 cm	"

Bei Frau H. dagegen wurde für die Streckung des Zeigefingers in allen 7 Sitzungen der gleiche Wert, ein Rollenabstand von 12 cm erhalten, und zwar ganz unabhängig davon, ob die Sitzung im Sommer oder im Winter stattfand. Warum in dem letzteren Fall der Wert sich so gleichmäßig hält, während er in anderen Fällen so erheblichen Schwankungen unterliegt, entzieht sich vollständig meiner Beurteilung, und ich möchte zunächst nur diese Tatsache feststellen. Es wurde wiederholt nach einer mit Reizversuchen angestellten Sitzung festgestellt, daß bei den Patienten die Pupillen danach etwas weiter und auch die Sehnenreflexe deutlich lebhafter geworden waren. So traten bei Prüfung des Kniephänomens wiederholt Nachzuckungen auf, während es bei Beginn der Sitzung nur schwer auszulösen gewesen war. Irgendwelche übeln oder unangenehmen Nachwirkungen, Kopfschmerzen und

dergleichen wurden nicht beobachtet. Die schon von *Fedor Krause* festgestellte Tatsache, daß eine Unterbrechung der Pyramidenbahn bei einem Menschen die Reizerfolge aufhebt, konnte auch ich wiederholt bestätigen. Alle Fälle, bei denen nach dem ganzen Befund eine Unterbrechung der Pyramidenbahn vorliegen mußte, wurden daher von vornherein für solche Untersuchungen ausgeschieden.

In einem Falle, bei R., einem 35jährigen Manne, der rechts eine Palliativtrennung erhalten hatte, war zwischen der ersten und zweiten Sitzung, die durch Monate voneinander getrennt waren, eine Lähmung des linken Armes mit erheblicher Steigerung des Anconaeus- und Unterarmperiostreflexes eingetreten. Die in der ersten Sitzung gefundenen Reizpunkte für die Bewegungen des Unterarmes sprachen in der zweiten Sitzung bei gleichstarken und auch etwas stärkeren Strömen nicht mehr an. Durch den wachsenden Tumor waren Pyramidenbahnen durchbrochen worden.

Aber auch eine andere, ebenfalls von *Fedor Krause* beschriebene Beobachtung konnte ich in einem Falle bestätigen. Obwohl eine vollständige Lähmung der Hand einschließlich der Finger und des Daumens bestand, sprachen in einem anderen Fall die Zentren des Daumens auf elektrischen Reiz noch an, während der Daumen willkürlich nicht mehr bewegt werden konnte.

Hier möchte ich auch, wieder angeregt durch eine Mitteilung *Fedor Krauses*, der gelegentlich der Stichelung der Arachnoidea zum Ablassen der Flüssigkeit vor der Reizung sah, daß dabei zustande kommende kleine Schnittchen in die Rinde mit Bewegungen beantwortet wurden, noch kurz erwähnen, daß ich gelegentlich einer von Herrn Kollegen *Guleke* ausgeführten Operation an einem 17jährigen Patienten meiner Klinik, bei der ein scharf umgrenzter Tumor aus dem rechten unteren Scheitellappen entfernt wurde, dessen Stiel nach oben und etwas nach vorn ging, bei Zerren an diesem Stiel eine ausgesprochene maximale Streckung des linken Fußes nach unten, verbunden mit einem Beugen aller Zehen beobachtet habe.

Gehe ich nun etwas näher auf die von mir erzielten Bewegungen ein, so habe ich einmal rhythmische Bewegungen, und zwar wiederholte Kaubewegungen bei einem Kranken in verschiedenen Sitzungen und immer wieder an der gleichen Stelle auslösen können. Die in der Tabelle angegebene Hebung des Kehlkopfes wie beim Schlucken trat nur als einmalige Bewegung und nicht wiederholt auf den einzelnen Reiz hin auf. Die hier in der Tabelle aufgezeichneten Bewegungen sind jeweils als erste Reizerfolge auf meine allerdings infolge der Anordnung etwas mehr flächenhaften Reizung eingetreten. Ich fand es aber erstaunlich, daß trotzdem so viele isolierte Bewegungen, z. B. des Daumens, des Zeigefingers, des 5. Fingers, ja selbst anderer Finger erzielt wurden, denn die gereizte Fläche hat doch eine Ausdehnung von

3—7 qmm, während alle anderen Untersucher bei ihren Experimenten oder auch die Chirurgen bei ihren Reizversuchen wesentlich kleinere Elektroden verwendeten. Die zusammengesetzten Bewegungen, die in der Zusammenstellung enthalten sind, sind auch stets als erster Reizerfolg an der betreffenden Stelle aufgetreten, und sie wurden an der betreffenden Stelle nach einer jeweiligen kleinen Pause wiederholt erzielt. Nur dann wurden sie in die Protokolle aufgenommen. Sehr häufig erhielt ich aber auch bei ein und derselben Person in verschiedenen Sitzungen genau an derselben Stelle verschiedene zusammengesetzte Bewegungen, wobei jedoch immer der zuerst bewegte Gliedabschnitt usw. der gleiche blieb. Die isolierten Bewegungen wurden in den verschiedensten Sitzungen immer genau an der gleichen Stelle bei ein und derselben Person erzielt. Wiederholt habe ich beobachtet, daß eine stärkere Reizung an einer Stelle, an der die Auslösung der isolierten Bewegungen vorher festgestellt war, eine von dieser isolierten Bewegung ausgehende zusammengesetzte Bewegung hervorrief, wie dies auch von den *Vogts*, von *Leyton* und *Sherrington* und anderen Untersuchern und vor allen Dingen auch von *Fedor Krause* festgestellt wurde. Wichtig scheint mir die Tatsache, daß für den Verlauf der zusammengesetzten Bewegung die Ausgangsstellung des betreffenden Gliedabschnittes nicht ohne Einfluß ist. Ich habe meist bei möglichst erschlafften Gliedern gereizt. In manchen Fällen habe ich aber z. B. dem Kranken den Auftrag gegeben, diese oder jene Handstellung einzunehmen, und reizte dann an einer Stelle, an der ich Finger oder Handbewegungen erzielt hatte. Die dann sich einstellenden Bewegungsformen wurden andere, als sie vorher bei erschlaffter Muskulatur erzielt worden waren. So wurde z. B. die oben bei Z. erwähnte Bewegung der Hand wie zum Ergreifen eines Bleistiftes bei vorher erhobener und leicht dorsal flektierter Hand erzielt. Überhaupt kann man sich, um gleich auf diese Frage einzugehen, bei vielen Bewegungen nicht dem Eindruck entziehen, den *Leyton* und *Sherrington* so klar und deutlich zum Ausdruck gebracht haben mit den Worten, daß die erzielten Bewegungen Bruchstücke von Bewegungen seien, die einem bestimmten Zwecke dienten. Bei dieser eben angeführten Bewegung (S. 329, Z., Nr. 8) oder bei der Greifbewegung (S. 329, Z., Nr. 13), wobei eine Bewegung ausgeführt wurde, als ob der Betreffende eine Kugel oder einen Stein umfassen und diesen Gegenstand an sich ziehen wolle, oder auch bei dem Erheben des ganzen Armes mit der zur Faust geballten Hand (S. 329, Nr. 18) ist der Eindruck, daß es sich um eine *Zweckbewegung* handele, wenn man sie als ersten Reizerfolg auftreten sieht, ganz überzeugend. Gerade darin scheint mir auch die große Bedeutung der Untersuchungen von *Leyton* und *Sherrington* zu liegen, die nach meinen Ergebnissen auch für den Menschen voll und ganz zutreffen!

Ich hätte selbstverständlich, wie ich schon oben erwähnte, durch weitere Untersuchungen die Liste der von mir erzielten Bewegungen, die weit hinter denen von *Leyton* und *Sherrington* zurückbleiben, noch erweitern können. Ich glaubte aber, diese Untersuchungen jetzt schon, nachdem sie einige Jahre durchgeführt sind, veröffentlichen zu können, da es doch nicht so sehr auf diese Einzelheiten, sondern auf die prinzipielle Feststellung des gleichen Verhaltens für den Menschen ankommt. Ich habe auch nicht, wie *Leyton* und *Sherrington*, zwischen primären und sekundären Bewegungen unterschieden, da, wie wiederholt hervorgehoben wurde, meine Reizung eine mehr flächenhafte war und ich alle auf eine erste Reizung an dieser Stelle erzielten Bewegungen, wenn sie bei Nachprüfungen, die durch Pausen getrennt waren, in ein und derselben Sitzung wieder auftraten, in die Liste aufgenommen habe.

Sehr wichtig und interessant erscheint mir noch die Frage, wie sich der einzelne zu diesen bei ihm durch den elektrischen Reiz ausgelösten Bewegungen stellt. Die meisten Kranken wurden durch diese Bewegungen überrascht und waren oft sehr erstaunt. Sie machten auch oft selbst auf diese Bewegungen aufmerksam. Irgendeinen Zwang, diese oder jene Bewegung ausführen zu müssen, haben auch diejenigen Kranken nicht an sich beobachten können, die dank ihres Bildungsgrades für die psychologische Selbstbeobachtung geeignet waren. Von dem Auftauchen irgendeiner Bewegungsvorstellung oder dergleichen konnte natürlich auch gar nicht die Rede sein. Ungebildete Kranke versicherten mir wiederholt, daß diese Bewegung „von allein“ käme und sie durchaus nichts dazu könnten. Ich habe wiederholt den Kranken den Auftrag gegeben, sich einmal anzustrengen, um diese oder jene Bewegung, die jetzt auftreten werde und die ich ja nach der gereizten Stelle voraussagen konnte, zu unterdrücken. So versuchte Z. wiederholt, die Zungenbewegung durch Gegeninnervation während der Reizung zu unterdrücken, jedoch ohne jeden Erfolg. Auch Daumenbewegungen bei öfters wiederholter Reizung willkürlich zu unterdrücken, gelang nicht.

Ziehen hebt in seiner Physiologischen Psychologie ausdrücklich hervor, daß beim Menschen die Region der Bewegungsvorstellungen sicherlich von der motorischen Region getrennt sei; der in den großen Ursprungszellen der motorischen Bahnen bei der Innervation sich abspielende materielle Prozeß laufe ohne psychischen Parallelprozeß ab. Auch *Leyton* und *Sherrington* betonen ausdrücklich, daß nach den Ergebnissen ihrer Exstirpationsversuche, auf die ich hier nicht eingegangen bin, die in derselben Arbeit mitgeteilt werden, diese Innervationsvorgänge *inframental* verlaufen. Wir müssen in der Tat annehmen, daß auch die motorische Region zu den Rindengebieten gehört, in denen psycho-physische Prozesse, also Vorgänge, die mit einem psychischen

Parallelprozeß verknüpft sind, nicht ablaufen. In der motorischen Region des Menschen muß auch eine ganze Menge von Bewegungskombinationen bereitliegen, die je nach dem einzelnen Zweck, der erreicht werden soll, verwendet werden. Auf die große Bedeutung derartiger Feststellungen für die *Apraxiefrage*, namentlich für die Erklärung der gliedkinetischen Apraxie, ist schon von berufenerer Seite hingewiesen worden. *Pick* hat sich in einem ausgezeichneten Referat über die Arbeit von *Leyton* und *Sherrington* gerade über diese Fragen ausführlicher geäußert, und *Liepmann* hat dazu Stellung genommen, so daß ich dem kaum etwas hinzufügen könnte, besonders da beide in der Einschätzung derartiger Untersuchungen für die gliedkinetische Apraxie einig sind!

---

### Literaturverzeichnis.

- Förster, O.:* Die Topik der Hirnrinde und ihre Bedeutung für die Motilität. 12. Jahresversamml. d. Ges. dtsch. Nervenärzte, Ref. Halle 1922. — *Förster, O.:* Zur operativen Behandlung der Epilepsie. Vortrag 15. Jahresversamml. d. Ges. dtsch. Nervenärzte 1925, Verhandl. S. 345. — *Goldstein:* Schema zum Einzeichnen von Kopf- und Gehirnverletzungen. München: J. F. Bergmann 1916. — *Krause, Fedor:* Chirurgie des Gehirns und Rückenmarks. S. 157ff. 1911. — *Krause, Fedor:* Die Sehbahn in chirurgischer Beziehung. Klin. Wochenschr. 1924, S. 1261. — *Leyton* und *Sherrington:* Observations on the excitatory cortex of the Chimpanzee, Orang-Utan and Gorilla. Quart. journ. of exp. psychol. 11, Nr. 2, S. 135. 1917. — *Liepmann:* Referat über Picks Diskussionsbemerkungen. Zentralbl. f. d. ges. Neurol. u. Psychiatrie 27, 445. 1922. — *Pick:* Diskussionsbemerkungen zur Physiologie der gliedkinetischen Apraxie. Abhandlungen üb. Neurol. Beih. z. Monatsschrift f. Psychiatrie u. Neurol. 1921. H. 13, S. 194. — *Vogt, C.* und *O.:* Zur Kenntnis der elektrisch erregbaren Hirnrindengebiete bei den Säugetieren. Journ. f. Psychol. u. Neurol. 8, Erg.-H., S. 272. 1906/07. — *Vogt, C.* und *O.:* Die physiologische Bedeutung der architektonischen Rindenfelderung auf Grund der Rindenreizung. Journ. f. Psychol. u. Neurol. 25, Erg.-H. 1, S. 399. 1919. — *Vogt, C.* und *O.:* Erkrankungen der Großhirnrinde. Journ. f. Psychol. u. Neurol. 28, Tafel 10, 1w, S. 69, 73f. u. 76. 1922. — *Ziehen:* Leitfaden der physiologischen Psychologie, 12. Aufl., S. 531. Jena 1924.

### II. Teil.

#### Über die Messung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Nerven-erregung in den zentralen Abschnitten des menschlichen Nervensystems.

Durch die klassischen Untersuchungen von *Helmholtz* ist zuerst die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im menschlichen Nerven bestimmt worden. Diese Untersuchungen sind von einer Reihe von Forschern bestätigt worden, wenn auch die gewonnenen Zahlenwerte von den von *Helmholtz* zuerst gefundenen etwas abweichen. Von den neueren Untersuchungen sind namentlich diejenigen von Bedeutung, die das Auftreten des Aktionsstromes für die Zeitmessung benutzten. Mit

dieser Methode fand *Pieper* einen Wert von 120 Sekundenmetern für den menschlichen motorischen Nerven, *Münnich* jedoch mit der gleichen Methode nur Werte von 67—69 Sekundenmetern, also Werte, die den *Helmholzschen* Zahlen wesentlich näher stehen. *P. Hoffmann* endlich, der nach seinen Untersuchungen die *Münnichschen* Zahlen für die wertvollsten hält, hat in einem Falle die Nervenleitung auf 87 Sekundenmeter bestimmt. Während diese für den menschlichen motorischen Nerven hier angeführten Werte immer noch erheblich voneinander abweichen, ist die Leitungsgeschwindigkeit innerhalb des menschlichen Gehirns und Rückenmarks fast ganz unbekannt. *Exner* hat zwar schon 1873 den Versuch gemacht, die Leitungsgeschwindigkeit für das menschliche Rückenmark zu bestimmen. Er kommt zu einem Zahlenwert von 8 Sekundenmetern für die sensible und von 11—12 Sekundenmetern oder auch 14—15 Sekundenmetern für die motorische Leitung innerhalb des Rückenmarks. Er bezeichnet aber selbst diese Zahlenwerte als noch ziemlich unsicher. Sonst sind mir nur noch die Werte von *Burckhardt* bekannt, der nach *Vierordt* für die motorische Leitung im Rückenmark einen Wert von 8—14 Sekundenmetern gefunden haben soll. Diese Werte stehen in guter Übereinstimmung mit den *Exnerschen* Ergebnissen.

Es lag natürlich der Gedanke sehr nahe, die im ersten Teil ausführlicher besprochenen Ergebnisse zu zeitmessenden Untersuchungen zu verwenden. Die Möglichkeit der Wiederholung dieser Messungen in verschiedenen Sitzungen, der Umstand, daß sich bei diesen Versuchen die Rinde unter physiologischen Bedingungen befindet und weder der Austrocknung noch der Abkühlung ausgesetzt ist, und bei denen der Betreffende auch nicht unter dem Eindruck und den Nachwirkungen einer gerade bei ihm stattfindenden schweren Operation steht, ließen solche Untersuchungen um so aussichtsvoller erscheinen. Ich habe daher auch diese Gelegenheit benutzt und habe über 200 Messungen in 27 Sitzungen an 8 Personen vorgenommen, von denen jedoch nur 161 Messungen bei 7 Personen gelangen.

Es wurde bei dieser Messung in zweifacher Weise vorgegangen. Zunächst wurde die mechanische Registrierung der durch den Reiz ausgelösten Bewegung verwendet zum Zwecke, um mehr allgemeine Feststellungen zu machen. Es wurde dabei so vorgegangen, daß namentlich Finger-, Hand- oder auch Armbewegungen, die, wie im ersten Teil erwähnt, bei den Reizungen am häufigsten auftraten, zu diesen Messungen herangezogen wurden. In einfachster Weise geschah die Registrierung der mechanischen Erfolge so, daß z. B. der Zeigefinger einen metallenen, in einem Stromkreis eingeschalteten Fingerhut erhielt, der ebenso wie die ganze Hand auf einer von dem gleichen Stromkreis durchflossenen Kupferplatte ruhte. Machte der Zeigefinger in-

folge einer zentralen Reizung z. B. eine Streckbewegung, so kam er von der Kupferplatte ab und der Augenblick der Unterbrechung des Kontaktes wurde durch ein Deprezsignal auf der mit großer Geschwindigkeit rotierenden beruften Kymographiontrommel verzeichnet. Zur Zeitmessung dienten *Helmholtzsche* elektro-magnetische Stimmgabeln von 250 u. 500 Schwingungen in der Sekunde. Einige Schwierigkeiten machte die Feststellung des Zeitmomentes der Reizung bei dieser Anordnung. Es wurde dabei in doppelter Weise vorgegangen. Da natürlich die Einwirkung des Stromes auf die menschliche Rinde höchstens eine Sekunde oder besser nur Bruchteile davon dauern durfte, um nicht irgendwelche Nachwirkungen und Schädigungen, auf die im ersten Teile ausführlich hingewiesen wurde, hervorzurufen, so wurde anfänglich die Reizelektrode auf den auf der Haut markierten Reizpunkt aufgesetzt. Im sekundären Stromkreis befand sich ein metallener Nebenschluß, der durch den Zeiger des Universalkontaktapparates aufgeschlagen wurde. Nunmehr ging der Strom mit ganzer Stärke durch den Körper und rief die beobachteten Reizerfolge hervor. Als indifferente Elektrode diente die auf der Brust oder dem Bauch aufliegende, 200 qcm umfassende Plattenelektrode, als Reizelektrode die im ersten Teil an jener Stelle beschriebene Knopfelektrode. Der Augenblick des Reizes wurde nun durch 2 Kontakte, die momentan unterbrochen wurden und ebenfalls mit einem Deprezsignal verbunden waren, festgelegt. Der erste Kontakt stand genau 9 Grad der Kreiseinteilung des Universalkontaktapparates vor dem Unterbrechungskontakt, der den Nebenschluß des sekundären Stromes aufschlug, der zweite Kontakt ebenfalls 9 Grad hinter diesem, so daß an der Hand dieser beiden Signale die Zeit des Stromeinbruchs genau bestimmt werden konnte. Bei dieser Anordnung fließt immerhin längere Zeit der sekundäre Strom, wenn auch auf ein Minimum abgeschwächt, durch den Körper. Seine Stärke steht zu denjenigen der Stromes im metallischen Nebenschluß im umgekehrten Verhältnis des Widerstandes. Der Widerstand des Körpers wurde bei meiner Anordnung auf 4000 bis 12000  $\Omega$  bestimmt. Ich traf, um allen Summationswirkungen aus dem Wege zu gehen, später die Anordnung so, daß durch einen Platinschleifkontakt, der an dem Rande des Universalkontaktapparates angebracht wurde, der primäre Strom des Induktionsapparates nur für 20—45  $\sigma$  geschlossen wurde, nachdem ich mich überzeugt hatte, daß diese kurze und daher sehr viel ungefährlichere Reizzeit zur Erregung der menschlichen motorischen Hirnrinde ausreichte. Der Moment des Stromeinbruches wurde in der gleichen Weise wie bei Aufhebung des Nebenschlusses des sekundären Stromes verzeichnet. Der Reizpunkt, der für die Messung verwendet werden sollte, war in einer mehrere Tage vorher, manchmal auch eine Woche vorher stattgehabten Sitzung bestimmt und durch Schwärzung mit einem Höllensteinstift

festgelegt worden, so daß er bei der Messungssitzung sofort wieder aufgefunden werden konnte. Die Reizung fand stets in Gegenwart eines zweiten Arztes und einer Schwester statt. Die zu untersuchende Person wurde bequem auf ein Lager gebettet, wobei irgendwelche besonderen Entblößungen nicht notwendig waren. Die Meßapparate befanden sich in einem anderen Zimmer. Durch ein von mir gegebenes Signal teilte ich einem im Nebenzimmer am Kymographion tätigen Gehilfen jeweils mit, wenn er dieses in Bewegung setzen sollte. Ich habe stets die Reizung selbst vorgenommen. Ich überwachte dabei genau den Kranken. Der Kollege gab Obacht, daß der Kontakt am Finger usw. immer in der gleichen Weise auf der Platte auflag, und er wurde dabei auch durch die anwesende Schwester mit unterstützt. Der Gehilfe am Kymographion überwachte die schreibenden Hebel genau und arretierte das Gehwerk auf ein zweites von mir gegebenes Signal, wenn der einzelne Reizversuch vorüber war. Eine bei vielen dieser Messungen ebenfalls im Nebenzimmer untergebrachte Laborantin notierte den Zeitpunkt der Reizung nach Minute und Sekunde, so daß die zeitliche Folge der einzelnen Reizung auch festgelegt wurde. Die Reizungen sollten nicht zu rasch aufeinanderfolgen und andererseits auch möglichst kurz dauern. Als ich zu einer Reizezeit von 20—45 σ übergegangen war, waren ja irgendwelche Summationswirkungen nicht mehr zu fürchten. Diese Reizungen wurden stets mit dem geringsten Rollenabstand ausgeführt, der in einer der früheren Sitzungen gerade für diesen Reizpunkt als ausreichend festgestellt war, und nur ausnahmsweise wurde der Strom in vereinzelten Fällen über diese untere Grenze hinaus verstärkt. Bei einem solchen Vorgehen hielt ich die Untersuchungen für durchaus unbedenklich und ich habe auch keine übeln oder auch nur für die Versuchsperson unangenehmen Nachwirkungen gesehen. Allerdings habe ich vorsichtshalber genau wie bei den Untersuchungen über die Feststellung der Reizpunkte nach den Sitzungen, die zur Messung dienten, am Abend stets 0,1 Luminal verabreichen lassen.

Die einzelnen Messungssitzungen bei ein und derselben Person waren durch Wochen, meist sogar durch Monate voneinander getrennt. Trotz aller Bemühungen sind mir Messungen bei manchen mich sehr interessierenden Bewegungen gänzlich mißlungen. So gelang es mir z. B. nicht, den Beginn der Bewegung des Corrugator supercilii, der in einem Falle so deutlich ansprach, graphisch festzuhalten. Meine Versuche mit dem Lidschlüssel schlugen trotz aller Bemühungen fehl. Natürlich wollte ich den betreffenden Kranken auch nicht allzu lange plagen. Ebenso ging es mir mit dem Versuch, Zungenbewegungen zu Messungen zu verwenden, obwohl die Versuchsperson rührrend geduldig war und sich bemühte, der ihr gestellten Aufgabe, die Zunge eine Zeitlang ruhig zu halten, nachzukommen. Am besten gelang die Registrierung der

Finger-, Hand- oder Armbewegungen, wobei außer dem oben schon erwähnten metallenen Fingerhut auch Kupferarmbänder und ähnliche Vorrichtungen verwendet wurden.

Ich will zunächst auf die mit dieser mechanischen Registrierung des Bewegungsanfangs gewonnenen Zahlenwerte eingehen. Ich fand z. B. bei dem schon S. 329 erwähnten 17 jährigen Z. für die Zeit zwischen Rindenreizung und Adduction des Oberarmes (*Musculus pectoralis*) in 7 Messungen folgende Werte:

0,218 Sek.  
0,117 Sek.  
0,195 Sek.  
0,197 Sek.  
0,220 Sek.  
0,207 Sek.  
0,197 Sek.

also im Mittel = 0,193 Sek.

Folgen die Reizungen in den Sitzungen verhältnismäßig rasch aufeinander, so konnte man bei Z. folgendes Verhalten feststellen, das am besten die Zahlen zeigen, die die Zeit bis zur Beugung des Unterarms (mechanisch registriert) angeben. In 5 Messungen, die aufeinander folgten, wurden nachstehende Ergebnisse festgestellt:

0,217 Sek.  
0,134 Sek.  
0,280 Sek.  
0,168 Sek.  
0,277 Sek.

Es trat also eine deutliche Periodizität auf; auf eine längere Zeit, die zwischen Reiz und Bewegungsbeginn verfloß, folgt eine kürzere, und dies wiederholt sich mehrere Male. Als Mittelwert für die Zeit vom Reiz bis zur Beugung des Unterarms wurde bei Z. 0,217 Sek. gefunden.

Abgesehen von diesen Schwankungen in der erforderlichen Zeit wurde wiederholt bei solchen Gelegenheiten festgestellt, daß unvermittelt der betreffende Reizpunkt bei der gleichen Stromstärke nicht mehr auf den Reiz ansprach. Dabei konnte jedoch einwandfrei festgestellt werden, daß die von diesem Reizpunkt aus sonst erzielte Bewegung auch nach dem Versagen des elektrischen Reizes *willkürlich* noch genau so ausgeführt werden konnte wie früher. Nach einer kleinen Pause war auch die Erregbarkeit gegenüber dem elektrischen Strom wieder vorhanden, und zwar genau bei der gleichen Stromstärke wie früher. So fand ich bei einer 33 jährigen Frau, die auf der rechten Seite eine große Palliativtrepidation hatte, in einer Sitzung, bei der nur ganz kurze Reizzeiten verwendet wurden, für die Beugung des Unterarms folgende Werte:

1. 0,112 Sek.
2. 1 Min. 8 Sek. nach 1.: 0,086 Sek.
3. 10 Sek. später: kein Reizerfolg.
4. 27 Sek. später, also 37 Sek. nach 2.: 0,090 Sek.
5. 1 Min. 6 Sek. später: kein Reizerfolg.
6. 49 Sek. später, also 1 Min. 55 Sek. nach 4.: 0,177 Sek.
7. 36 Sek. später: kein Reizerfolg.
8. 46 Sek. später, also 1 Min. 22 Sek. nach 6.: 0,183 Sek.

Man ersieht aus dieser Zusammenstellung, daß im Verlauf der Sitzung die erforderliche Zeit zwischen Reiz und Beginn der Bewegung immer länger wird. Als Mittelwert wurde für diese Frau M. für die Bewegungen des Unterarmes aus diesen oben angegebenen und in anderen Sitzungen bei ihr gewonnenen Zahlen 0,113 Sek. errechnet.

Es ergibt sich aus dieser oben mitgeteilten Zusammenstellung, die also genaue zeitliche Angaben über die Reizfolge enthält, wie notwendig es ist, zwischen den einzelnen Reizen längere Pausen einzuschieben; nur dann erhält man gleichmäßige Ergebnisse.

Bei einem 43jährigen Mann L. L., der links in der Gegend der motorischen Region eine große Palliativtrepanation aufwies, wurde unter diesen Versuchsmaßregeln in mehreren Sitzungen die Zeit für eine Bewegung des rechten Oberarms im Schultergelenk nach außen (Außenrotation) im Mittel auf 0,146 Sek. und die Zeit für die Beugung des rechten 2.—4. Fingers im Grundgelenk auf 0,134 Sek. im Mittel bestimmt.

Bei einem 49jährigen Mann N., der rechts eine große Palliativtrepanation aufwies, wurde die Zeit für die Außenrollung des linken Oberarms auf 0,131 Sek. im Mittel aus einer größeren Anzahl von Bestimmungen errechnet.

Interessante Ergebnisse hatten die Messungen bei der schon im ersten Teil ausführlicher besprochenen Frau E. H. (S. 330). Es wurde bei ihr in einer größeren Anzahl von Sitzungen, die durch Monate voneinander getrennt waren, die Zeiten bestimmt, die zwischen Reizung und Streckung des Zeigefingers lagen. Obwohl zwischen den einzelnen Reizungen in den jeweiligen Sitzungen größere Pausen eingeschoben wurden, wurden doch auffallend hohe Zeitwerte festgestellt. So ergab sich aus 24 Einzelmessungen als Mittelzahl für die Streckung des Zeigefingers bei mechanischer Registrierung ein Wert von 0,278 Sek. In demselben Falle wurde für die Streckung des Daumens ein Mittelwert von 0,269 Sek., also ebenfalls ein ähnlich hoher Wert, ermittelt. Wenn man bedenkt, daß die einfache Reaktionszeit auf Schallreize bei einem Ungeübten wie Z. ohne vorangehendes Signal 0,227 Sek. beträgt, so wird man diesen Wert auffallend hoch finden. Dabei konnte ich gerade bei Frau H. wiederholt feststellen, daß bei den Messungen, nachdem mehrere Male an dem genau festgestellten Reizpunkt der Strom eingewirkt hatte, nun auch von ganz anderen Punkten, die vorher ein-

348 H. Berger: Physiologie der motorischen Region des Menschen und  
wandfrei unerregbar gefunden worden waren, ebenfalls eine Streckung  
des Zeigefingers erzielt werden konnte.

Die Methode der mechanischen Registrierung gestattet zwar, ganz interessante allgemeine Feststellungen zu machen. Sie ist aber ungeeignet, wie das von allen neueren Untersuchern hervorgehoben worden ist, für genauere Messungen in dem oben angedeuteten Sinne, da die Zeit, welche bei der mechanischen Registrierung zwischen dem Ansprechen des Muskels und dem Bewegen des Erfolgsgliedes verfließt, eine sehr lange und vor allen Dingen auch bei ein und derselben Anordnung bei verschiedenen Versuchspersonen eine verschiedene ist. Ja, sie kann sogar bei ein und derselben Versuchsperson in verschiedenen Sitzungen eine verschiedene sein. Es hängt dies eben nicht nur vom Muskel, sondern auch von der Anordnung der Sehne, ihrem Ansatzpunkt am Knochen und anderen Momenten mehr, auf die hier nicht eingegangen werden kann, ab. Im allgemeinen kommt man nur dann weiter, wenn man zu einer anderen Methode bei diesen genauen zeitmessenden Versuchen, bei denen es sich nicht wie bei den oben angeführten Untersuchungen lediglich um Vergleiche handelt, übergeht. Es ist dies die von *Bernstein* zuerst in die Physiologie eingeführte und zu Zeitmessungen verwendete Aufzeichnung der Aktionsströme des gereizten Muskels. Die von mir dabei verwendete Anordnung war folgende:

Es wurden von dem Muskel, welcher an der bei der Rindenreizung erzielten Bewegung vorwiegend oder auch ganz allein beteiligt war, die Aktionsströme mit Hilfe des großen *Edelmannschen* Saitengalvanometers aufgenommen. Auch hier war die Versuchsanordnung so, daß Versuchsperson und Saitengalvanometer in verschiedenen Räumen untergebracht wurden. Im übrigen wurde genau so verfahren wie bei den anderen Messungen, jedoch konnte wegen der Induktion auf die Saite nur das zweite der oben angeführten Verfahren zur Anwendung kommen. Das heißt also: Es wurde der primäre Strom mit Hilfe eines an dem Universalkontaktapparat angebrachten Schleifkontakte nur für 20—45 σ geschlossen und dann sofort wieder unterbrochen. Eine besondere Markierung des Momentes der Reizung ist wegen der momentanen Einwirkung des einbrechenden Stromes auf die Saite und einer dadurch bedingten, auf der photographischen Kurve leicht zu erkennenden Schwankung derselben gar nicht nötig. Um aber diese Schwankung gleich sicher an der Reizungsstelle zu suchen, wurde doch wie bei der früheren mechanischen Registrierung die Zeit des Stromeinbruches außerdem noch durch zwei aufeinanderfolgende Markierungen, zwischen denen der Reiz begann, festgestellt. Die Aktionsströme wurden nach einem Vorschlag von *Trendelenburg* mittels Nadel-elektroden, die verzinkt mit einer Platte versehen und bis an die Spitze mit Schellack überzogen waren, aufgenommen. Diese Nadeln wurden

durch die Haut und in den Muskel eingestochen. Zur Aufnahme wurde meist eine dünne Platinsaite und nur ausnahmsweise eine versilberte Quarzsaiten verwendet. Zur Zeitschreibung diente eine elektromagnetische Stimmgabel von 100 Schwingungen in der Sekunde. Meist wurde mit der Untersuchung der Aktionsströme die mechanische Registrierung in der vorher angegebenen Weise verbunden.

Zunächst wurde gewöhnlich eine Kurve der Aktionsströme des betreffenden Muskels bei einer kräftigen aktiven Innervation aufgenommen und dabei auch der Zeitpunkt zwischen dem Auftreten der Aktionsströme und dem Beginn der mechanischen Registrierung, die mit Hilfe eines Deprezssignals erfolgte, festgelegt. Dann wurden bei Rindenreizung von dem gleichen Muskel Aktionsströme aufgenommen, wobei die Reizeinwirkung meist nur 20—45 σ, nur ganz ausnahmsweise größere Bruchteile einer Sekunde betrug. Die Verteilung der einzelnen Sitzungen auch bei ein und derselben Person auf Wochen und Monate brachte es mit sich, daß bei demselben Kranken sowohl die einfache mechanische Registrierung, als auch die Aufnahme von Aktionsströmen zur Anwendung kamen. Ich will hier auf die Einzelheiten nicht eingehen, möchte aber doch hervorheben, daß bei einem jüngeren Patienten H., bei dem eine große Palliativtrennung über der linken Hemisphäre ausgeführt worden war, ganz ähnlich wie bei Frau E. H. ganz auffallend hohe Zeitwerte bei der mechanischen Registrierung der Streckung des 2.—5. Fingers festgestellt wurden. Es fand sich da mit der ersten Methode (nur mechanische Registrierung) ein Mittelwert von 0,301 Sek. Die Aufnahme der Aktionsströme zeigte, daß dieser hohe Wert sicherlich nicht auf die mechanische Registrierung zurückzuführen ist, denn auch der Aktionsstrom trat im Mittel erst 0,221 Sek. nach der zentralen Reizung auf. Wenn man berücksichtigt, daß sowohl gerade in diesem Fall, als auch bei Frau E. H. ein erheblicher Prolaps nach der Palliativtrennung eingetreten war und demnach zur Zeit der Messung noch eine bedeutende intracraniale Drucksteigerung bestand, so wird man diese Verzögerung des Reizerfolges auf den durch den Druck veränderten Zustand der motorischen Rinde oder auch der von ihr ausgehenden Pyramidenfasern beziehen können, eine Frage, auf die wir unten nochmals kurz zurückkommen. Jedenfalls möchte ich schon hier betonen, daß ich solche hohen Werte für pathologisch halte und daher bei der weiteren Verwertung der Messungen solche Ergebnisse nicht heranziehen will.

Dagegen scheinen mir die Ergebnisse in den folgenden beiden Fällen, bei denen die Entlastungstrennung längere Zeit, in einem Falle mehrere Jahre, zurücklag und wo bei beiden vollständig normale Verhältnisse vorlagen, von besonderer Bedeutung. Ich will sie daher auch etwas ausführlicher mitteilen.

Bei dem 17jährigen Z., von dem schon im ersten Teil und auch oben ausführlicher die Rede war, wurde die durch die Reizung erzielte Streckung des rechten Zeigefingers genau untersucht und in ihrem zeitlichen Ablauf gemessen. Bis zum Eintritt der Bewegung, die durch einen am Zeigefinger angebrachten Kontakt, der bei seiner Streckung unterbrochen wurde, zeitlich festgelegt wurde, verflossen in 20 der besten Versuche folgende Zeitwerte:

0,180 Sek.	0,166 Sek.	0,205 Sek.	0,205 Sek.
0,232 Sek.	0,200 Sek.	0,220 Sek.	0,145 Sek.
0,206 Sek.	0,236 Sek.	0,165 Sek.	0,195 Sek.
0,174 Sek.	0,176 Sek.	0,155 Sek.	0,127 Sek.
0,200 Sek.	0,160 Sek.	0,140 Sek.	0,145 Sek.

Dieses ergibt einen Mittelwert von 0,182 Sek.

Bis zum Eintritt des Aktionsstromes verfloß in 11 gut gelungenen und zur Messung geeigneten Versuchen folgende Zeit:

0,090 Sek.	0,090 Sek.	0,090 Sek.
0,113 Sek.	0,095 Sek.	0,078 Sek.
0,095 Sek.	0,095 Sek.	0,085 Sek.
0,095 Sek.	0,110 Sek.	

Dies ergibt einen Mittelwert von 0,094 Sek.

Die Zeit zwischen dem Auftreten des Aktionsstromes und dem Beginn der mechanischen Bewegungsregistrierung, wozu auch die Versuche mit aktiver Innervation verwendet werden konnten, wurde aus 18 Kurven ermittelt. Sie ergab:

0,070 Sek.	0,063 Sek.	0,050 Sek.
0,110 Sek.	0,060 Sek.	0,110 Sek.
0,115 Sek.	0,070 Sek.	0,080 Sek.
0,115 Sek.	0,107 Sek.	0,085 Sek.
0,085 Sek.	0,070 Sek.	0,050 Sek.
0,060 Sek.	0,060 Sek.	0,060 Sek.

also im Mittel 0,079 Sek.

Bei einer aktiven Streckung des Zeigefingers wurde vom Extensor digitorum communis die Aktionsstromkurve erhalten Abb. 2.

Bei einer Rindenreizung an der Stelle, von der aus eine Streckung des Zeigefingers erzielt wurde, wurde bei genau der gleichen Lage der Nadel-elektroden und den übrigen gleichen Versuchsbedingungen kurze Zeit nach der hier als Abb. 2 wiedergegebenen Kurve die Kurve Abb. 3 erhalten.

Bei dieser Kurve ist der Moment der Schließung des primären Stromes durch eine kurze Zuckung der Saite zu erkennen. Es setzen dann nach einiger Zeit sehr lebhafte Aktionsströme ein, und die oberste Linie gibt den Zeitpunkt der mechanischen Registrierung an. Es wurde in diesem Fall ausnahmsweise nach einer entsprechenden Pause ein etwas stärkerer Strom, und zwar bei einem Rollenabstand von 11,5 cm bei sonst genau gleichen Versuchsbedingungen angewendet. So wurde Abb. 4 erzielt, bei der die Zeit des Einbruchs des Stromes nicht an-

gegeben ist. Man sieht in diesem Falle, daß die Amplituden der Schwankungen der Aktionsströme erheblich größere sind. Bei Z. sind auch bei der Rindenreizung die Schwankungen der Aktionsströme höher, wenn

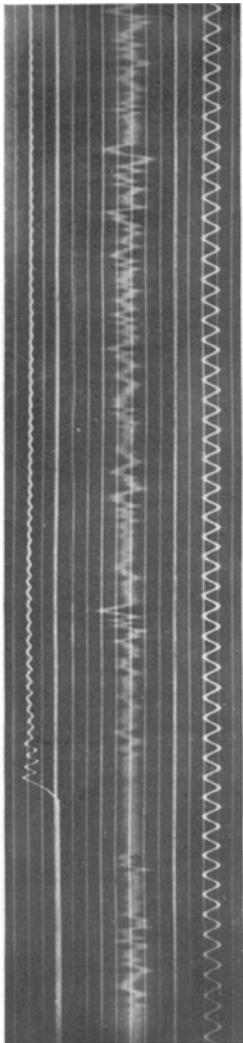


Abb. 2. Quarzsaiten von  $4600 \Omega$ ; Empfindlichkeit = 0,9 cm; Länge der Nadelelektroden = 0,75 cm; Entfernung der beiden Nadeln voneinander = 6,2 cm; Widerstand =  $1700 \Omega$ . Stimmgabel von 100 Schwingungen in 1 Sek.

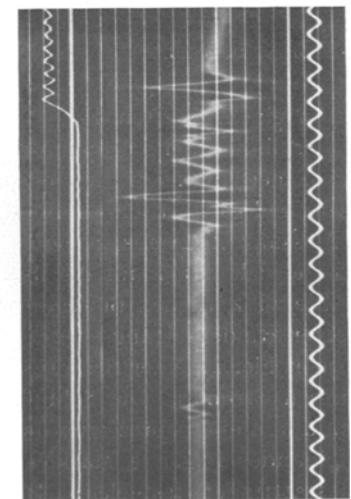


Abb. 3. Quarzsaiten von  $4600 \Omega$ ; Empfindlichkeit = 0,9 cm; Länge der Nadelelektroden = 0,75 cm; Entfernung der beiden Nadeln voneinander = 6,2 cm; Widerstand  $1700 \Omega$ ; Rollenabstand = 12 cm. Stimmskala von 100 Schwingungen in 1 Sek.

auch von gleichem Rhythmus, wie bei der willkürlichen Kontraktion. Dieses ist nach meinen Erfahrungen keineswegs immer der Fall. Ich habe in anderen Fällen auch das Umgekehrte gesehen, daß die Amplituden der Welle bei der Willküraktion erheblich höher sind als bei der Rindenreizung. Ich möchte darauf ausdrücklich hinweisen.

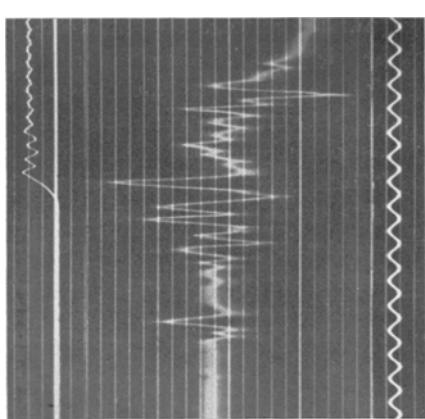


Abb. 4. Quarzsaiten von  $4600 \Omega$ , Empfindlichkeit = 0,9 cm; Länge der Nadelelektroden = 0,75 cm; Entfernung der beiden Nadeln voneinander = 6,2 cm; Widerstand  $1700 \Omega$ ; Rollenabstand = 11,5 cm; Stimmgabel von 100 Schwingungen in 1 Sek.

Vergleichen wir aber diese hier erhaltenen Werte mit den bei F. H. oder H. S. 350 unter den gleichen Bedingungen gewonnenen, so ergibt sich ohne weiteres, daß dort eine erhebliche Verzögerung vorliegen muß, die eben diese Werte mir als pathologisch erscheinen läßt. Ich möchte sie, wie gesagt, auf den gesteigerten Hirndruck zurückführen und erinnere an die Tatsache, daß bei gesteigertem Hirndruck auch ohne jede Unterbrechung des Reflexbogens die Ansprechbarkeit der Rückenmarksreflexe ganz schwinden kann. Die bei Z. erhaltenen Werte entsprechen dagegen nach meiner Ansicht den normalen Werten, da ich bei wiederholten Feststellungen der einfachen Reaktionszeit bei Z. normale Werte für diese, bei denen Reaktionen der rechten Hand verwendet wurden, erzielte. So fand ich für die einfache Reaktionszeit für Schallreize bei Z., wobei eine herabfallende Metallkugel auf eine Metallplatte aufschlug und als Reiz verwendet wurde, einen Mittelwert bei allerdings nur 10 Versuchen von 0,227 Sek. Dieser Wert, der bei Versuchen ohne ein dem Reiz vorangehendes Signal gewonnen wurde, entspricht durchaus dem normalen Wert, wenn man bedenkt, daß man es mit einem in allen psychologischen Untersuchungen völlig ungeübten jugendlichen Arbeiter zu tun hat und berücksichtigt, daß Kiesow bei seinen gebildeten Versuchspersonen bei ähnlicher Anordnung einen Mittelwert von 0,192 Sek. ermittelt hat. Die hier gewonnene Zahl der Zeit von 0,094 Sek. zwischen zentraler Reizung und Auftreten des Aktionsstromes betrachte ich als das wertvollste Ergebnis dieser Untersuchungen.

Auch in einem zweiten Fall bei einem 32jährigen Kaufmann W., der auf der linken Seite trepaniert worden war, bei dem zur Zeit der Messung keinerlei Hirndruckscheinungen mehr bestanden und der wieder voll und ganz in seinem Berufe tätig war, wurden sehr gute und für die Messung durchaus geeignete photographische Kurven erzielt. Es handelte sich dabei um die Beugung des Unterarmes durch den Biceps. Die willkürlichen Bewegungen ergaben folgendes Bild (Abb. 5).

Bei einer Rindenreizung ergab sich die folgende Kurve (Abb. 6).

Man sieht hier an einer Schwankung der Saite die Zeit des Schlusses des primären Stromes. Die Schlußzeit beträgt nur  $20\sigma$ . Die Zeit ist außerdem durch ein Deprezsignal in der oben angegebenen Weise durch zwei aufeinander folgende Markierungen, zwischen denen der Stromeinbruch stattfindet, festgelegt. Die oberste Linie gibt, ebenfalls mit einem Deprezsignal aufgenommen, die mechanische Registrierung an. Die mechanische Registrierung erfolgte durch ein Kupferarmband, das, am rechten Handgelenk angebracht, auf einer Kupferplatte aufliegend, durch Abheben den Zeitpunkt des Beginns der Armbeugung festlegte. Man sieht hier z. B., daß die Amplitude der Saitenschwingungen bei der Rindenreizung etwas geringer ist als bei der willkürlichen Bewegung.

Die bei W. erzielten mittleren Werte sind:

für die Zeit von der Rindenreizung bis zur mechanischen Registrierung . . . . . = 0,155 Sek.

für die Zeit bis zum Auftreten des Aktionsstromes . . . . . = 0,105 Sek.

für die Zeit zwischen dem Auftreten des Aktionsstromes und dem Beginn der mechanischen Registrierung = 0,050 Sek.

Ich glaube, daß auch diese Zahl, welche in der Mitte steht zwischen den bei der mechanischen Registrierung bei Z. und bei Frau M. für die gleichen Bewegungen gefundenen Zahlen, einen Normalwert darstellt und der weiteren Bearbeitung wert ist.

Man kann diese beiden Werte, den Wert von 0,094 Sek. für Z. bis zum Eintritt des Aktionsstromes des Musculus extensor digitorum communis, und den Wert von 0,105 Sek. bis zum Eintritt des Aktionsstromes des Biceps bei W., unbedenklich zur Ermittlung der in der Überschrift angegebenen Werte verwenden.

Z., der von schwächlichem Körperbau ist, zeigt einen ausreichenden Ernährungszustand und hat eine Körpergröße von 159 cm. Von der Einstichstelle der oberen Nadelelektrode im Extensor digitorum communis bis zur Höhe des Processus spinosus des 5. Halswirbels habe ich unter Berücksichtigung des Verlaufs der Nervenstämmme innerhalb des Plexus brachialis und am Arm eine Entfernung von ungefähr 50 cm durch wiederholte Messungen bei ihm ermittelt. Bei einer Fortpflanzungsgeschwindigkeit im motorischen menschlichen Oberarmnerven von 68 m nach Münnich würde

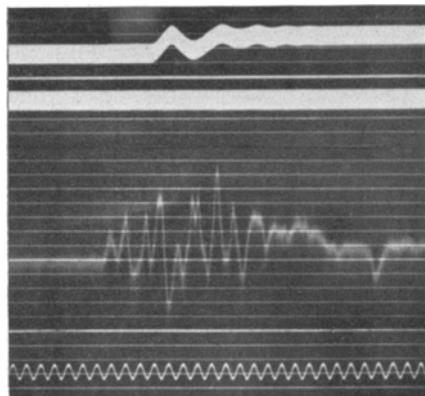


Abb. 5. Platinsaite von  $10800 \Omega$ ; Empfindlichkeit = 0,75 cm; Länge der Nadelelektroden = 1,0 cm; Entfernung der Elektroden voneinander = 5,5 cm; Widerstand =  $1100 \Omega$ . Stimmgabel von 100 Schwingungen in 1 Sek.

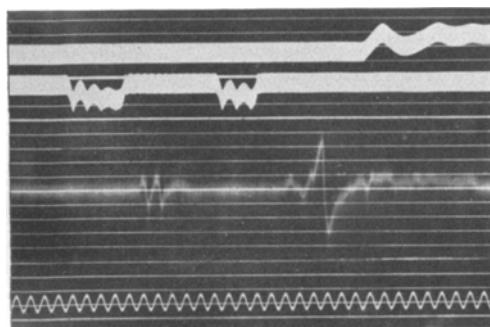


Abb. 6. Platinsaite von  $10800 \Omega$ ; Empfindlichkeit = 0,75 cm; Länge der Nadelelektroden = 1,0 cm; Entfernung der Elektroden voneinander = 5,5 cm; Widerstand  $1100 \Omega$ ; Rollenabstand = 12 cm. Stimmgabel von 100 Schwingungen in 1 Sek.

diese Strecke in 0,0074 Sek. durchlaufen. Zieht man diese Zeit für die periphere Leitung von dem Werte von 0,0940 Sek. ab, so bleibt ein Wert von 0,0866 Sek. In diesem Werte ist noch enthalten die Latenzzeit der Nervenendorgane im Muskel und die Latenzzeit des Muskels selbst. Aus den Feststellungen von *Pieper* ergibt sich unter Zugrundelegung der von *Münnich* gefundenen Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 68 m für die Latenzzeit der Nervenendorgane und die Latenzzeit des Muskels ein Wert von 0,00293 Sek. Dabei fällt der Hauptwert von diesen etwa  $3\sigma$  auf die Latenzzeit der Nervenendorgane, während die Latenzzeit des Muskels nach *Sandersohn* weniger als  $1\sigma$  beträgt. Rechnen wir diesen Wert von 0,00293 Sek. von unserem gefundenen Wert von 0,0866 Sek. ab, so bleibt ein Wert von 0,08367 Sek., also rund ein Wert von *0,084 Sek.* In diesem Wert sind nunmehr nur erhalten: 1. die Latenzzeit der motorischen Rinde, 2. die Leitungszeit in den Pyramidenfasern von den Fingerzentren der Rinde bis zu den Vorderhornzellen des Halsmarks in der Höhe des 7.—8. Halssegmentes und 3. die Übertragungszeit von den Pyramidenfasern innerhalb des Rückenmarks auf die motorischen Vorderhornzellen.

Bei W., der sehr kräftig gebaut ist und eine gute Muskulatur besitzt, beträgt die Körpergröße 166 cm. Von der Entfernung der oberen Nadelelektrode innerhalb des Biceps bis zum Processus spinosus des 4. Halswirbels habe ich unter Berücksichtigung der Lage der Nerven ähnlich wie bei Z. eine ungefähre Entfernung von 40 cm bestimmt. Unter Zugrundelegung dieser Zahl und den gleichen Abzügen, wie sie bei Z. gemacht wurden, komme ich bei W. zu einer Zeit von 0,096 Sek. für 1. die Latenzzeit der motorischen Rinde und 2. für die Leitungszeit in den Pyramidenfasern bis zum 5. und 6. Halssegment und 3. die Übertragungszeit auf die motorischen Vorderhornzellen des Halsmarks. Diese beiden Zahlen stimmen, so weit man es bei derartigen komplizierten Untersuchungen verlangen kann, ganz gut überein, und ich möchte in der Tat glauben, daß wir hier den Wert vor uns haben, welcher für die *drei* angeführten Vorgänge in Anspruch genommen wird. Es würden also im Durchschnitt etwa  $84—96\sigma$  für diese Vorgänge anzunehmen sein.

Man könnte natürlich noch weiter gehen und *versuchen*, aus diesen Zahlen die drei eben aufgeführten einzelnen Summanden zu ermitteln. Man begibt sich dann aber auf immer unsichereren Boden, wie ich das ausdrücklich hervorheben möchte!

Die Übertragungszeit im Rückenmark, um gleich auf den dritten Summanden einzugehen, während welcher der Reiz von den Pyramidenfasern auf die Vorderhornzellen übermittelt wird, und die Zeit, die auch die Vorderhornzellen zur Weitergabe des Reizes beanspruchen, könnte man unter Umständen aus der reinen Reflexzeit der Rückenmark-reflexe entnehmen. Die reine zentrale Reflexzeit ist sehr verschieden

angegeben worden. *Burckhardt* hat sie für den Patellarreflex 1877 auf 0,04—0,0387 Sek. berechnet. *Tschirjeff* (1879) hat sie auf 0,032—0,034 bestimmt, *Gowers* (1879) hat einen Betrag von ungefähr 0,05 Sek. für die Reflexübertragung des Patellarreflexes und *Waller* (1880) einen Wert von 0,02 Sek. angenommen (*Nagel*: Handbuch d. Physiol. IV, S. 265). Wesentlich geringere Zeitwerte sind in den Tabulae biologicae von *Oppenheimer* und *Pinkussen* enthalten. Hier wird auf Seite 345 nach *F. A. Hofmann* diese Zeit auf nur  $4,5\sigma$  angegeben. Dieser Wert, welcher mit modernen Untersuchungsmethoden gewonnen ist, entspricht wohl eher der Wirklichkeit. Aus ihm geht jedenfalls hervor, daß die Übertragungszeit für die Reflexe sehr kurz ist. Machen wir die vorläufige Annahme, daß eine ähnlich kurze Übertragungszeit von den Pyramidenfasern auf die Vorderhornzellen besteht, so würden wir, wenn wir zunächst einmal von dem bei Z. gewonnenen Wert von 0,084 Sek. diese  $4,5\sigma$  abziehen, einen Wert von 0,0795 Sek. erhalten. Bei W. würde dieser Wert 0,0915 Sek. betragen.

In diesem Wert wäre nun noch die Latenzzeit der Rinde und die Leitungszeit für die Pyramidenfasern enthalten. Die Latenzzeit der Rinde für den elektrischen Reiz ist wenigstens für den Hund gut untersucht. Es liegen da verschiedene Angaben vor. Erstens die Angabe von *François Frank*, wonach die Latenzzeit der Rinde für den elektrischen Reiz 0,015—0,02 Sek. beträgt. Diese Latenzzeit ist so ermittelt, daß erst die Rindenzentren und dann nach Abtrennung der Rinde an dieser Stelle das darunterliegende Mark gereizt und beide Male zeitmessende Versuche angestellt wurden. Diese Untersuchungen von *François Frank* und *Pitres* haben *Bubnoff* und *Haidenhain* im wesentlichen bestätigt. Sie haben jedoch etwas höhere Werte für die Latenzzeit der Rinde gefunden. In sehr sorgfältigen Untersuchungen haben sie festgestellt, daß die Reaktionszeit von der Reizung der Rinde beim Hunde bis zu der erfolgten Bewegung bei Rindenreizung 0,08 Sek. betrug. Nach Abtrennung der Rinde an dieser Stelle sank diese Reaktionszeit auf 0,035 Sek. ab (siehe I. c., S. 160 und Tafel 4, Abb. 4). Daraus berechnet sich also die Latenzzeit der Rinde des Hundegroßhirns bei elektrischer Reizung auf 0,045 Sek., eine sehr beträchtliche Zeit!

Es bestehen natürlich Bedenken, diese Werte ohne weiteres auf die Latenzzeit der menschlichen Rinde zu übertragen, für die alle Zahlenangaben fehlen. Bedenken wir aber andererseits, daß aus den Untersuchungen von *Leyton* und *Sherrington* eine auffallende Übereinstimmung der Erregbarkeit gegenüber dem elektrischen Strom für die motorische Rinde der Katze, des Macacus und des Schimpansen nachzuweisen ist, und daß auch die bei den Menschen gefundenen Werte für den Rollenabstand mit den an Tieren gewonnenen gut übereinstimmen, so scheint es nicht zu gewagt, die beim Hund gewonnenen Ergebnisse *versuchsweise* auf den Menschen zu übertragen.

Nehmen wir also eine Latenzzeit der menschlichen Hirnrinde bei elektrischer Reizung von 0,045 Sek. an, so bleiben bei Z. für die Leitung in den Pyramidenfasern noch 0,0345 Sek. und bei W. 0,0465 Sek. für die Leitungszeit in den Pyramidenfasern übrig. Nach Messungen, die Herr Professor *Berblinger* so freundlich war, an der Leiche eines 71jährigen Mannes von 169 cm Körpergröße anzustellen, beträgt die Entfernung der Mitte der vorderen Zentralwindung, also die Gegend der Armzentren, von dem oberen Halsmark, und zwar von den Wurzeln des 5. Halsnerven 21,6 cm, von den Wurzeln des 7. Halsnerven 23,6 cm unter Berücksichtigung des annähernden Verlaufs der Pyramidenfasern. Diese Entfernung von 23,6 cm würde bei Z. also in  $35\sigma$  durchlaufen. Daraus ergibt sich eine Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Reizes innerhalb der Pyramidenfasern für Z. von 6,87 m in der Sekunde, bei W. in derselben Weise von 4,64 m in der Sekunde. Diese Werte bleiben hinter dem von *Exner* und *Burckhardt* für die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des motorischen Reizes innerhalb der Rückenmarksubstanz festgestellten zurück, stehen jedoch in gutem Einklang mit diesen Zahlen. Denn es scheint doch so zu sein, daß nach der Peripherie zu die Leitungsgeschwindigkeit innerhalb des Nervensystems zunimmt. Ausdrücklich möchte ich hervorheben, daß diese zuletzt gewonnenen Werte der Leitungsgeschwindigkeit innerhalb der Pyramidenfasern von 5—7 Sekundenmetern natürlich nur Annäherungswerte darstellen können und sicher später eine Verbesserung erfahren werden.

---

### Literaturverzeichnis.

- Bubnoff* und *Haidenhain*: Über Erregungs- und Hemmungsvorgänge innerhalb der motorischen Hirnzentren. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **26**, 137 und namentlich 160. 1881. — *Exner*: Erklärung der psychischen Erscheinungen. S. 46/47 und auch Abb. 27. 1894. — *Exner*: Experimentelle Untersuchungen über die einfachsten psychischen Prozesse. Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **7**, 601 und namentlich 632f. 1873. — *Hoffmann, Paul*: Untersuchungen über die Eigenreflexe. S. 55. Berlin 1922. — *Hoffmann, Paul*: Untersuchungen über die Reflexzeit. Abderhaldens Handbuch, Lief. 120. 1924. — *Kiesow, F.*: Beobachtungen über die Reaktionszeiten momentaner Schalleindrücke. Arch. f. d. ges. Psychol. **16**, 366. 1910. — *Krause, Fedor*: Chirurgie des Gehirns und Rückenmarks. S. 681 u. 686, Abb. 168. Berlin 1911. — *Münnich, F.*: Über die Leitungsgeschwindigkeit in den motorischen Nerven bei Warmblütern. Zeitschr. f. Biol. **66**, I. 1916 (ebenda auch die ältere Literatur). — *Nagel*: Handbuch der Physiologie, Bd. 4. Braunschweig 1909: a) Allgemeine Physiologie der quergestreiften Muskeln, bearbeitet von *Frey* (S. 532) und b) Physiologie des Rücken- und Kopfmarkes, bearbeitet von *Langendorff* (S. 265). — *Oppenheimer-Pinkusen*: Tabulae biologicae, Bd. 2, S. 336, 337 und 341. — *Pieper*: Elektrophysiologie menschlicher Muskeln. S. 46f. Berlin 1912. — *Trendelenburg, W.*: Zur Methodik der Untersuchungen von Aktionsströmen. Zeitschr. f. Biol. **74**, 113. 1922. — *Vierordt*: Daten und Tabellen. 3. Aufl. S. 450/51 und 453/54. 1906. — *Ziehen*: Leitfaden der physiologischen Psychologie. 12. Aufl. S. 437, Anm. und S. 541. 1924,
-