zum Durchmesser der bekannten Riesenzellen in den psychomotorischen Centren — seien. — Mit Rücksicht auf ihre Fortsätze unterscheidet er daselbst zwei Haupttypen von Ganglienzellen:

1) Zellen, deren Nervenfortsatz sehr bald seine Individualität verliert, sich in äußerst zarte Fibrillen auflöst, und dadurch an der Bildung des feinen nervösen Netzwerks, welches sich im ganzen grauen Stratum vorfindet, Teil nimmt.

2) Ganglienzellen, deren Nervenfortsatz allerdings auch eine Anzahl feiner, für das erwähnte Netzwerk bestimmter Fasern abgibt, dabei aber seine Selbstständigkeit nicht verliert, und schließlich in den Axencylinder einer Nervenfasern übergeht.

Die aus dem Bulbus stammenden Fasern hängen mit den Zellen der Tractusrinde nur durch Vermittlung des nervösen Netzwerks zusammen. Golgi meint auch, dass ein großer Teil jener Fasern, welche aus der grauen Substanz des Tractus stammen, sich den Stabkranzfasern beimischen.

Zum centralen Riechapparat rechnet Broca auch die *Bandelette diagonale de l'espace quadrilaterale*; es ist dies ein Faserzug, welcher vom Schläfenlappen quer über die *Substantia perf. ant.* nach vorne und innen gegen das untere Ende des *Gyrus fornicatus* hinzieht. Dieses Bündel ist beim Menschen nur ausnahmsweise (in Fällen von Atrophie des Gehirns bei *Dementia paralytica*) bei vielen Tieren aber konstant zu sehen. Das nämliche Bündel hat Bum (Ueber ein bisher noch selten beobachtetes Markbündel an der Basis des menschlichen Gehirns. *Arch. f. Psych.* XII. B.) einmal gesehen; er hält es, ohne Broca's Beobachtung zu kennen, für ein *Associationsbündel* zwischen *Septum lucidum* und Spitze des Schläfenlappens.

Schließlich will ich noch auf eine Eigentümlichkeit aufmerksam machen, die ich am deutlichsten am *Lobus olf. junger Katzen* beobachtet habe. An Frontalschnitten stellt der Ventrikel des *Lobus olf.* der Katze einen nahezu senkrecht gestellten Spalt dar. Denkt man sich diesen Spalt schief nach unten und innen bis an die Oberfläche hin verlängert, so entspricht dies einer Linie, welche ganz auffallend von der Umgebung durch ihren histologischen Bau unterschieden ist; man gewinnt den Eindruck, als ob der Ventrikel hier früher offen gewesen und in der angegebenen Linie noch die Verwachsungsstelle zu erkennen wäre. — Auf eine Auseinandersetzung der histologischen Details kann ich hier nicht eingehen.

Obersteiner (Wien).

Ueber mechanische Nervenreizung.

Die Forscher, welche bisher über Nerven- und Muskelirritabilität gearbeitet haben, haben sich fast ausschließlich der Elektrizität, oder genauer ausgedrückt, der elektrischen Ströme als Reiz bedient, wogegen andere Reize nur ausnahmsweise zur Verwendung kamen.

Es liegt indess auf der Hand, dass man, um in die Lösung des von der allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie behandelten Problems tiefer eindringen zu können, und die Natur und Beschaffenheit der Processe, deren nächsten Grund wir mit der Benennung Irritabilität bezeichnen, näher kennen zu lernen, das Verhältniß der irriteren Gewebe zu den übrigen Arten von Reizen im Detail studiren muss.

Von diesen scheinen von vornherein die mechanischen sich für nervenphysiologische Untersuchungen besonders zu eignen. Die durch sie in der Nervensubstanz erregten Processe sind wahrscheinlich viel einfacher als bei andern Reizen. Sie erzeugen nicht durch ihre eigene Natur irgend welche chemische Processe in den Nerven, sie treffen bloß eine bestimmte Stelle des Nerven und man läuft nie Gefahr, das Resultat dadurch zu trüben, dass andere Nervenbahnen zu gleicher Zeit in Tätigkeit versetzt werden; schließlich lassen sie sich ziemlich exakt mit demselben absoluten Maß bestimmen, durch welches auch die Muskelzuckung gemessen wird.

Diese Betrachtungen haben mich veranlasst, die Wirkung der mechanischen Reize eingehender, als früher geschehen ist, zu studiren. Meine bis jetzt erhaltenen Resultate sind in folgenden Abhandlungen veröffentlicht: Studien über mechanische Nervenreizung, Erste Abteilung (Helsingfors 1880, Abdr. aus den Acta soc. Scient. Fennicae, T. XI); En ny method för mekanisk retning af nerver (Nordiskt medicinskt arkiv, Bd. XIII Nr. 12, 1881); Die durch einen konstanten Strom in den Nerven hervorgerufenen Veränderungen der Erregbarkeit mittels mechanischer Reizung untersucht (in Bihang till Svenska Vetenskaps Akademiens handlingar, Bd. VI, Nr. 22, 1882, soeben erschienen). Dem Wunsch des Herrn Herausgebers dieser Zeitschrift gemäß, stelle ich hier meine Ergebnisse, sowie einige neuere anderer Forscher kurz zusammen.

I. Wenn wir von denjenigen Methoden mechanischer Nervenreizung absehen, welche nur gewisser bestimmter Zwecke halber und nicht um eine wissenschaftliche Methode auszubilden angewandt wurden, so sind meines Wissens bisher nur folgende fünf verschiedene Methoden geprüft, nämlich in chronologischer Ordnung: die zwei von Heidenhain (Physiologische Studien, 1856; Moleschott's Untersuchungen IV, 1858), Tigerstedt (Studien 1880), Hällsten (Archiv f. Anatomie und Physiologie, phys. Abt. 1881) und Tigerstedt (Nord. med. ark. 1881). Die beiden Methoden Heidenhain's bezwecken nur durch mechanische Reizung einen Tetanus zu erzeugen. Obgleich dieselben mit einigen Mängeln behaftet sind, in Folge deren sie in der Wissenschaft bei weitem nicht die Anwendung gefunden haben, wie der Erfinder erwartete, so ist doch mit ihnen das sehr wertvolle Resultat gewonnen, dass der Nerv auf mechanischem Weg gereizt werden kann ohne getötet zu werden, und dass er auch eine verlängerte mechi-

sche Einwirkung auszuhalten im Stande ist. Mit dem ersten Tetanomotor Heidenhain's bestätigten Bilharz und O. Nasse (Archiv f. Anatomie und Physiologie 1862) für frische Nerven die Richtigkeit von Pflüger's Gesetz über die Erregbarkeitsveränderungen durch einen konstanten elektrischen Strom.

Der erste Apparat, den ich zur Nervenreizung durch einzelne mechanische Stöße konstruirte, sollte hauptsächlich dazu dienen, die Stärke des Reizes mit größtmöglicher Genauigkeit zu ermitteln. Der Nerv wird mittels desselben dadurch gereizt, dass ein Gewicht von verschiedenen Höhen frei auf ihn fällt. Dieses Gewicht wird in der Schwebelage gehalten durch einen Elektromagnet, welcher zwischen zwei Messingpfeilern in vertikaler Richtung beweglich ist. Durch Oeffnen des Stroms wird der Elektromagnet demagnetisirt, das Gewicht fällt herab und reizt den Nerven. Da der Elektromagnet samt dem Gewicht auch in horizontaler Richtung verschiebbar sind, so können verschiedene Punkte des Nerven nacheinander gereizt werden. Der Nerv selbst liegt auf einem gläsernen Bette. Nachdem das Gewicht herabgefallen ist, wird es mit dem Finger durch eine besondere Einrichtung sofort gehoben.

Durch Bestimmung der Fallzeit des Gewichts habe ich gefunden, dass die Reibung des Apparats gar nicht in Betracht gezogen zu werden braucht, und dass somit die Stärke des Reizes durch das Produkt der Schwere und der Fallhöhe des Gewichts bestimmt wird. Dadurch ist in jedem einzelnen Falle die Stärke des den Nerven treffenden Reizes in absoluten Maßen genau bestimmt.

Diese Methode hat indess eine Unbequemlichkeit, welche ich schon in meiner ersten Beschreibung hervorgehoben habe, nämlich, dass eine außerordentliche Genauigkeit bei den Versuchen nötig ist, wenn das Gewicht genau mit seiner Mitte den Nerven treffen soll; im entgegengesetzten Fall würde natürlich die Stärke des Stoßes vermindert werden. Dazu kommt noch, dass die Messung der Fallhöhen durch den Kathetometer sehr ermüdend und die Methode das Gewicht vom Nerven zu heben nicht vollständig befriedigend waren.

Dadurch wurde ich veranlasst, eine neue Methode auszuarbeiten, welche zu solchen Reizversuchen dienen sollte, bei denen es nicht nötig war, die absolute Kraft des Reizes genau zu bestimmen, sondern nur dieselbe vom Minimum bis zum Maximum zu modificiren, etwa in derselben Art, wie der elektrische Reiz durch einen gewöhnlichen Induktionsapparat abgestuft wird.

Dieser neue Apparat hat sich unerwartet gut bewährt; mit demselben ist die mechanische Nervenreizung ganz ebenso bequem und einfach wie die elektrische geworden. Er ist folgendermaßen konstruirt. Der Nerv liegt ganz wie beim ersten Apparate auf einem Bette, das jedoch hier aus Blei angefertigt und mit Paraffin überzogen ist. Die Reizung geschieht durch das Herabfallen eines dünnen Hebels,

welcher auf seinem dem Nerven zugewendeten Ende ein mit Paraffin überzogenes, passend abgeschnittenes Bleistück trägt. Das hintere Ende des Hebels trägt einen Anker, durch welchen es von einem Elektromagnet angezogen wird, sobald der Strom geschlossen wird; hiedurch wird der Hebel in der Schwebelage gehalten. Der Elektromagnet ist so stark, dass er den Hebel vom Nerven heraufzieht, sobald der Strom geschlossen wird. Der Abstand zwischen dem vordern Ende des Hebels und dem Nerven beträgt ungefähr 5 Millimeter. Die Kraft des Reizes wird durch ein auf dem Hebel bewegliches Laufgewicht abgestuft. Die Lage desselben ist durch eine Skala ersichtlich. Durch eine Schraube kann der Elektromagnet samt dem Hebel in horizontaler Richtung verschoben und dadurch verschiedene Punkte des Nerven gereizt werden. Dieser Apparat hat den großen Vorzug, dass der Nerv augenblicklich und automatisch vom Hebel entlastet wird, dass die Abstufung der Reizstärke schnell und bequem geschieht, dass in einem Augenblick eine Nervenstelle nach der andern gereizt und endlich, dass durch Rechnung eine approximative Vorstellung der absoluten Kraft des Reizes erhalten werden kann.

Inzwischen hatte Hällsten seine neue Methode veröffentlicht. Diese besteht darin, dass der Hebel einer Marey'schen Trommel auf den Nerven schlägt. Zu diesem Zwecke ist eine solche Trommel mit einer ähnlichen Trommel durch einen Gummischlauch verbunden; ein Druck auf letztere Trommel setzt den Hebel der erstern in Bewegung; der Druck wurde durch ein von verschiedenen Höhen fallendes Gewicht erzeugt; die Fallhöhe des Gewichts kann in diesem Fall als ein relatives Maß für den Stoß dienen, mit welchem der Hebel auf den Nerven wirkt. Durch eine besondere Einrichtung kann der Hebel längs dem Nerven verschoben werden. Wie man sieht, kann durch diese Methode keine Schätzung der lebendigen Kraft des Reizes erhalten werden, die sonstige Graduierung des Apparats ist auch schwierig, und er kann nicht, wie mein zweiter Apparat, im Fall des Bedürfnisses ganz automatisch arbeiten. Dennoch ist er für gewisse Zwecke ganz brauchbar, z. B. bei Untersuchungen über Erregbarkeitsveränderungen in den Nerven.

II. Die erste Frage, welche beim Studium der Einwirkung einzelner mechanischer Reize auf den Nerven sich darbietet, ist die, ob wirklich die Nerven, ohne zerstört zu werden, die mechanische Reizung aushalten und in welchem Grade sie es tun. Wie gesagt, hatte schon Heidenhain gefunden, dass die Nerven unerwartet lange mit dem Tetanomotor gereizt werden konnten, ehe sie zerstört wurden. Bilharz und O. Nasse konnten, wenn sie mit dem Tetanomotor den Nerv während 6 Sekunden hämmerten und ihm nach jeder Reizung 1 bis 2 Minuten Zeit gaben sich zu erholen, die Reizungsversuche 6—8mal wiederholen, ehe der Nerv leistungsunfähig geworden war. Dabei sank der Tetanus allerdings sehr rasch von

seiner ursprünglichen Höhe auf eine minimale herab. Mit meinem ersten Apparate konnte ich den Nerven, ohne ihn zu zerstören, mehr als hundertmal nacheinander reizen; das Intervall zwischen je zwei Reizungen war 6 bis 10 Sekunden. Später habe ich mich überzeugt, dass die Ausdauer der Nerven eine viel größere ist. Mit meinem zweiten Apparat habe ich den Nerven an derselben Stelle mehrere hundertmal reizen können, ehe die Muskelzuckungen von ihrer ursprünglichen Höhe auf eine minimale sanken; so erhielt ich in einem Versuch bei Reizung des Plexus 420 Zuckungen, welche von einer Höhe von 5 mm auf eine minimale Größe sanken. Die Reizungen geschahen ununterbrochen im Rhythmus von 3 auf je 2 Sekunden. In einem andern Versuch reizte ich zuerst den Plexus 330mal in 3 Minuten; die Zuckungen sanken von 6,3 bis zu 3,5 Millimeter herab; darnach reizte ich denselben Nerven an einer dem Muskel nähern Stelle mit derselben Reizstärke und in demselben Rhythmus noch 139mal, wobei die Zuckungen von 6,2 Millimeter auf 3,5 Millimeter sanken. Das Gewicht des Hebelarms, welcher auf den Nerv wirkte, war im ersten Versuch 0,53, im zweiten 0,60 g. In diesen beiden Versuchen sowie in allen übrigen, die ich angestellt habe, sanken die Zuckungen sehr gleichmäßig, fast geradlinig herab. Hiedurch ist also vollständig bewiesen, dass die mechanische Reizmethode zum Studium der Nerven-erregbarkeit allen Anforderungen genügt, falls man nicht mit übermaximalen Reizen arbeiten will.

Die mechanischen Reize wirken außerordentlich gleichförmig und sicher. Nur wenn sie äußerst minimal sind, sieht man die Größe der Muskelzuckungen ein wenig wechseln, aber dies ist ja auch der Fall bei Anwendung minimaler elektrischer Reize. Hat dagegen die Stärke des mechanischen Reizes die minimale Grenze überschritten, so erhält man eine lange Reihe vollständig gleich hoher Zuckungen, bis sie zuletzt infolge der Ermüdung des Nerven und des Muskels abzunehmen beginnen. Regelmäßigere Zuckungen als die, welche ich als Proben in meiner zweiten und dritten Abhandlung wiedergegeben habe, sind auch mit elektrischem Reize unmöglich zu erhalten. Ich möchte fast sagen, dass man mit meinem zweiten Apparate sicherer sein kann gleichförmige Zuckungen zu erhalten, als bei Anwendung einzelner Induktionsschläge.

Dieses gilt aber nur, wenn die ersten Zuckungen schon vorüber sind. Man merkt nämlich sehr oft, dass wenn die mechanische Reizung in schnellem Rhythmus geschieht, die Zuckungen anfänglich ein wenig zunehmen, bis sie ihre bleibende Größe erreichen. Dieser Zuwachs zeigt sich jedoch nicht immer; jedenfalls ist nach 4—5 Zuckungen deren definitive Stärke erreicht.

Nachdem durch die Ermüdung des Nerven die Zuckungen zu einem Minimum herabgesunken sind, erscheinen sie wieder, wenn dem Nerven gestattet wird sich zu erholen. Ein Tropfen physiologischer Koch-

salzlösung ist für seine Erholung sehr nützlich. Alle bis jetzt ermittelten Tatsachen sprechen dafür, dass die Ermüdung des Nerven eine auf die gereizte Stelle ganz scharf lokalisierte Erscheinung ist, und dass die übrigen Teile des Nerven, welche die Erregung nur fortgepflanzt haben, gar nicht ermüdet sind. Auch sieht man, dass, obgleich die örtliche Erregbarkeit des Nerven durch die Reizung sehr herabgesetzt ist, dieselbe Stelle dennoch eine dem Centralapparate näher angebrachte Reizung in fast unveränderter Größe zum Muskel leitet. Erst wenn die örtliche Ermüdung des Nerven sehr weit fortgeschritten ist, wird auch sein Leitungsvermögen aufgehoben. Nach einer Weile kommt es, wie Bernstein zuerst nachgewiesen hat (Archiv für die ges. Physiologie XVI), wieder und die durch eine höher angebrachte Reizung ausgelösten Zuckungen erreichen allmählich wieder ungefähr ihre ursprüngliche Größe. Dies geschieht anfangs langsamer, später schneller.

Die Frage nach der Erregbarkeit verschiedener Nervenstellen durch mechanische Reize ist noch unentschieden. Während ich mit meinem Fallapparat die Erregbarkeit an jeder Nervenstelle ungefähr gleich fand, hat Hällsten nach seiner Methode gefunden, dass bei mechanischer Reizung die Erregbarkeit sich ganz wie bei elektrischer verhält. Die Ursache dieser entgegengesetzten Ergebnisse ist noch nicht aufgeklärt.

Wie Hermann für elektrische, hat Hällsten auch für mechanische Reizung gefunden, dass ein Reiz, der sich der Schwelle nahe befindet, innerhalb sehr weiter Grenzen der Belastung des Muskels eine Zuckung hervorbringen kann. Dieses Resultat konnte vorausgesehen werden, denn es ist ja durch die Eigenschaften des Muskels und nicht durch die des Nerven bedingt.

Schon früher hatte ich eingehende Untersuchungen über die Größe der Muskelzuckungen im Verhältniss zur Stärke des mechanischen Reizes ausgeführt. Für meine Versuche benutzte ich dieselbe Methode, wie Fick bei den seinigen über elektrische Nervenreizung und bestimmte solcherart die Größe der Muskelarbeit durch die Höhe, auf welche der belastete und durch das Gewicht gedehnte Muskel den Zeichenstift warf. Diese Höhe wurde in Millimetern gemessen; das Produkt aus derselben und dem Gewicht ist die mechanische Arbeit des Muskels¹⁾. Zuerst kam dann die Frage über minimale Reize in Betracht. Als minimale Reize betrachtete ich diejenigen, welche gerade nötig und genügend waren, um den Muskel zur Leistung einer unbedeutenden mechanischen Arbeit zu veranlassen, welche unter Berücksichtigung der Konstruktion des Schreibapparats und der sonstigen Versuchsbedingungen, einem Wert von weniger als 10000 Milligrammmillimeter mit einer Wurflöhe von weniger als 0,5 mm ent-

1) Natürlicherweise wurde die auf die Schreibtabelle gezeichnete Wurflöhe auf die wirkliche Höhe der Muskelzuckung reducirt.

sprach. Muskelzuckungen, in denen der Arbeitswert geringer war als dieser, die Wurflöhe aber höher, habe ich nicht als minimale angesehen, weil es ja in keiner Weise bewiesen war, dass diese Zuckungen trotz der stärkern Belastung nicht gleich groß geworden wären, weil mit andern Worten die Kriterien fehlten, dass sie in der Tat minimal gewesen waren.

Die Durchschnittszahl aus Versuchen, in denen die Minimalzuckung die erste war, die überhaupt auftrat, ist für den Reiz 900 Milligrammmillimeter, für die entsprechende Muskularbeit 5000 Milligrammmillimeter. Diese Mittel, sowie die folgenden bezwecken natürlich nicht ein absolutes Maß für die Erregbarkeit der Nerven zu geben, sondern nur eine ungefähre Schätzung der Kraft zu erlauben, die den Nerven treffen muss, damit eine merkliche Muskelzuckung soll ausgelöst werden können.

Diese Muskularbeit von 5000 Milligrammmillimeter ist bei Weitem nicht minimal, auch wenn man die sie begleitende Wärmeproduktion vorläufig nicht berücksichtigt. Man kann daher den richtigen Punkt für den Minimalwert des Reizes bedeutend niedriger annehmen. Ich habe auch bei gewissen Versuchen einige in dieser Beziehung recht interessante Erscheinungen gefunden, welche die Frage in nicht geringem Grad beleuchten. Es ist zu beachten, dass das oben angeführte Mittel nur aus den ersten auftretenden Zuckungen erhalten ist, dass mithin einige derselben wahrscheinlich größer waren, als sie durch eine fernere Verminderung der Stärke des Reizes hätten werden können. Aus einigen Bestimmungen an Nerven, welche entweder infolge mehrerer vorheriger Reizungen während einer längern Versuchszeit hinsichtlich ihrer Erregbarkeit einigermaßen verändert waren, oder auch durch andere Umstände eine abnorm gesteigerte Erregbarkeit darboten, habe ich für weit kleinere Werte des Reizes viel stärkere Muskularbeit erhalten; z. B. als Mittel aus sechs Beobachtungen für die lebendige Kraft des Reizes 386 Milligrammmillimeter, für die entsprechende Muskularbeit 47400 Milligrammmillimeter.

Auf größere Schwierigkeiten, als bei Bestimmung des minimalen Reizes, stößt man beim Aufsuchen maximaler Reize. Wie schwer es sich in der Tat feststellen lässt, wann ein Reiz wirklich maximal ist, haben die Untersuchungen Fick's in glänzendster Weise dargelegt. Während man vor ihm als Axiom angenommen hatte, dass das bei elektrischer Reizung mit einzelnen Reizen erreichte Maximum der Muskelzuckung nicht weiter überschritten werden könne, fand er, dass solches nicht der Fall war, indem er im Gegenteil die übermaximalen Zuckungen entdeckte und in der „Lücke“ eine fernere Eigentümlichkeit der Nerven bei elektrischer Reizung nachwies.

Aehnliche Erscheinungen lassen sich freilich bei mechanischer Reizung nicht erwarten. Wenn aber, wie ich gefunden, bei starken Reizen die Zuckungen bei einer jeden höhern Stärke des Reizes

nur unbedeutend steigen und sich asymptotisch ihrem Maximum nähern, so kann man oft genug nur schwer mit Bestimmtheit feststellen, wann dieses erreicht ist. Hiezu kommt, dass bei maximalen und übermaximalen Reizen die Ausdauer der Nerven nicht genügend groß ist, um allzu viele Reizungen zu gestatten. Dieses ist die einzige eigentliche Unannehmlichkeit, die ich bei mechanischer Nervenreizung gefunden habe.

Ich habe gesucht, eine Vorstellung von dem maximalen Wert des Reizes zu erhalten, indem ich diesen als denjenigen Reiz bestimmte, welcher eine so starke Zuckung gab, dass einige noch stärkere Reize an einer und derselben Nervenstelle keine größeren Zuckungen zuwege brachten. Im Mittel von 9 solchen Versuchen erhielt ich für den Reiz 8800 Milligrammmillimeter, für die Muskelarbeit 94000 Milligrammmillimeter. Diese Zahlen können jedoch keineswegs als definitiv angesehen werden, und namentlich gilt dies von dem Wert für die Muskelarbeit. Wie bekannt, kann ein Muskel beim Maximum der Zusammenziehung eine gewisse Grenze nicht überschreiten, sobald er direkt oder indirekt durch eine einzelne Reizung in Tätigkeit versetzt wird. Ist nun der Muskel zu leicht belastet, so bietet die von ihm ausgeführte Arbeit keinen richtigen Maßstab seiner von dem Reize ausgelösten Kraft, weil die ganze disponible Kraft nicht für wirkliche mechanische Arbeit in Anspruch genommen wird. Um ein befriedigenderes Bild des maximalen Werts der Muskelzuckung zu erhalten, habe ich daher eine Anzahl Versuche mit stärkern Belastungen ausgeführt. Diese ergaben für den Reiz 6300 Milligrammmillimeter, für die Muskelarbeit 162900 Milligrammmillimeter. Wird die Stärke des Reizes sehr viel gesteigert, bis zu 20—30 Tausend Milligrammmillimeter, so wird der erhaltene Effekt in Bezug auf die Größe der Muskelarbeit bei Weitem nicht in demselben Verhältniss gesteigert. Alles dieses deutet darauf hin, dass der maximale Wert des Reizes zwischen 7000 und 8500 Milligrammmillimeter liegt; doch will ich keineswegs diese Ziffer als absolut ansehen, denn ich sehe genugsam ein, dass dieses Maximum erneuerter, eigens darauf gerichteter Versuche bedarf, um mit genügender Genauigkeit bestimmt zu werden.

Zwischen Minimum und Maximum steigen die Zuckungen bei gleichförmig zunehmender Stärke des Reizes zuerst schneller und dann immer langsamer, oder mit andern Worten, wenn der mechanische Reiz in gerader Linie zunimmt, beschreibt die Muskelarbeit eine mit der Konkavität gegen die Abscissenachse gekehrte krumme Linie, deren Anfangspunkt in der Nähe des Anfangspunktes des Systems liegt (oder mit demselben zusammenfällt, S. Studien über mechanische Nervenreizung, I, S. 67). Diese Linie erhebt sich anfangs in recht starker Steigung, um darauf mit allmählich abnehmender Steigung sich ihrem Maximum asymptotisch zu nähern. Dieses Ergebniss stimmt ganz mit demjenigen von Hermann über elektrische

Nervenreizung überein; und ebenso ergaben noch nicht veröffentlichte Versuche, welche der Herr Stud. med. A. Willhard im physiologischen Laboratorium des Carolinischen Instituts in Stockholm mit Induktionsschlägen ausgeführt hat, dasselbe Resultat.

Die eben angeführten Versuche über die Abhängigkeit der Muskelzuckung von der Stärke des mechanischen Reizes machen es möglich, sich eine annähernde Vorstellung von dem quantitativen Verhältniss zwischen dem Reiz und der Arbeit des Muskels zu bilden. Die Arbeit, welche der Muskel bei seiner Zusammenziehung verrichtet, ist aus zwei Bestandteilen zusammengesetzt: 1) dem mechanischen Effekt und 2) der Wärmeentwicklung. Um die Frage von dem Verhältniss zwischen der Muskelarbeit und der Kraft des Reizes vollständig zu entscheiden, wäre es somit nötig, für eine jede Muskelzuckung nicht allein ihren Arbeitswert, sondern auch ihre Wärmeentwicklung zu bestimmen, da man solcher Art für jede besondere Reizung sowol die Stärke des Reizes als auch den hiedurch ausgelösten Totaleffekt, beide in demselben Maß ausgedrückt, kennen lernen würde. Dergleichen Untersuchungen habe ich noch nicht unternommen. Wenn man aber meine Resultate von der Größe der äußern Muskelarbeit durch diejenigen vervollständigt, welche Fick und Harteneck (Archiv f. die ges. Physiologie XVI) über die Wärmeentwicklung bei Muskelarbeit erhalten haben, so kann man schon jetzt eine ziemlich befriedigende Vorstellung von dem Verhältniss zwischen der lebendigen Kraft des Reizes und der dadurch im Muskel ausgelösten totalen Arbeitsleistung erhalten.

Nach Fick und Harteneck verhält sich bei einer Belastung der Schenkelmuskulatur mit 100 Gramm die Wärmeentwicklung zur äußern mechanischen Arbeit des Muskels wie 15—17,5:1, und bei einer Belastung von 300—500 Gramm wie 30—3,3:1¹⁾.

Bei meinen Versuchen halte ich mich für berechtigt, auf Grund des niedrigen Gewichts, das der Muskel dabei zu tragen hat, das Verhältniss zwischen der Arbeit und der Wärmeentwicklung als ungefähr 1 zu 17,5 anzunehmen. Von einer direkten Vergleichung kann hier natürlicherweise nicht die Rede sein, da die Versuche Fick's und Harteneck's an andern Muskeln ausgeführt sind, als die meinen, die nur den *M. gastrocnemius* betrafen.

Die von mir gefundenen Werte für den maximalen Wert des Reizes und die entsprechende Muskelarbeit waren in einer Reihe resp. 6,300 und 163000 in einer andern 8800 und 100000 Milligrammmillimeter. Legen wir den folgenden Berechnungen das Mittel dieser zu Grunde, so finden wir, dass einem Reiz von 7,500 Milligrammmillimeter durchschnittlich eine Muskelarbeit von 132500 Milligrammmillimeter entspricht. Mit Zuhilfenahme dieses Mittels, sowie der Ver-

1) Die Werte von Fick und Harteneck sind hier berechnet für eine spezifische Wärme des Muskels = 0,83.

suchsergebnisse Fick's und Harteneck's würde dann der Effekt, der durch einen Reiz von 7500 Milligrammmillimeter in der Muskelarbeit zu Tage tritt, im selbigen Maß ausgedrückt, nicht weniger als 2450000 Milligrammmillimeter betragen.

Nimmt man wiederum an, dass bei meinen Versuchen die Wärmeentwicklung nur 3mal die Muskelarbeit betrug, mithin das kleinste Verhältniss, welches Fick und Harteneck gefunden, so entspricht folglich einem Reiz von circa 7500 Milligrammmillimeter Stärke eine Muskelarbeit, die dessen ungeachtet 530000 Milligrammmillimeter beträgt.

Hiebei ist noch zu bemerken, dass die vorstehenden Werte für die Stärke des Reizes in der That die obere Grenze desselben ausdrücken, weil von demjenigen Teil desselben, welcher nicht zur Nervenregung verbraucht, sondern in Wärme verwandelt wird, wenn das Gewicht den Nerven trifft, ganz abgesehen worden ist. Die jetzt besprochenen Resultate beweisen daher umso mehr, dass jedenfalls der von einem einzelnen mechanischen Reiz ausgelöste Effekt mindestens 70 bis 100 mal größer als die lebendige Kraft des Reizes ist, und dass sie mit großer Wahrscheinlichkeit 320mal dieselbe, ja noch mehr beträgt.

Dieses Resultat zeigt, dass die durch den Nerven dem Muskel zugeführte Kraft für die Wärmeentwicklung und die mechanische Arbeit des Muskels von verschwindender Geringfügigkeit ist, denn derjenige Teil der effektiven Arbeit des Muskels, welcher diese Kraft ausmachen sollte, ist im Verhältniss zur Totalsumme so unbedeutend, dass sie mittels unserer bisher angewandten Apparate sich nicht leicht nachweisen lässt und vollständig innerhalb der Grenzen der Versuchsfehler fällt. Wir haben somit gefunden, dass die Quelle der Muskelarbeit ausschließlich im Muskel selbst liegt, und dass dieselbe nur durch die durch den Nerven dem Muskel zugeleitete Reizung ausgelöst wird.

Worin die Auslösung eigentlich besteht, ist uns gänzlich unbekannt. Die wichtigsten in dieser Beziehung bekannten Tatsachen sind, dass dieselbe bisher nicht für eine jede Stärke des Reizes nachgewiesen wurde, sondern nur von einem gewissen endlichen Wert beginnt; dass die Stärke dieser Auslösung in gewissem Grad von der Stärke des Reizes abhängt und für einen einzelnen Reiz eine gewisse Grenze nicht übersteigt; dass aber unter besondern Umständen die ausgelöste Arbeit bedeutend vergrößert wird über das durch einen einzelnen Reiz hervorgerufene Maximum hinaus (übermaximale Zuckungen, Tetanus). Dieses Alles zeigt, dass die Auslösungsarbeit zur Stärke des Reizes in einem gewissen bisher nicht näher bestimmten Verhältniss steht; hiezu wird also die lebendige Kraft des Reizes zunächst verwandt. Auf dem gegenwärtigen Standpunkt unserer Kenntniss der bei diesen Processen obwaltenden Umstände lassen sich die Verwandlungen der Kraft beim Auslösungsprocess nicht weiter verfolgen.

Als ein Corollar der vorstehenden Resultate ergibt es sich, dass der Unterschied zwischen direkter Reizung des Muskels und in-

direkter durch den Nerven im Ganzen genommen qualitativ nicht existire, weil beiderlei Arten von Reizen, die direkten ebensowol wie die indirekten, keine andere Aufgabe haben, als den Muskel in Tätigkeit zu versetzen. In quantitativer Beziehung findet jedoch, wie man schon lange weiß, ein recht großer Unterschied in den Resultaten statt, die vermittels direkter Muskelreizung oder indirekter unter Vermittlung des Nerven erzielt werden. Man hat hierin einen Beweis dafür gefunden, dass ein großer Unterschied der spezifischen Erregbarkeit der Nerven und der Muskeln vorhanden sein sollte. Ein solcher Unterschied ist jedoch hiedurch keineswegs erwiesen, denn aus den als Beweis dafür angestellten Versuchen ergibt sich eigentlich nichts anderes, als dass die durch verschiedene Reize bei den Nerven hervorgerufene Form von Bewegung geeigneter ist, die Kräfte des Muskels auszulösen, als das direkte Anbringen von Reizen an den Muskeln selbst, und man hat somit in dem einen Falle die spezifische Erregbarkeit des Muskels gegen einen gewissen bestimmten Reiz festgestellt, in dem andern dieselbe gegen die im Nerven stattfindende, unbekanntere Form von Bewegung ermittelt. Diese beiden Größen, da sie nicht mit demselben Maße gemessen sind, lassen sich daher nicht mit einander vergleichen. Wir kennen die Natur der unter der Benennung Auslösung zusammengefassten Prozesse zu wenig, als dass wir wissen könnten, ob nicht eine Art von Bewegung geeigneter sei, ein gewisses Maß von Arbeit auszulösen als eine andere; die eben erwähnten Verhältnisse zeigen nur, dass die durch den Nerven dem Muskel zugeleitete Erregung besser als irgend ein anderer bisher versuchter Reiz geeignet ist, ihn in Tätigkeit zu versetzen.

III. Die mechanischen Reize eignen sich sehr gut zu Untersuchungen der Erregbarkeitsveränderungen in den Nerven. Ich fand mit meinem ersten Apparate, dass eine gelinde Spannung bis zu 20—25 Gramm die Erregbarkeit des Nerven erhöht, und dass diese abnimmt, sobald die Spannung noch ferner vergrößert wird.

Hällsten untersuchte, ob die Veränderung, welche die Erregbarkeit erleidet, wenn der Nerv abgeschnitten wird, mittels mechanischer Reizung nachgewiesen werden kann und fand, dass diese Veränderung gleich gut bei mechanischer als bei elektrischer Reizung hervortritt, sowie dass die Vergrößerung der Erregbarkeit um so stärker ist, je näher der gereizten Stelle der Querschnitt gemacht wird.

Endlich habe ich eine ausführliche Untersuchung über die durch den konstanten Strom hervorgebrachten Erregbarkeitsveränderungen ausgeführt. Besonders Hermann's einschlägige Arbeiten (Archiv für die ges. Physiologie VII.) machten es wünschenswert, noch einmal die Frage von den Erregbarkeitsveränderungen durch den konstanten Strom zu untersuchen. Sollte es nämlich sich zeigen, dass Hermann's Ermittlungen über einen hemmenden Einfluss des negativen Pols

nicht von etwaigen störenden Einflüssen bedingt waren, so musste natürlich die Theorie Pflüger's verlassen werden und der Satz Hermann's, dass die Veränderungen in der Größe der Zuckungen, welche durch den konstanten Strom hervorgerufen werden, nicht von veränderter örtlicher Erregbarkeit des Nerven, sondern von einer, durch den Strom bedingten Veränderung der Erregung selbst, während ihrer Fortpflanzung abhängen, würde dann allgemeine Zustimmung beanspruchen können. Zur Entscheidung zwischen diesen beiden theoretischen Anschauungen schien es mir, dass die mechanische Reizmethode viele und wichtige Vorzüge darbot. Bei Anwendung derselben braucht man nicht, wie bei elektrischem Reize, Stromschleifen von dem polarisirenden nach dem Prüfungsstrom und umgekehrt zu befürchten; man kann, was vielleicht das wichtigste ist, mit dem mechanischen Reize den Polen des konstanten Stromes so nahe kommen, wie man will, und ihm somit näher auf den Leib rücken als es jemals mit elektrischem oder chemischem Reize hat geschehen können. Dazu kommt noch, dass der mechanische Reiz seiner eigenen Natur nach so ganz und gar verschieden ist von dem Reize, dem konstanten Strom, dessen Wirkung auf den Nerven man bei diesen Untersuchungen feststellen will.

Die Reizungsversuche geschahen in folgendem Rhythmus. Zunächst wurde eine Stärke des mechanischen Reizes ermittelt, welche eine Zuckung von geeigneter Größe hervorbrachte, mittelstark bei Reizung in der Nähe des positiven, mittelstark oder schwächer in der Nähe des negativen Pols. War diese gefunden, so wurde der Strom zum Elektromagnete meines zweiten mechanischen Reizapparats durch ein Metronom regelmäßig 3 mal in 2 Sekunden geöffnet und durch den herabfallenden Hebel der Nerv gereizt. Jetzt hatte der Muskel auf dem Cylinder des Registrirapparats ungefähr ein halbes Dutzend Zuckungen aufzuzeichnen. Darauf wurde, während das Metronom fortgesetzt den Strom zu dem Elektromagneten öffnete und schloß, auf einmal der polarisirende Strom geschlossen, und der Muskel hatte wiederum 5—6 Zuckungen aufzuzeichnen, wonach der polarisirende Strom geöffnet, und ein halbes Dutzend Muskelzuckungen abermals ohne Einwirkung des polarisirenden Stromes aufgezeichnet wurden. So setzte ich den Versuch in derselben Aufeinanderfolge eine Zeit lang fort, wobei die Anzahl der Wiederholungen zum Teil von der Ausdauer der Nerven, zum Teil von dem Zwecke abhing, zu welchem der Versuch unternommen wurde. Weitere Einzelheiten bezüglich der Versuchsanordnung können hier übergangen werden. Nur so viel ist noch hinzuzufügen, dass in jedem einzelnen Versuch der konstante Strom stets in derselben Richtung durch den Nerv floss.

Durch diese Untersuchung sind die Gesetze Pflüger's vollständig bestätigt. Wenn man den Prüfungsreiz nur hinlänglich nahe dem Pol anbringt, so zeigt sich bei intrapolarer Reizung die Erregbarkeit in

der Gegend vom negativen Pol immer erhöht, bei dem positiven immer herabgesetzt. Der stärkste Strom, den ich anwandte, war von 10 Meidinger'schen Elementen mit 20000 Rheochordeinheiten als Nebenleitung; hierbei stiegen die durch den mechanischen Reiz hervorgerufenen Zuckungen von ganz minimalen bis maximalen. Mit sehr schwachem Strom (2 Meidinger, 30 Rheochordeinheiten in der Nebenleitung) wurde in der Nähe des positiven Pols die durch den mechanischen Reiz ausgelösten Zuckungen beträchtlich vermindert. Somit gilt dieser Hauptpunkt in den Pflüger'schen Resultaten noch vollständig. Die davon abweichenden Ergebnisse Hermann's beruhen wahrscheinlich darauf, dass dieser Forscher bei Untersuchung der Erregbarkeitsveränderungen in der intrapolaren Strecke mit seinen Prüfungs Elektroden nicht nahe genug den Polen des polarisirenden Stromes hat kommen können; was ja mit Elektrizität als Prüfungsreiz auch unmöglich ist.

Weiterhin habe ich mittels der mechanischen Reizmethode sämtliche übrigen Ermittlungen Pflüger's betreffs der zeitlichen Entwicklung, der Abtönung u. s. w. der Erregbarkeitsveränderungen in allen Einzelheiten bestätigt, obgleich die nach dem Oeffnen des Stromes auftretenden Erscheinungen bei mechanischer Reizung lange nicht so ausgeprägt sind wie bei elektrischer.

Dazu habe ich gefunden, dass, wenn der Strom während mehrerer Sekunden wirkt, bei Reizung in der Nähe des negativen Pols die Muskelzuckungen in vielen Fällen nach dem zuerst erreichten Maximum abnehmen, sowie dass sie bei Reizung in der Nähe des positiven Pols von dem Minimum, auf welches sie zuerst herabgesunken waren, wieder etwas zunehmen. Sowol die Abnahme wie die Zunahme ist jedoch meist nur äußerst unbeträchtlich und vollzieht sich sehr langsam. Diese Erscheinungen lassen sich wol nicht anders erklären als dadurch, dass die Stärke des polarisirenden Stromes, wenn derselbe eine gewisse Zeit den Nerven durchströmt, durch die innere Polarisation derselben etwas geschwächt wird (vgl. Du Bois-Reymond, Ges. Abh. II, S. 171 folg.). Wenn die durch den polarisirenden Strom hervorgerufene Erregbarkeitsveränderung so stark ist, dass infolge derselben die Erregung der Nerven stärker wird als die Hervorrufung einer maximalen Muskelzuckung erfordert, oder schwächer als die Stärke, welche genau unter dem minimalen Wert derselben liegt, so kann die durch Polarisation bewirkte Schwächung des polarisirenden Stroms natürlich nicht bemerkbar werden. Auch treten diese Erscheinungen bei sehr geringer Stärke des polarisirenden Stromes nicht zu Tage, vermutlich deshalb, weil da die innere Polarisation der Nerven nicht bis zu einem bemerkbaren Grad steigen kann.

Robert Tigerstedt (Stockholm).

Einsendungen für das „Biologische Centralblatt“ bittet man an die „Redaktion, Erlangen, physiologisches Institut“ zu richten.

Verlag von Eduard Besold in Erlangen. — Druck von Junge & Sohn in Erlangen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Biologisches Zentralblatt](#)

Jahr/Year: 1882

Band/Volume: [2](#)

Autor(en)/Author(s): Tigerstedt Robert Adolph Armand

Artikel/Article: [Ueber mechanische Nervenreizung 468-480](#)