

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven

Rosenthal, Isidor

Leipzig, 1899

Fünfzehntes Kapitel

Jeder Versuch einer Theorie der Reizerscheinungen wird deshalb auf die elektrischen Wirkungen Rücksicht nehmen müssen.

FUNFZEHNTE KAPITEL.

1. Zusammenhang von Nerv und Muskel; 2. Isolirte Erregung einzelner Muskelfasern; 3. Entladungshypothese; 4. Princip der Auslösung; 5. Irritabilität der Muskelsubstanz; 6. Curare; 7. Chemische Reize; 8. Theorie der Nerventhätigkeit.

1. In den vorhergehenden Kapiteln haben wir die wichtigsten Eigenschaften der Muskeln und Nerven kennen gelernt. Der Muskel ist ausgezeichnet durch seine Fähigkeit sich zu verkürzen und dadurch Arbeit zu leisten. Der Nerv ist im Stande, seinerseits die Thätigkeit des Muskels anzuregen. Wie kommt diese Anregung oder die Uebertragung der Thätigkeit von dem Nerven auf den Muskel zu Stande? Das ist die Frage, mit welcher wir uns jetzt zu beschäftigen haben.

Wollen wir das Spiel einer Maschine verstehen, so müssen wir ihren Bau, die gegenseitige Lagerung der einzelnen Bestandtheile kennen. In unserm Falle kann uns nur die mikroskopische Untersuchung Aufschluss geben. Verfolgt man den Nerven nach seinem Eintritt in den Muskel, so sieht man, wie die einzelnen Fasern, welche in einem Bündel vereinigt eintreten, sich trennen und zwischen den Muskelfasern verlaufend sich im ganzen Muskel ausbreiten. Sodann sieht man, wie einzelne Nervenfasern sich theilen, und es erklärt sich so, wie jede Muskelfaser zuletzt von einer Nervenfaser (lange Muskelfasern sogar von zweien) versorgt werden kann, obgleich die Zahl der in den Muskel eintretenden Nervenfasern meistens viel geringer ist als die Zahl der den Muskel zusammensetzenden Muskelfasern. Bis der Nerv an die Muskelfaser herantritt, besitzt er noch

alle drei charakteristischen Merkmale: Neurilemma, Markscheide und Achsencylinder. In der Nähe der Muskelfaser verschmälert er sich plötzlich und verliert die Markscheide; dann verbreitert er sich wieder, das Neurilemma verschmilzt mit dem Sarkolemma der Muskelfaser und der Achsencylinder geht in ein Gebilde über, das innerhalb des Sarkolemmaschlauchs in unmittelbarer Be-

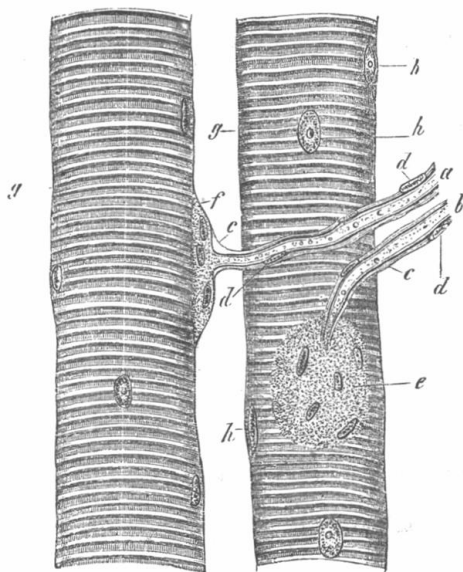


Fig. 78. Nervenendigung in den Muskeln eines Meerschweinchens.

rührung mit der eigentlichen Muskelsubstanz liegt, und welches Nervenendplatte genannt wird. Fig. 78 stellt diesen Uebergang des Nerven in den Muskel dar, wie er bei Säugethieren vorkommt. Bei andern Thieren ist die Form der Endplatte etwas abweichend, wie es die Figuren 79 und 80 zeigen. Das Verhältniss zwischen

Nerv und Muskel aber ist immer das gleiche, der Nerv tritt in unmittelbare Berührung mit der Muskelsubstanz. Darüber sind heutzutage alle Forscher einig.

2. Diese Thatsache müssen wir als Ausgangspunkt für unsere Erklärungsversuche annehmen. Solange man glaubte, der Nerv bleibe an der Aussenfläche der Muskelfaser, war es schwer zu erklären, wie durch Reizung einzelner Fasern eines Nerven eine Zuckung einzelner Muskelfasern innerhalb des Muskels möglich sein soll. Denn die Nerven-

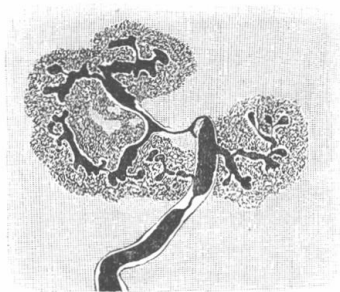


Fig. 79. Plattenförmige Nervenendigung an einer Muskelfaser.

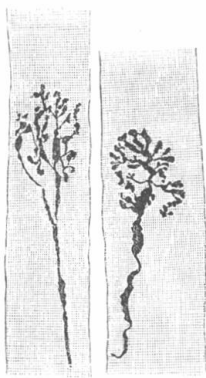


Fig. 80. Geweihförmige Nervenendigungen an Muskelfasern.

fasern berühren in ihrem Verlauf innerhalb des Muskels viele Muskelfasern von aussen, indem sie über diese wegziehen, um schliesslich an einer andern Muskelfaser zu enden. Man kann sich aber bei platten dünnen Muskeln überzeugen, dass bei geeigneter Reizung eines solchen Nervenfaserschens diejenigen Muskelfasern, über welche es wegzieht, in Ruhe bleiben und nur diejenigen zucken, in welchen die Nervenfaser endigt. Hierdurch wird bewiesen, dass die in der Nervenfaser vorhandene Erregung nicht durch die Scheiden hindurch zu wirken vermag, dass viel-

mehr jede Erregung nur da auf die Muskelsubstanz übergehen kann, wo Nervensubstanz und Muskelsubstanz sich wirklich unmittelbar berühren, also innerhalb des Sarkolemmaschlauchs. Die Erregung bleibt, wie wir schon wissen, isolirt im Innern derjenigen Faser, in welcher sie durch einen Reiz entstanden ist, und überträgt sich nicht auf eine benachbarte Nervenfaser. Wie sollte sie sich also gar auf die Muskelsubstanz übertragen können, solange sie von dieser nicht nur durch die Nervenscheiden, sondern noch obendrein durch das Sarkolemma der Muskelfaser getrennt ist.

Wenn aber die Nervenfaser das Sarkolemma durchbricht, wie aus dem oben geschilderten mikroskopischen Befund hervorgeht, und wenn Nervensubstanz und Muskelsubstanz in unmittelbare Berührung kommen, dann ist die Uebertragung der im Nerven vorhandenen Erregung auf die Muskelsubstanz begreiflich. Ob der Nerv nach seinem Eintritt in das Sarkolemma mit einer Nervenplatte oder mit einem Nervenetz endigt, ist physiologisch von geringem Belang. Alles, was wir brauchen, um den Vorgang der Uebertragung begreiflich zu machen, ist nur unmittelbare Berührung der Nervensubstanz mit der contractilen Substanz, und diese ist bei der einen wie bei der andern Form der Nervenendigung gegeben.

3. Es liegt nahe, an die elektrischen Eigenschaften der Nerven und Muskeln zu denken und von diesen aus die Erklärung zu versuchen. Mit dem Vorgang der Erregung des Nerven ist, wie wir gesehen haben, eine elektrische Schwankung verbunden; wenn diese am Muskel anlangt, könnte sie erregend auf die Muskelsubstanz wirken, welche ja gegen elektrische Schwankungen sehr empfindlich ist.

Wir können die hier entwickelte Vorstellung mit E. Du Bois-Reymond die Entladungshypothese nennen. Nach ihr stellen wir uns das Muskelende der Nervenfaser ähnlich wie eine elektrische Platte in den elektrischen

Organen der Zitterfische vor. Wie in dieser unter dem Einfluss der Nervenregung eine elektrische Entladung hervorgerufen wird, welche im Stande ist, andere erregbare Gebilde, wie Muskeln u. dgl. zum Zucken zu bringen, so denken wir uns, dass die am Endapparat des Nerven anlangende elektrische Schwankung reizend auf den Muskel wirke. Auf die zufällige äussere Aehnlichkeit der Nervenendplatte mit der elektrischen Platte legen wir dabei kein Gewicht. Auch da, wo keine eigentliche Endplatte vorkommt, sind die Verhältnisse im wesentlichen die gleichen. Alles, was wir voraussetzen, ist, dass in der Endausbreitung des Nerven, sie mag eine Form haben, welche sie wolle, eine elektrische Schwankung entstehe, durch welche dann die Muskelsubstanz gereizt wird.

Gegen diese Vorstellung scheint sich aber die Schwierigkeit zu erheben, dass ein solcher elektrischer Schlag nicht bloß die Muskelfaser, in welcher der Nerv endet, sondern auch die benachbarten Muskelfasern erregen müsste. Denn im Muskel und seinen Hüllen haben wir nirgends elektrische Isolatoren und ein irgendwo entstehender elektrischer Schlag kann und muss sich durch die ganze Muskelmasse verbreiten. Wenn wir aber die Gesetze der Stromausbreitung in unregelmässigen Leitern berücksichtigen, wie sie im zwölften Kapitel in ihren wesentlichen Zügen angedeutet wurden, so sehen wir, dass die Stärke der Ströme in unmittelbarer Nähe des Ortes, an welchem die Entladung vor sich geht, eine erhebliche sein kann, mit der Entfernung aber so schnell abnimmt, dass sie schon in einer Muskelfaser, welche Wand an Wand mit der unmittelbar gereizten gelegen ist, ganz unwirksam werden kann. Gerade aus diesem Grunde müssen wir auf den Umstand, dass der Nerv in das Innere der Muskelfaser eindringt und dort in unmittelbare Berührung mit der Muskelsubstanz kommt, Werth legen. Nur so ist es verständlich, dass eine im Nerven entstehende Entladung den Muskel reizen kann. Einmal in der Muskelsubstanz an einem Punkte entstanden, kann

aber die Erregung innerhalb derselben sich ausbreiten, ohne dass es dazu einer weitem Mitwirkung der Nervensubstanz bedarf.*

4. Wir nehmen also an, dass die im Nerven entstandene Erregung ihrerseits zu einem Reiz wird, der den Muskel erregt. Die im Muskel dadurch freiwerdende Energie vermag, wie wir wissen, eine beträchtliche Arbeit zu leisten, welche in gar keinem Verhältniss steht zu der geringen Energie des Reizes, welche auf den Nerven wirkt, und welche im Nerven selbst, während er die Erregung leitet, frei wird. Der Nerv ist, um ein vielgebrauchtes, aber treffendes Gleichniss anzuführen, nur der Schwefelfaden, welcher an einem Ende entzündet wird und dann die Entzündung bis zu einer Pulvermine fortleitet, um diese zur Explosion zu veranlassen. Die Energie, welche im Muskel frei wird, ist chemische, aus der Oxydation seiner Stoffe entstandene; der vom Nerven ausgehende Reiz ist nur die Veranlassung, dass die im Muskel vorhandene chemische Energie in Energie der Bewegung umgesetzt wird. Solche Vorgänge nennen die Physiker: Auslösung. Der Nervenreiz löst die chemische Energie des Muskels aus, diese setzt sich in Wärme und mechanische Arbeit um. Bei jeder Auslösung kann die auslösende Energie sehr klein sein gegen diejenige, welche ausgelöst wird. Diese kann unberechenbare Zeiten in träger Ruhe verharren; wenn sie aber einmal ausgelöst ist, kann sie ungeheuerere Wirkungen ausüben. Ein mächtiger Felsblock kann am Rande eines

* In derselben Weise, wie wir hier die Isolirung der Erregung in einer Muskelfaser, welche mit der Nervenfaser unmittelbar zusammenhängt, zu erklären versucht haben, kann man auch die isolirte Leitung in den Nervenfasern trotz der in ihnen ablaufenden Stromschwankungen erklären. Die nähern Auseinandersetzungen siehe in Anmerkungen und Zusätze Nr. 11, letzter Absatz.

Abgerundes in labilem Gleichgewicht jahrelang liegen, bis irgendeine geringfügige Erschütterung ihn zum Fallen bringt; ins Thal hinunterstürzend kann er dann alles auf seinem Wege zertrümmern. Man behauptet sogar, die schwache Erschütterung der Luft durch den Schall eines Maulthierglöckchens sei ausreichend, den Schneeball zum Sturz zu veranlassen, der schliesslich als mächtige, alles verheerende Lavine ins Thal hinunterdonnert. Um solche Auslösung möglich zu machen, ist labiles Gleichgewicht nöthig. Es gibt aber auch ein chemisches labiles Gleichgewicht. Kohle und Sauerstoff können Jahrtausende nebeneinanderliegen, ohne sich miteinander zu verbinden. Innig miteinander gemengt, wie im Schiesspulver, oder noch näher aneinander, wie im Nitroglycerin, sind sie in labilem Gleichgewicht; der geringste Anstoss genügt, ihre Verbindung zu Kohlensäure herbeizuführen, welche durch ihre Expansion die ungeheuere Arbeitsleistung ermöglicht. Auch im Muskel liegen Kohlenstoff und Sauerstoff in chemischem labilen Gleichgewicht nebeneinander; der Reiz des Nerven bewirkt die Auslösung, welche das Gleichgewicht stört und die chemischen und mechanischen Processe hervorruft, welche mit der Muskelcontraction verknüpft sind. Eine Anordnung von der hier beschriebenen Art nennen wir empfindlich, weil schon ein geringfügiger Anstoss ausreicht, das labile Gleichgewicht zu stören und die Umformung der Energie herbeizuführen. Der Muskel ist also eine empfindliche Maschine. Aber der Nerv ist in noch höherm Grade empfindlich, da noch geringere Störungen seines Gleichgewichts die Umsetzung der in ihm vorhandenen Energie herbeiführen können. Diese ist freilich keiner grossen Wirkungen fähig. Sie würde kaum nachweisbar sein, wenn die empfindliche Maschine, welche wir Nerv nennen, nicht mit der ebenfalls empfindlichen, aber grösserer Leistungen fähigen Maschine, Muskel genannt, in einer Weise verknüpft wäre, dass die Thätigkeit der einen auslösend auf die andere einwirkt.

5. Eine empfindliche Maschine ist nicht gegen alle möglichen Anstösse gleich empfindlich. Dynamit* kann man mit dem Hammer auf dem Amboss schlagen, ohne dass es explodirt; man kann es mit einer Cigarre in Brand setzen, es brennt ruhig ab wie ein Feuerwerkskörper. Wenn es aber mit dem Funken eines Zündhütchens in Berührung kommt, explodirt es und entfaltet seine gewaltigen Wirkungen. Der Nerv ist empfindlich gegen elektrische Schläge, gewisse mechanische, thermische und chemische Einflüsse. Er ist unempfindlich gegen viele andere Einflüsse. Diejenigen Einwirkungen, gegen welche der Nerv empfindlich ist, haben wir Reize genannt. Der Muskel ist empfindlich gegen elektrische Schläge, gegen gewisse mechanische, thermische, chemische Reize, vor allen Dingen aber gegen die Einwirkung des thätigen Nerven. Diese kann, wie wir in den vorhergehenden Paragraphen gesehen haben, vielleicht auf elektrische Reizung zurückgeführt werden. Muskel und Nerv verhalten sich gegen Reize im wesentlichen gleich. Da wir aber jetzt wissen, dass im Innern des Muskels zwischen seinen Fasern auch Nerven verlaufen, ja, dass diese sogar in das Innere der Muskelfasern eindringen, so kommt uns ein Bedenken. Vielleicht ist der Muskel gar nicht selbständig reizbar. Vielleicht sind es, wenn wir äussere Reize auf den Muskel einwirken lassen, immer nur die intramuskulären Nerven, welche wir reizen, und die dann erst ihrerseits auf die Muskelfasern einwirken. Mit andern Worten, es ist die Frage zu beantworten: Ist der

* Dynamit ist ein Gemenge von Nitroglycerin und Kieselguhr, einer aus kieselhaltigen Infusorienschalen bestehenden Erde. Nitroglycerin ist eine aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und Stickstoff zusammengesetzte, höchst explosible Flüssigkeit. Bei der Explosion entstehen aus einem Volum der Flüssigkeit mehr als 10000 Volume Gase: Kohlensäure, Wasserdampf, Stickstoffoxydul und Stickstoff. Daher die mächtige Wirkung. Weiteres über „Auslösung“ siehe in Balfour Stewart, „Die Erhaltung der Energie“, Leipzig 1875.

Muskel nur reizbar durch Vermittelung des Nerven oder auch unabhängig von diesem durch unmittelbare Einwirkung irgendwelcher Reize?

Die Fragestellung ist durchaus nicht neu. Schon Albert von Haller, der Dichter und Physiologe (1708—77) hat sie aufgeworfen und er war vielleicht nicht der erste, der es that. Haller entschied sich für die zweite der beiden Möglichkeiten. Er unterschied zwei Grundeigenschaften aller lebenden Substanz: Contractilität und Irritabilität. Dem Nerven schrieb er nur die letztere zu, dem Muskel dagegen beide. Haller fand lebhaften Widerspruch unter seinen Zeitgenossen, und es entspann sich ein Streit, welcher bis in die neueste Zeit fortgedauert hat. Zu Haller's Zeiten kannte man natürlich nur die größten Nervenverzweigungen. Da er im Herzen keine Nerven auffinden konnte, so sah er in den selbständigen Bewegungen desselben einen durchschlagenden Beweis für die Irritabilität der Muskelsubstanz. Je weiter wir mit Hülfe des Mikroskops die Nerven verfolgen können, desto schwieriger wird selbstverständlich die Entscheidung der aufgeworfenen Frage.*

6. Im Jahre 1856 machte der französische Physiologe Claude Bernard Versuche mit einem aus Guayana eingeführten Gifte, welches die dortigen Indianer zum Vergiften ihrer Pfeile benutzten. Es kommt unter dem Namen Curare, Worara oder Wurali als ein brauner eingedickter Pflanzensaft in ausgehöhlten kürbisartigen Früchten, sogenannten Kalebassen, zu uns. Er fand, dass die mit solchem Curare vergifteten Thiere gelähmt werden, dass an den gelähmten Thieren die Reizung der

* Die oben (§. 3) entwickelte Entladungshypothese setzt eigentlich schon voraus, dass die Muskelsubstanz elektrisch reizbar sei. Aber selbst wenn sie bewiesen wäre, bliebe immer noch die Frage offen, ob auch andere (mechanische, thermische und chemische) Reize ohne Vermittelung der Nerven unmittelbar die Muskelsubstanz zu reizen im Stande seien.

Nervenstämme, selbst mit den stärksten elektrischen oder andern Reizen, ganz wirkungslos ist, während die Muskeln selbst noch gut reizbar bleiben. Das war nichts Un-erhörtes. Schon früher hatte Harless in München eine ähnliche Beobachtung an stark ätherisirten Thieren gemacht. Aber bald nachher fanden gleichzeitig Koelliker in Würzburg und auch Bernard selbst bei der Fortsetzung seiner Versuche etwas Neues. Wenn man bei einem Frosch die Blutgefässe in der Kniekehle unterbindet und dann das Thier mit Curare vergiftet, so wird der Unterschenkel nicht gelähmt. Man kann auch durch Reizung des Hüftnerven die Muskeln des Unterschenkels zur Zusammenziehung bringen, in welche das Gift nicht eindringen konnte, weil die betreffenden Gefässe unterbunden waren. Wie steht nun die Frage? Das Curare lähmt nicht die Muskeln, denn diese bleiben immer und überall reizbar; es lähmt aber auch nicht die Nervenstämme, denn diese bleiben reizbar, wenn das Gift zwar zu den Nerven, aber nicht in den Muskel gelangen kann. Es bleibt nur eine Möglichkeit übrig: das Gift lähmt etwas, was zwischen dem Nervenstamm und der Muskelfaser liegt, darum kann der Nervenstamm nicht mehr auf den Muskel wirken. Wie, wenn dieses Etwas die Nervenendigungen wären? — Dann wäre ja die unmittelbare Erregbarkeit der Muskelsubstanz ohne Be-theiligung der Nerven, die vielbestrittene Irritabilität der Muskelsubstanz bewiesen.

Die auffallende Erscheinung steht nicht allein da. Ganz wie das Curare verhalten sich auch einige andere Gifte, z. B. Nicotin, Coniin. Auch von diesen werden die Nervenstämme und die Muskelsubstanz nicht gelähmt, wol aber ein zwischen beiden gelegener Theil. Es fragt sich nur, wodurch kann man beweisen, dass dieser Theil gerade das allerletzte Nervenende sei.

Vergegenwärtigen wir uns die Verhältnisse der Nerven und ihres Uebergangs in die Muskelfaser, so können wir wol verstehen, warum das Gift nicht, oder doch sehr wenig

auf die Nervenstämme wirkt. Die Nervenfasern erhalten nur wenig Blutgefässe, das im Blute aufgelöste Gift kann daher nur sehr langsam und in geringem Maasse zu ihnen kommen; ausserdem bildet wahrscheinlich die fettreiche Markscheide eine Art von schützender Hülle um den Achsencylinder. An der Eintrittsstelle des Nerven in die Muskelfaser aber verliert sich die Markscheide und gerade an dieser Stelle ist ein sehr entwickeltes Netz von Blutgefässen vorhanden. Wenn wir annehmen, dass diese Stelle des Nerven, also nicht das allerletzte, innerhalb des Sarkolemmas gelegene Ende desselben durch das Gift gelähmt werde, so sind alle oben angeführten Erscheinungen vollkommen erklärt. Aber für die Irritabilitätsfrage können sie dann nicht verwerthet werden.

Vergleicht man einen mit Curare vergifteten Muskel mit einem gleichen, aber unvergifteten, so zeigt sich, dass der erstere weniger erregbar ist, d. h. dass man stärkere Reize anwenden muss, um ihn zur Zuckung zu bringen. Man kann dies so erklären, dass die Muskelsubstanz zwar reizbar ist, aber schwerer erregbar als die intramuskulären Nerven. Für die selbständige Reizbarkeit der Muskelsubstanz können ferner noch folgende Wahrscheinlichkeitsgründe angeführt werden. Ein Nerv wird durch kurze, plötzliche Stromschwankungen stark erregt, ein unvergifteter Muskel verhält sich ebenso; aber ein mit Curare vergifteter Muskel ist gegen kurz dauernde Stromstösse weniger empfindlich als gegen langsamer verlaufende. Schreiben wir der Muskelsubstanz selbständige Reizbarkeit zu, dann brauchen wir nur anzunehmen, dass ihr eine grössere Trägheit innewohne als der Nervensubstanz, sodass die reizenden Einwirkungen eben längere Zeit brauchen, um wirksam zu werden.

7. Die vielbesprochene Irritabilitätsfrage ist, wie aus dem Vorhergehenden ersichtlich geworden sein wird, hauptsächlich dadurch entstanden, dass dieselben Reize, welche auf den Nerven wirken, auch auf den Muskel, und zwar

auch auf den mit Curare vergifteten Muskel einzuwirken vermögen. Kleine Unterschiede haben wir eben kennen gelernt; wenn es gelänge, grössere Unterschiede nachzuweisen, insbesondere wenn es gelänge, Reize aufzufinden, welche auf die Muskelsubstanz wirken, auf die Nervensubstanz dagegen nicht, so wäre damit für die Irri-
tabilitätslehre ein neuer Standpunkt gewonnen. Keine Art der Reizung ist so mannichfaltiger Abwechselungen fähig als die chemische. Aus der unendlichen Zahl von chemischen Körpern können wir diejenigen heraussuchen, welche überhaupt den Nerven oder Muskel reizen und jeden von diesen können wir in den verschiedensten Concentrationsgraden der Probe unterwerfen. Wenn es überhaupt Unterschiede zwischen Nervensubstanz und Muskelsubstanz gibt, so ist hierbei die Wahrscheinlichkeit vorhanden, dass wir sie auffinden. Von diesen Voraussetzungen ausgehend hat Kühne das Verhalten von Nerven und Muskeln gegen chemische Reize untersucht, und er glaubte in der That, einige Unterschiede aufgefunden zu haben.

Um das Verhalten der Nerven und Muskeln gegen chemische Reize zu untersuchen, brachte Kühne die zu prüfende Substanz mit einem frisch angelegten Querschnitt des Nerven oder Muskels in Berührung. Als Muskel benutzte er den dünnen, parallelfaserigen *Musculus sartorius* vom Oberschenkel. Er hing ihn in einer Klemme, die seine untere spitze Sehne festklemmt, auf, also verkehrt, und schnitt sein oberes, nach unten hängendes Ende ab. An den so erzeugten Querschnitt brachte er die zu prüfende Flüssigkeit und beobachtete, ob eine Zuckung eintritt oder nicht. Man kann dann die kurze benetzte Strecke abschneiden und den Versuch wiederholen und so fort, solange der Muskel reicht. Aehnlich verfuhr er mit dem Nerven; er benutzte dazu den Hüft-
nerven, wie bei allen Reizversuchen, entweder mit dem ganzen Unterschenkel oder mit dem Wadenmuskel allein. Handelt es sich darum, flüchtige Körper, Dämpfe oder

Gase zu prüfen, so muss man die Muskeln auf geeignete Weise von den Nerven abschliessen.

Der Muskel ist gegen einige Stoffe ausserordentlich empfindlich. Salzsäure, ein Theil mit 1000 bis 2000 Theilen Wasser verdünnt, gibt starke Zuckungen. Von Ammoniak genügt die geringste Spur, um starke Contraction zu bewirken. Man muss sich deshalb bei diesen Versuchen des Rauchens enthalten, weil die im Tabacksrauch enthaltene sehr geringe Ammoniakmenge ausreicht, fortwährend Zuckungen zu bewirken. Der Nerv hingegen ist gegen Salzsäure viel weniger empfindlich und gegen Ammoniak durchaus unempfindlich. Man kann den Nerv in die stärkste Ammoniaklösung tauchen; er stirbt darin sehr schnell ab, er wird aber nicht durch sie gereizt. Dies sind die auffallendsten Unterschiede. Ausserdem ist noch zu erwähnen, dass Glycerin und Milchsäure in concentrirtem Zustande reizend auf den Nerven wirken, auf den Muskel nicht, und dass bei vielen andern Stoffen (Alkalien, Salze) kleine Unterschiede vorkommen, indem bald bei den Nerven, bald bei den Muskeln eine etwas geringere Contraction schon ausreicht, Zuckung zu bewirken.

Wie man sieht, sind die Unterschiede sehr gering. Kühne legte dennoch Werth auf dieselben und schloss aus ihnen zu Gunsten der Irritabilitätslehre. Er stützt diesen Schluss noch durch folgende Beobachtungen. Für die specifischen Muskelreize (Ammoniak — höchst verdünnte Salzsäure) ist es ganz gleichgültig, ob man mit gewöhnlichen Muskeln arbeitet oder mit solchen, die man vorher mit Curare vergiftet hat. Es macht auch keinen Unterschied, ob man durch den Nerven eines solchen Sartorius einen starken aufsteigenden Strom leitet, und dadurch die intramuskulären Nervenverästelungen in starken Anelektrotonus versetzt, also lähmt. Er sieht darin einen Beweis, dass eben bei dieser Art der Reizung die im Muskel sich verbreitenden Nerven ganz unbetheiligt sind. Er hat ferner gefunden, dass die Nerven im Sartorius

nicht gleichmässig vertheilt sind. Sie treten etwas unterhalb der Mitte des Muskels ein und vertheilen sich zwischen den Muskelfasern nach oben und unten, aber man kann sie nicht bis an die Enden des Muskels verfolgen, sondern an diesen Enden gibt es 2 bis 3 mm lange Strecken, wo wenigstens keine gröbern Nervenfasern mehr vorhanden sind. Die eigentlichen Muskelreize wirken an diesen Stellen genau ebenso wie an den andern Stellen, dagegen die Nervenreize (concentrirte Milchsäure und Glycerin) wirken an den Enden niemals, während sie an den nervenhaltigen Theilen Zuckungen einzelner Fasern hervorrufen. Diese nervenhaltigen Theile sind auch elektrisch erregbarer als die Enden; durch Curare und durch Anelektrotonus wird ihre Erregbarkeit herabgesetzt, die der nervenfreien Enden aber bleibt unverändert.

Gegen die Beweiskraft der chemischen Reizversuche sind Einwände erhoben worden, deren Berechtigung nicht bestritten werden kann. Alle Flüssigkeiten, welche den Muskel reizen, sind gute Leiter der Elektrizität. Benetzt man den Muskelquerschnitt, so zieht sich etwas von der Flüssigkeit durch Capillarität auch an dem Längsschnitt in die Höhe. Dadurch entsteht ein leitender Bogen für den Muskelstrom, dessen plötzlich eintretende Schliessung reizend auf den Muskel wirken kann. Die specifischen Nervenreize (Glycerin und Milchsäure) wirken wasserentziehend, und dass dadurch der Nerv stark gereizt wird, ist bekannt. Es bleibt danach nur ein sicherer Unterschied zwischen Nerv und Muskel bestehen, das Verhalten gegen Ammoniak, welches auf den Nerven gar nicht, auf den Muskel stark erregend wirkt.

8. Fassen wir das Vorhergehende zusammen, so können wir sagen: Ein bindender Beweis für die selbständige Reizbarkeit (Irritabilität) des Muskels ist nicht gegeben; ebenso wenig aber ist sie widerlegt. Um zu verstehen, wie der Nerv auf den Muskel wirkt, muss man annehmen, dass der Muskel durch ihn gereizt wird, und deshalb

liegt, bei der sonstigen Aehnlichkeit zwischen Nerv und Muskel, kein zureichender Grund vor, zu bestreiten, dass er auch durch andere Reize erregt werden kann. Wenn man trotzdem dem Muskel die Fähigkeit, durch äussere Reize erregt zu werden, absprechen und alle derartige Erregungen nur von den Nervenendigungen herleiten will, so kommt man leicht dahin, zwischen diesen Endigungen und der Nervensubstanz der Fasern grössere Unterschiede anzuerkennen als zwischen den Nervenendigungen und der Substanz des Muskels. Es scheint mir deshalb einfacher zu sein, bei der Haller'schen Lehre zu bleiben. Trifft der Reiz nicht den Muskel selbst, sondern wirkt er auf den Nerven, so pflanzt sich die Erregung von Querschnitt zu Querschnitt fort, bis sie an den Nervenendigungen angelangt ist. Von diesen wird sie auf den Muskel übertragen. Das ist aber keine Erklärung des Vorgangs, sondern nur eine Umschreibung der That- sache und enthält die stillschweigende Voraussetzung, dass die Muskelelemente den in den Nerven- elementen fortge- pflanzten Erregungsvorgang im wesentlichen unverändert aufnehmen und weiter von Muskelement zu Muskelele- ment fortpflanzen.

Um diese Vorgänge einigermaßen dem Verständniss zugänglich zu machen, haben wir angenommen, dass der Nerv aus einer Reihe von hintereinander gelagerten Theil- chen zusammengesetzt sei, deren jedes durch eigene Kräfte und durch die Einwirkung der benachbarten Theilchen in einer bestimmten Lage festgehalten wird. Was auf den Nerven als Reiz wirken soll, muss die Theilchen aus dieser Lage bringen, eine Erschütterung erzeugen, welche sich fortpflanzt, indem die veränderte Lage eines Theilchens eine Störung in dem Gleichgewicht des Nachbartheilchens verursacht; also auch dieses in Bewegung setzt. Ganz ähnlich können wir uns den Vorgang der Erregung und Leitung in der Muskelfaser vorstellen. Mit der Erregung innig verbunden ist eine Veränderung der elektrischen Eigenschaften, indem jedes Theilchen, solange es von

seiner Ruhelage abweicht, negativ gegen alle ruhenden Nerven- oder Muskeltheilchen ist. Sowie aber durch diese elektrische Veränderung jedes Theilchen auf das ihm benachbarte erregend wirken kann, so muss auch der im Nerven entstandene elektrische Vorgang im Stande sein, auf den Muskel zu wirken, falls dieser gegen elektrische Schwankungen empfindlich ist. Die Fortpflanzung der Erregung im Nerven selbst bestände also aus einer Reihe von aufeinander folgenden Reizungen. Die Erregung entsteht sozusagen in jedem Querschnitt des Nerven neu. Und dasselbe muss auch von der Muskelfaser gelten, wenn die Erregung sich in der Faser fortpflanzt, gleichgiltig, ob sie ursprünglich in der Muskelfaser entstanden, oder ob sie vom Nerven hergekommen ist.

SECHZEHNTE KAPITEL.

1. Verschiedene Arten von Nerven; 2. Centralnervensystem;
3. Nervenzellen; 4. Eigenschaften der Nervenzellen; 5. Willkürliche und automatische Bewegung; 6. Reflexbewegung und Mitempfindung; 7. Empfindung und Bewusstsein; 8. Hemmung;
9. Specifische Energien der Nervenzellen; 10. Schluss.

1. Die Untersuchungen, durch welche wir bisher zur Erkennung der Eigenschaften der Nervenfasern zu gelangen suchten, wurden fast ausschliesslich an motorischen Nerven angestellt. Der Umstand, dass an den Fasern selbst bei ihrer Thätigkeit keinerlei sichtbare oder auf andere Weise erkennbare Veränderungen auftreten (ausgenommen die im 13. Kapitel abgehandelten elektrischen Erscheinungen), dass aber die Thätigkeit der motorischen Nerven leicht und auf bequeme Weise durch