

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven

Rosenthal, Isidor

Leipzig, 1899

Zweites Kapitel

grössern Organen vereinigt, nennt man Muskeln. Ihren Fasern, und damit den ganzen Muskeln kommt die Fähigkeit zu, sich zu verkürzen und dadurch auch andere Theile, mit denen sie verbunden sind, in Bewegung zu setzen. Sie sind die hauptsächlichsten und wirksamsten Bewegungsorgane der höhern Organismen.

ZWEITES KAPITEL.

1. Muskeln, ihre Form und Zusammensetzung; 2. Verbindung mit Knochen; 3. Knochen und Gelenke; 4. Feinerer Bau der quergestreiften Muskelfasern; 5. Elasticitätsgesetz; 6. Elasticität der Muskeln.

1. Die Muskeln bilden in den Körpern der Thiere das, was man im gewöhnlichen Leben als Fleisch bezeichnet. Präparirt man einen solchen Muskel, so findet man in der Regel, dass er an seinen beiden Enden in weisse Stränge oder Sehnen übergeht, welche an Knochen befestigt sind. Durch die Verkürzung der Muskeln können dann diese Knochen gegeneinander bewegt werden. Aber nicht alle Muskeln sind in dieser Weise angeordnet. Einige bilden in sich selbst zurücklaufende Ringe oder die Wandungen von hohlen Räumen, Säcken oder Schläuchen. Wenn diese sich verkürzen, so werden die Oeffnungen oder Hohlräume verkleinert, ihr Inhalt fortgeschoben.

Die mit Knochen verbundenen Skelettmuskeln können verschiedene Formen haben. Zuweilen sind sie platte dünne Bänder oder cylindrische Stränge, zum Theil von bedeutender Länge. Andere wieder sind in ihrer Mitte dicker als an ihren Enden; man nennt dann die Mitte den Bauch, und die Enden Kopf und Schwanz des Muskels. Manche Muskeln haben zwei oder mehrere Köpfe, d. h. zwei oder mehrere Stränge, welche von verschiedenen Knochenpunkten entspringen, vereinigen sich zu einem gemeinschaftlichen Bauch. Stets jedoch besteht ein solcher Muskel, er mag äusserlich gestaltet sein wie

auch immer, aus einzelnen Fasern, welche zu Bündeln vereinigt, den ganzen Muskel zusammensetzen.

Die Fasern sind von einer festen, schlauchartigen Hülle (dem Sarkolemma oder Muskelfaserschlauch) eingeschlossen. Mit diesem sind die Sehnen fest verkittet.

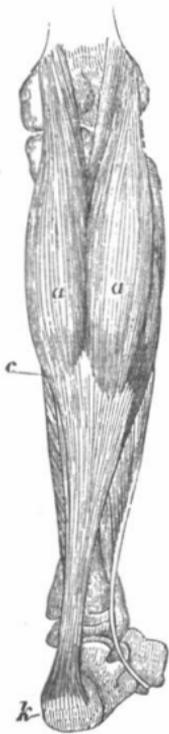


Fig. 5.

Der *M. gastrocnemius*, von hinten gesehen. Der darunterliegende *M. soleus* ist verdeckt. — *a, a* die beiden vom Oberschenkel entspringenden Köpfe; bei *c* beginnt der den untern Theil des Muskels bedeckende sehnige Ueberzug, welcher in die Achillessehne ausläuft und sich bei *k* an das Fersenbein anheftet.

2. Diese Sehnen bestehen aus starken, feinen Fäden vom Charakter des sogenannten Bindegewebes. Während eine grössere Zahl von Muskelfasern den Muskelbauch zusammensetzen, lagern sich diese Fäden zu Strängen aneinander, welche zuweilen nur kurz, in andern Fällen sehr lang sind. Je nach der Grösse der Muskeln sind sie bald dünner, bald stärker. Sie dienen zur festen Vereinigung der Muskeln mit den Knochen, auf welche sie gleichsam wie Seile den Zug des Muskels übertragen. Gewöhnlich ist der eine der beiden Knochen, an welchem ein Muskel befestigt ist, weniger beweglich als der andere, sodass bei der Verkürzung des Muskels der letztere gegen den erstern herangezogen wird. In diesem Falle nennt man die Anheftung des Muskels an den weniger beweglichen Knochen seinen Ursprung, die Anheftung an den beweglichen seinen Ansatz. So gibt es z. B. einen Muskel, welcher vom Schulterblatt und Schlüsselbein entspringt und sich an den Oberarmknochen ansetzt; wenn dieser Muskel sich verkürzt, so hebt er den Arm aus der lothrecht herabhängenden Lage in die wagerechte. Nicht immer ist ein Muskel zwischen zwei benachbarten Knochen

ausgespannt. Zuweilen überspringt er einen Knochen, um sich erst an den nächstfolgenden anzusetzen, oder es

kommt beides zusammen vor, indem verschiedene Köpfe desselben Muskels von zwei benachbarten Knochen entspringen, während die Sehne sich an einen dritten Knochen ansetzt. Diesen Fall sehen wir z. B. bei dem in Fig. 5 dargestellten dreiköpfigen Wadenmuskel (*Musculus triceps surae*).^{*} Zwei seiner Köpfe entspringen an dem untern Ende des Oberschenkels oberhalb des Kniegelenks, der dritte am Schienbein; seine untere Sehne ist am Fersenbein angeheftet. Verkürzt sich der Muskel, so kann er entweder die Ferse heben und damit zugleich die Fussspitze senken; oder aber, wenn diese Bewegung aus irgend einem Grunde verhindert wird, kann er eine Beugung des Unterschenkels gegen den Oberschenkel bewirken. Ueberhaupt können Ursprung und Ansatz der Muskeln ihre Rolle vertauschen. Wenn beide Beine fest auf dem Boden aufstehen, so werden die genannten Muskeln die erwähnten Bewegungen nicht auszuführen vermögen. Dagegen können sie auf den ganzen Oberkörper eine Art von Stoss ausüben, durch welchen die Fersen vom Boden ab- und der Körper im ganzen gehoben wird.

3. Um die mechanischen Wirkungen der Skelettmuskeln deutlicher darstellen zu können, ist es nothwendig, etwas auf die Formen der Skelettknochen und die Art ihrer Verbindung untereinander einzugehen.

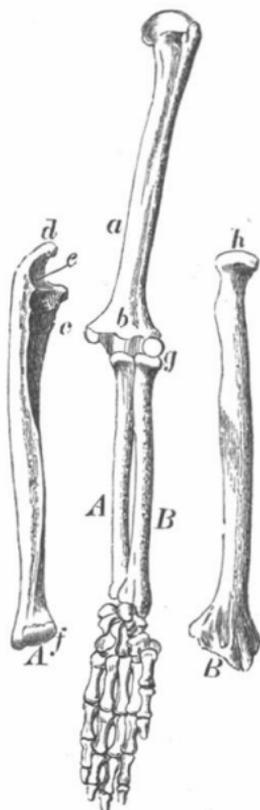


Fig. 6. Knochen des Arms. *a* der Oberarmknochen, *A* Einbogenbein, *B* Speiche, *b*, *g*, *c*, *e*, *h* die Gelenkenden der Knochen am Einbogen-gelenk.

^{*} Gewöhnlich wird dieser Muskel in zwei getrennt: den doppelköpfigen *M. gastrocnemius* und den einköpfigen *M. soleus*.

Die Knochen werden je nach ihrer Gestalt in platte, kurze und lange Knochen eingetheilt. Die platten Knochen sind, wie ihr Name ausdrückt, hauptsächlich nach zwei Richtungen ausgedehnt; sie stellen dünne Tafeln dar. Bei den kurzen Knochen sind alle drei Ausdehnungsrichtungen gering und nahezu gleich. Bei den langen Knochen endlich überwiegt die Längenausdehnung bedeutend über die beiden andern. Aus solchen langen Knochen sind hauptsächlich die Extremitäten, Arme und Beine, gebildet. Der Arm z. B. besteht aus einem langen Knochen, dem Oberarmbein; daran reihen sich zwei lange Knochen, die den Vorderarm bilden (man nennt sie das Elnbogenbein und die Speiche), endlich durch Vermittelung mehrerer kurzer Knochen, welche die Handwurzel bilden, die Hand selbst; diese besteht aus den fünf Mittelhandknochen und den fünf Fingern, von denen der erste zwei, die vier andern je drei Abtheilungen oder Glieder haben.

An allen diesen Knochen bemerken wir (wenn wir von den Handwurzelknochen absehen) einen langen mittlern Theil, den Schaft, und zwei dickere Enden. Der Schaft ist hohl und mit Mark gefüllt, weshalb man solche Knochen auch Röhrenknochen nennt. Die aufgetriebenen Enden sind abgerundet und mit einem glatten, knorpeligen Ueberzuge versehen. Die glatten Enden zweier aneinanderstossender Knochen passen ineinander, sodass die Knochen sich gegeneinander bewegen können, indem die Endflächen aufeinander gleiten. Eine solche Verbindung zweier Knochen nennt man ein Gelenk und die einander berührenden Endflächen der Knochen die Gelenkflächen. Je nach der Gestalt dieser Gelenkflächen ist die Bewegung, welche die Knochen gegeneinander ausführen können, verschieden. Bildet die Gelenkfläche einen Theil einer Kugelfläche, so ist die Bewegung am freiesten und kann nach allen Richtungen hin geschehen. Ein Beispiel davon sehen wir am obern Ende des Oberarmbeins, welches mit einer Kugelfläche endigt, die an einer entsprechenden Gelenkfläche des Schulterblattes anliegt. In

andern Fällen kann die Bewegung nur in einer bestimmten Richtung geschehen, wie z. B. in der Gelenkverbindung zwischen Oberarm und Vorderarm. Solche Gelenke nennt man Scharniergelenke. Sie gestatten den Winkel zwischen beiden Theilen zu verkleinern oder zu vergrössern. Es würde zu weit führen, hier alle Gelenke und die dadurch ermöglichten Bewegungen der Knochen zu behandeln; wir wollten nur zeigen, wie die Wirkung der Muskeln durch die Knochen, zwischen welchen sie ausgespannt sind, bedingt ist.

4. Wir kehren jetzt zu den Muskeln zurück, um uns mit dem feinen Bau der Muskelfasern bekannt zu machen. Die vom Sarkolemma eingehüllten Fasern sind sehr dünn, kaum mit blossem Auge sichtbar. Bei mikroskopischer Betrachtung mit mässigen Vergrösserungen sieht man an der vom Sarkolemma umhüllten Faser, der eigentlichen Muskelsubstanz, eine Abwechslung heller und dunkler Streifen, weshalb man diese Muskelfasern zum Unterschied von andern, später zu besprechenden, quergestreifte Muskelfasern nennt. Ausser diesem Inhalt sieht man im Innern des Sarkolemmaschlauchs noch Kerne, Reste der ursprünglichen Zellen, durch deren Verschmelzung die Faser entstanden ist. Behandelt man die Fasern mit verdünnter Essigsäure, so quellen sie und werden blasser, wodurch dann die Kerne noch deutlicher sichtbar werden.

Schon an ganz frischen Muskelfasern sieht man häufig auch eine zarte Längsstreifung. Dieselbe tritt bei Behandlung mit gewissen Reagentien noch deut-

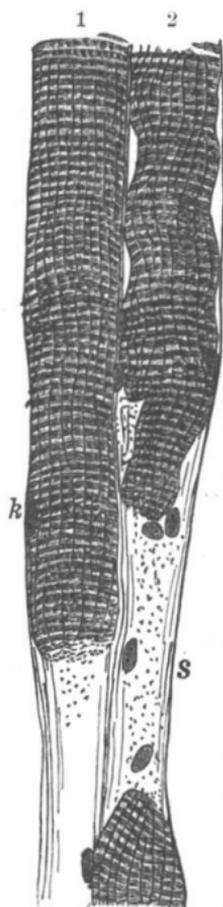


Fig. 7. Zwei quergestreifte Muskelfasern. An der Faser 1 sieht man das Faserende und die sich anschliessende Sehne; bei *k* ist ein Kern sichtbar. Faser 2 ist zerrissen und zeigt bei *s* den leeren Sarkolemmaschlauch und Kerne.

licher hervor; schliesslich kann der Inhalt vollkommen in eine Anzahl sehr feiner Fäden oder Fibrillen zerfallen, an deren jeder noch deutlich die Abwechslung heller und dunkler Querstreifen sichtbar ist. Bei manchen Muskeln, besonders denen von Insekten, tritt der Zerfall in Fibrillen schon an noch lebenden Fasern, ohne alle künstlichen Hilfsmittel ein. Die Muskelfaser besteht demnach aus einer Anzahl Fibrillen, welche so nebeneinander liegen, dass die hellen und die dunklen Stellen derselben genau aneinanderstossen und so die Erscheinung der Querstreifen an der ganzen Faser bewirken.

Sehr wichtig für die Kenntniss der Muskelstructur ist die Betrachtung der Muskelfasern in polarisirtem Licht. Die Lichterscheinungen beruhen nach den Anschauungen der heutigen Physik auf Schwingungen eines im ganzen Weltenraum verbreiteten, auch innerhalb der Körper vorhandenen feinen Stoffs, des Aethers. Diese Schwingungen gehen stets senkrecht auf die Fortpflanzungsrichtung der Bewegung vor sich. Innerhalb der senkrecht auf dem Lichtstrahl gedachten Ebenen kann ein Aethertheilchen nach den verschiedensten Richtungen hin schwingen. Unter gewissen Umständen aber schwingen sie alle nur in einer Ebene; dann zeigt ein solcher Lichtstrahl gewisse Eigenthümlichkeiten und wird polarisirt genannt. Manche Krystalle haben die Eigenschaft, das Licht, das durch sie hindurchdringt, zu polarisiren. Einige zerlegen dabei einen jeden Lichtstrahl in zwei Strahlen, welche in verschiedenen Richtungen aus dem Krystall austreten. Sie werden deshalb doppelbrechende Körper genannt; der isländische Kalkspat, auch Doppelspat genannt, bietet das bekannteste Beispiel eines solchen doppelbrechenden Körpers. Brücke hatte gefunden, dass von den beiden Schichten, welche bei mässigen Vergrösserungen in regelmässiger Abwechslung als helle und dunkle Streifen die Fasern zu bilden scheinen, die erste das Licht unverändert hindurchgehen lässt, die zweite dagegen doppelbrechende Eigenschaften besitzt. Bei

stärkerer Vergrößerung sieht man, wie es in Fig. 8 dargestellt ist, dass die dunklen Querstreifen aus zwei getrennten Streifen bestehen, und ausserdem erscheint dann mitten in der einfach brechenden hellen Schicht noch ein zarter dunkler Streifen, welcher gleichfalls doppelbrechend ist.

Aus allen diesen Erscheinungen müssen wir den Schluss ziehen, dass die quergestreifte Muskelfaser aus einer grossen Zahl sehr regelmässig angeordneter kleinster Theilchen bestehe, deren jeder schon einen sehr verwickelten Bau besitzt. Wir wollen sie *Myomeren** nennen. Durch die Aneinanderreihung dieser kleinsten Theilchen der Länge nach entsteht eine Fibrille und viele solche nebeneinander liegender Fibrillen bilden die von dem Sarkolemmaschlauch umhüllte Muskelfaser.

5. Zum Studium der physiologischen Eigenschaften der Muskeln eignen sich vorzüglich die Muskeln kaltblütiger Thiere, besonders der Frösche, weil sie aus dem Verband des Thieres losgelöst noch sehr lange ihre Lebenseigenschaften bewahren. Köpft man einen Frosch und schneidet einen Muskel des Ober- oder Unterschenkels, ohne ihn zu verletzen, heraus, so kann man seine eine Sehne oder noch besser den Knochen, an welchem diese Sehne befestigt ist, in eine Zange einklemmen und seine andere Sehne mit einem Hebel in Verbindung bringen. Letzterer ersetzt den Knochen, durch dessen Bewegung die Verkürzung des Muskels erkannt werden kann. Wir können auch an den Muskel Gewichte

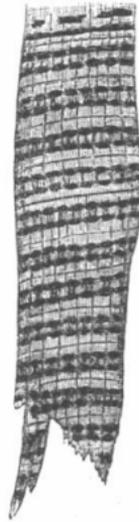


Fig. 8. Stück einer gefärbten Muskelfaser bei starker Vergrößerung (1000:1). Der dunkle Querstreifen erscheint in zwei Punktreihen getrennt; in der einfach brechenden, hellen Substanz sieht man noch einen zarten, doppelbrechenden, dunklen Streifen. Die kleinen, zwischen je zwei zarten Streifen enthaltenen Felder sind die Myomeren.

* Von (griechisch) *Mys*, Muskel, und *Meros*, Theilchen. Näheres folgt später.

hängen und untersuchen, ob und wie hoch er sie zu heben vermag. Aber wir bemerken dabei sofort, dass der Muskel durch die angehängten Gewichte gedehnt wird und zwar um so mehr, je schwerer das Gewicht ist. Es ist dies eine Folge der elastischen Eigenschaften des Muskels; ehe wir an die Untersuchung der Muskelverkürzung gehen, wird es daher nöthig sein, vorher die Elasticität derselben einer genauern Untersuchung zu unterwerfen.

Elastisch nennen wir solche Körper, welche unter der Einwirkung äusserer Gewalt ihre Gestalt verändern und beim Aufhören der äussern Einwirkung dieselbe wieder annehmen. Je vollständiger dieses geschieht, desto grösser ist die Elasticität des Körpers. Die äussere Gewalt kann bestehen in einem Zug, welcher den Körper in einer Richtung ausdehnt; oder in einem Druck, welcher den Körper auf einen kleinern Rauminhalt zusammenpresst, oder in einem Zug oder Druck, der den Körper biegt. In unserm Falle haben wir es mit Zugkräften zu thun, welche in der Längsrichtung des Körpers wirken und denselben dehnen; wir untersuchen die Zugelastizität des Muskels. Versuche über Zugelastizität sind von den Physikern an den verschiedensten Körpern angestellt worden. Man nimmt zu diesen Versuchen am besten Körper von regelmässiger Gestalt, Stäbe oder Drähte, deren Längenausdehnung ihre Dicke bedeutend übertrifft.

Befestigt man einen solchen Körper, z. B. einen Stahldraht, Glasfaden u. dgl. an seinem obern Ende unverrückbar an einem Balken der Zimmerdecke, misst genau seine Länge und hängt dann Gewichte an das untere Ende, so ergibt sich, dass die Dehnungen, welche solche Gewichte hervorbringen, erstens um so grösser sind, je schwerer das dehnende Gewicht oder die Belastung ist; zweitens je länger der gedehnte Körper ist. Aber umgekehrt wird bei gleicher Länge und gleicher Belastung die Dehnung um so geringer, je dicker der Körper, d. h. je grösser sein Querschnitt ist. Letzteres lässt sich leicht erklären, wenn man annimmt, ein Stab oder Draht

bestehe aus einem Bündel feiner Stäbe oder Drähte, welche glatt nebeneinander liegen. Wählen wir z. B. zum Versuch einen Stahlstab von genau einem Quadratcentimeter Querschnitt, so können wir uns vorstellen, dieser bestehe aus 100 nebeneinander liegenden gleichlangen Stäben, deren jeder einen Quadratmillimeter Querschnitt hat. Hängen wir also an einen derartigen Stab ein Gewicht von $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$, so würde gleichsam jeder der 100 dünnen Stäbe nur 10 g zu tragen haben. Vergleichen wir damit die Dehnung eines andern Stahlstabes, welcher gleiche Länge, aber doppelten Querschnitt hat, so können wir uns diesen zweiten Stab aus 200 derartigen feinen Stäben zusammengesetzt denken, deren jeder einen Millimeter Querschnitt hat. Es vertheilt sich also die Last jetzt auf 200 derartige Stäbe, und jeder derselben hat nur 5 gr zu tragen. Es wird dadurch erklärlich, warum ein doppelt so dicker Stab unter derselben Belastung nur halb so stark gedehnt wird. Dass die Dehnung der Länge des gedehnten Stabes proportional ist, kann man sich folgendermaassen klar machen. Jeder Körper besteht nach der Anschauung der jetzigen Physiker aus einer Anzahl kleiner Molekeln* oder Theilchen, welche durch anziehende und abstossende Kräfte in bestimmten Entfernungen voneinander gehalten werden. Wird ein solcher Stab an seinem obern Ende befestigt, und an seinem untern Ende mit einem Gewichte belastet, so wird die Entfernung der einzelnen Molekeln voneinander um eine geringe Grösse vermehrt. Die Summe aller dieser kleinen Entfernungszunahmen ist die gesammte Dehnung, die wir am untern Ende messen. Je länger ein Körper ist, desto mehr solcher kleiner Theilchen befinden sich in seiner ganzen Länge hintereinander, desto bedeutender muss also auch die gesammte Dehnung unter sonst gleichen Umständen sein.

Aus diesen Betrachtungen ergibt sich also für die

* Molekel, d. h. *molecula* (lateinisch) = kleine Masse.

elastische Dehnung das Gesetz, dass die Dehnung direct proportional ist der Länge des gedehnten Körpers und der Schwere des dehnenden Gewichts; dagegen umgekehrt proportional dem Querschnitt des gedehnten Körpers. Man bezeichnet dieses Gesetz, welches durch die genauesten Versuche vollkommen sichergestellt ist, als das Elasticitätsgesetz von Hook und 's Gravesande. Um aber für einen bestimmten Körper die Dehnung zu finden, bedarf es noch der Kenntniss eines Factors, welcher von der Natur des Körpers abhängt; denn unter sonst gleichen Umständen ist die wirklich im Versuch gefundene Dehnung bei Stahl eine andere als bei Glas, bei diesem wieder anders als bei Blei u. s. w. Wenn man aus den in den Versuchen gefundenen Dehnungen diejenige Dehnung berechnet, welche nach dem Elasticitätsgesetz auf die Einheit der Länge und des Querschnitts des belasteten Körpers und auf die Einheit der Belastung entfällt, so erhält man eine Zahl, welche aussagt, um wie viel ein Körper von bestimmter Beschaffenheit, welcher einen Meter lang ist und einen Quadratcentimeter Querschnitt hat, bei einer Belastung von einem Kilogramm gedehnt wird. Diese Zahl, welche also für jede Substanz, Stahl, Glas u. s. w. eine constante Grösse ist, nennt man den Elasticitäts-coëfficienten der Substanz.

6. Man hat diese Untersuchungen auch auf organische Körper, Kautschuk, Seide, Muskeln u. s. w. ausgedehnt und dabei einige Eigenthümlichkeiten beobachtet, welche uns natürlich besonders interessiren müssen. Zunächst zeigen alle diese Körper, welche wir auch als weiche im Gegensatz zu den starren bisher in Betracht gezogenen bezeichnen können, eine viel grössere Dehnbarkeit, d. h. bei gleicher Länge, gleichem Querschnitt und gleicher Belastung werden die weichen, organischen Körper viel stärker gedehnt als die starren anorganischen. Ausserdem aber zeigen sie noch etwas Besonderes. Wenn man an einen Stahldraht oder dergleichen ein Gewicht hängt,

so wird er verlängert und behält dann die neue Länge so lange, als die Belastung auf ihn wirkt; nimmt man das Gewicht ab, so kehrt der Körper zu seiner frühern Länge zurück. Anders die organischen Körper. Hängen wir z. B. an einen Kautschukfaden ein Gewicht, so finden wir, dass er sofort um eine gewisse Grösse gedehnt wird. Aber wenn das Gewicht nicht gleich wieder entfernt wird, so sehen wir, dass der Kautschukfaden noch weiter gedehnt wird, das Gewicht sinkt immer mehr, freilich nur langsam und zwar mit der Zeit immer langsamer; aber selbst nach 24 Stunden kann man immer noch eine geringe Zunahme in der Dehnung des Fadens beobachten. Wird jetzt das Gewicht entfernt, so verkürzt sich der Faden sofort um eine beträchtliche Grösse, kehrt aber nicht ganz zu seiner ursprünglichen Länge zurück, sondern erreicht diese nur allmählich im Laufe vieler Stunden. Man bezeichnet diese Erscheinung als die nachträgliche Dehnung der organischen Körper. Sie zeigt sich auch am Muskel und erschwert natürlich Bestimmungen über die Dehnbarkeit der Muskeln, da die Messungen verschieden ausfallen je nach dem Moment, in welchem die Ablesung erfolgt. Gewöhnlich berücksichtigt man nur den Betrag der augenblicklich eintretenden Dehnung und vernachlässigt die nachträgliche Dehnung ganz.

Sehr gut eignet sich zu diesen Untersuchungen ein von Du Bois-Reymond erfundener Apparat, welcher in Fig. 9 (S. 24) dargestellt ist. Der Muskel wird an einem festen Träger durch Festklemmen des Knochens, an welchem seine eine Sehne sich ansetzt, in einer Zange unverrückbar befestigt. An seine andere Sehne befestigt man mit Hilfe eines Häkchens ein leichtes Stäbchen, welches eine feine Theilung trägt. Unterhalb dieser Theilung gabelt sich das Stäbchen in zwei Arme, die sich weiter unten wieder vereinigen; in dem so entstehenden Raum ist eine Wagschale zum Auflegen der belastenden Gewichte angebracht. Das Stäbchen endigt schliesslich mit zwei verticalen senkrecht aufeinander stehenden

dünnen Glimmerplatten, welche in ein Gefäß mit Oel tauchen und verhindern, dass das Ganze seitliche Schwankungen mache, während sie der Auf- und Abbewegung kein Hinderniss in den Weg setzen. Um die Dehnung des Muskels zu bestimmen, beobachtet man die an dem Muskel befestigte Scala mit einem Fernrohr, merkt an, welcher Theilstrich der Scala mit einem im Fernrohr horizontal ausgespannten Faden zusammenfällt, legt dann Gewichte auf und beobachtet die Verlängerung, welche sich durch eine Verschiebung des Scalenbildes gegen den Faden bemerklich macht. Natürlich muss man, um aus den gewonnenen Zahlen die Dehnbarkeit zu berechnen, das Gewicht des an den Muskel gehängten Apparats mit in Anschlag bringen.

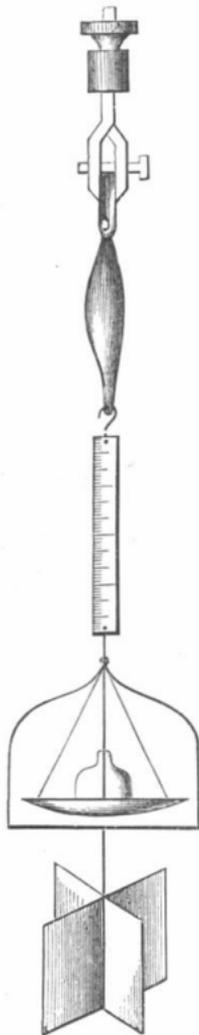


Fig. 9.

Apparat von Du Bois-Reymond zur Untersuchung der elastischen Dehnung der Muskeln.

Nicht ganz so genaue, aber viel bequemere und für die meisten Fälle ausreichende Versuche kann man mit der oben schon kurz erwähnten Vorrichtung machen, indem man die Dehnungen des Muskels an den Ausschlägen eines an ihm befestigten Hebels misst. Man kann auch an dem Hebel eine Schreibvorrichtung anbringen in Form einer an dem Hebel hängenden Stahlspitze, welche an einer davorgestellten berussten Glasplatte die Bewegung des Hebels anzeichnet. Eine solche Vorrichtung nennt man Myographion oder Muskelschreiber. Sie ist in Fig. 10 in der von Pflüger angegebenen vereinfachten Form dargestellt.

Der auf seine Elasticität zu untersuchende Körper ist in der Klemme *C* festgeklemmt und mit dem

Hebel *EE* verbunden, dessen Spitze an der berussten Glasplatte anliegt.* Das Gewicht des Hebels wird durch das Gegengewicht *H* im Gleichgewicht gehalten. Legt man auf die Wagschale *F* Gewichte, so geht der Hebel abwärts; seine Spitze zeichnet eine gerade Linie, welche

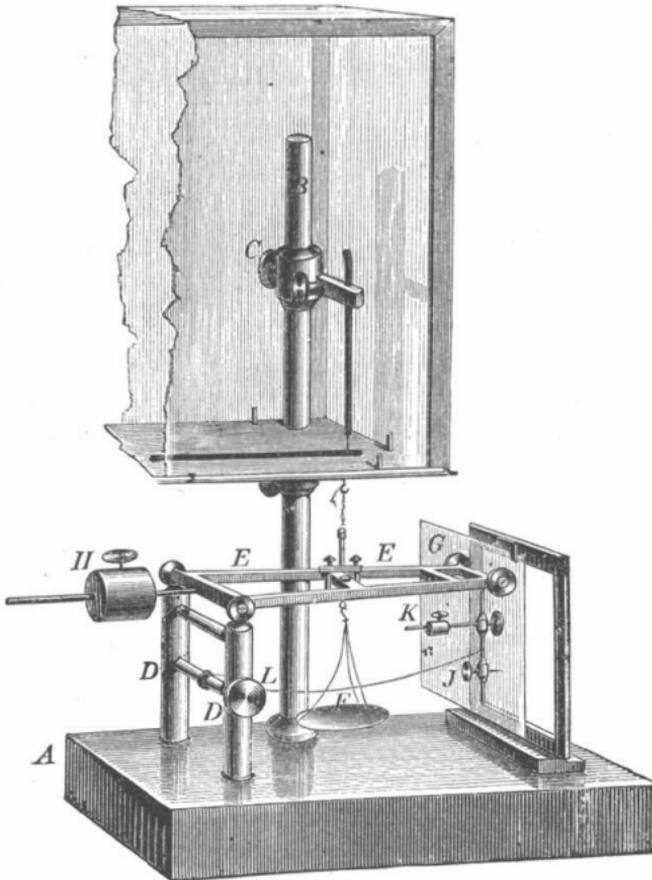


Fig. 10. Einfaches Myographion.

den Betrag der Dehnung zu messen gestattet. Bei Versuchen an Muskeln ist es wichtig, dieselben vor Ver-

* Durch Aufwinden des Fadens *L* auf die Welle *D* kann man die Spitze *J* von der Glasplatte *G* entfernen, wenn nicht geschrieben werden soll.

trocknung zu schützen. Zu diesem Zwecke wird der Muskel mit einem Glasgehäuse umgeben und die Luft in diesem feucht erhalten.

Muskeln zeigen noch eine andere Abweichung von dem Verhalten der starren Körper, welche gleichfalls sämtlichen weichen Körpern eigen ist. Am Stahl u. dgl. haben wir gefunden, dass die Dehnungen den Belastungen genau proportional sind, d. h. wird ein gewisser Stahldraht durch 1 kg um 1 mm gedehnt, so beträgt die Dehnung bei 2 kg Belastung 2 mm, bei 3 kg Belastung 3 mm u. s. f. Anders der Muskel und die übrigen weichen Körper. Sie sind bei schwachen Belastungen verhältnissmässig dehnbarer als bei stärkern. Ein Muskel z. B. werde durch 10 g Belastung um 5 mm gedehnt; bei 20 g Belastung wird dann seine Dehnung nicht 10 mm betragen, sondern vielleicht nur 9 mm, bei 30 g Belastung nur 12 mm u. s. f. Die Dehnung wächst also bei steigender Belastung immer weniger und wird zuletzt unmerklich, bis man an die Grenze gelangt, wo der Muskel durch das angehängte Gewicht zerrissen wird.

Diese Abweichungen der weichen organischen Körper vom Elasticitätsgesetz sind wahrscheinlich keine principiellen, sondern nur durch die ausserordentlich viel grössere Dehnbarkeit, die leichtere Verschiebbarkeit der Molekeln gegeneinander bedingt. Für unsere Zwecke ist es nicht nothwendig, auf die theoretische Seite dieser Frage einzugehen. Wir haben die Elasticitätsverhältnisse nur erwähnt, weil sie bei der Wirkung der Muskeln eine wichtige Rolle spielen. Wenn ein Muskel sich verkürzt, vermag er ein Gewicht zu heben. Dasselbe Gewicht dehnt aber den Muskel, und aus dem Gegeneinanderwirken der beiden Kräfte, dem Verkürzungsbestreben und der elastischen Dehnung, ergibt sich die schliessliche Wirkung, auf welcher die Arbeitsleistung beruht.

In den Versuchen mit dem Apparat Fig. 9 oder mit dem Myographion Fig. 10 erhalten wir einzelne Werthe für die Dehnung des Muskels durch bestimmte Gewichte.

Durch eine 'Abänderung des Myographions, welche von dem schwedischen Physiologen Magnus Blix herrührt, kann man aber auch die Dehnungen für alle Gewichte zwischen zwei bestimmten Grenzen in einem Zuge bestimmen und auf der Glastafel des Myographions in Gestalt einer Curve aufzeichnen lassen. Fig. 11 gibt eine schematische Darstellung des Apparats. Der Muskel ist an einem verticalen Träger AS bei h befestigt, sein unteres Ende bei b mit dem Hebel ab verbunden. Der Drehpunkt dieses Hebels a befindet sich an einer horizontalen Schiene SS , welche mit dem Träger AS fest ver-

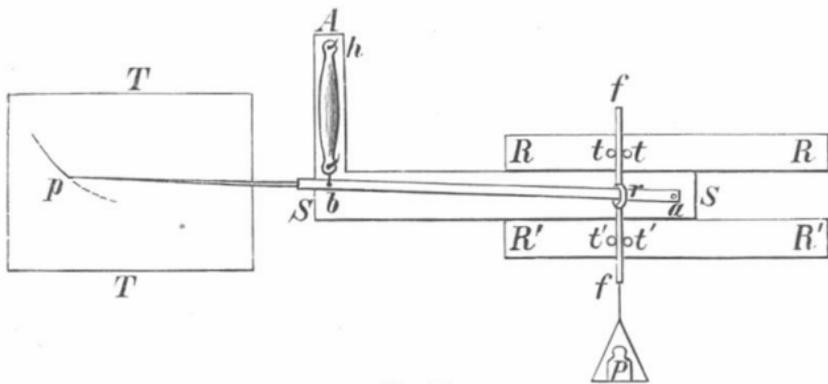


Fig. 11.

Schematische Darstellung des Apparats von Magnus Blix.

bunden ist. Träger und Schiene können zwischen zwei festen Führungsleisten RR und RR' verschoben werden. Das Gewicht p hängt durch den Ring r an dem Hebel; das mit dem Ring verbundene Stäbchen ff und die Stifte t, t, t', t' gestatten dem Gewichte freie Bewegung in verticaler Richtung, verhindern aber jede Verschiebung nach rechts oder links. Wird der Muskel mit seinem Träger und der Schiene SS nach rechts verschoben, so gleitet das Gewicht auf dem Hebel; sein Angriffspunkt wird also vom Drehpunkt entfernt und damit sein Moment oder seine Wirkung auf den Muskel vergrößert. Der Muskel wird also proportional zur Verschiebung stärker

gedehnt und die jeder Belastung entsprechende Zunahme seiner Länge auf der Glastafel in Form einer Curve aufgezeichnet.

DRITTES KAPITEL.

1. Reizbarkeit der Muskeln; 2. Zuckung und Tetanus; 3. Hubhöhe und Arbeitsleistung; 4. Innere Arbeit beim Tetanus; 5. Wärmebildung und Muskelton; 6. Formveränderung bei der Zusammenziehung.

1. Wenn wir einen Froschmuskel aus dem Körper ausschneiden und in dem oben beschriebenen Myographion befestigen, so werden wir niemals beobachten, dass er sich von selbst verkürzt. Oder wenn er dies einmal thun sollte, so können wir sicher sein, dass irgendeine zufällige, von uns nur nicht wahrgenommene Ursache von aussen her auf ihn eingewirkt hat. Dagegen können wir jederzeit die Verkürzung des Muskels herbeiführen, wenn wir ihn mit einer Pincette kneipen, oder mit einer starken Säure betupfen, oder andere Einflüsse auf ihn wirken lassen, die wir noch kennen lernen werden. Der Muskel geräth also nicht von selbst in Verkürzung, er kann aber dazu veranlasst werden. Diese Fähigkeit des Muskels setzt uns in den Stand, den Zustand der Verkürzung willkürlich herbeizuführen und genauer zu erforschen.

Das Myographion (Fig. 10) kann auch benutzt werden, um die Verkürzung des Muskels durch Hebung der Zeichenspitze auf der berussten Glasplatte aufzuzeichnen. An dieser können wir dann die Grösse der Verkürzung messen. Es wird uns später noch wichtige Dienste leisten. Wenn es sich aber nur darum handelt, zu erkennen, ob unter gewissen Umständen eine Verkürzung auftritt oder nicht, ersetzen wir es vortheilhafter durch einen Apparat, welchen E. Du Bois-Reymond für Vorlesungsversuche angegeben hat, und den er Muskeltelegraph nennt (Fig. 12).