

## **Universitäts- und Landesbibliothek Tirol**

### **Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven**

**Rosenthal, Isidor**

**Leipzig, 1899**

Sechstes Kapitel

Folge der Säurebildung sein. Doch sind über diesen Punkt unsere Kenntnisse noch zu unvollkommen und müssen es bleiben, bis die Chemie die Natur der Eiweisskörper besser aufgeklärt haben wird.

---

## SECHSTES KAPITEL.

1. Formen der Muskeln; 2. Verbindung mit den Knochen; 3. Elastische Spannung; 4. Glatte Muskelfasern; 5. Peristaltische Bewegung; 6. Willkürliche und unwillkürliche Bewegung.

1. Bei der Betrachtung der Muskelleistungen in den frühern Kapiteln haben wir immer gleichsam einen idealen Muskel vor Augen gehabt, dessen Fasern alle gleich lang und untereinander parallel gedacht wurden. Solche Muskeln gibt es in der That; sie sind aber selten. Wenn ein solcher Muskel sich verkürzt, so wirkt jede Faser desselben gleich allen andern; die Gesamtwirkung des Muskels ist einfach die Summe der Einzelwirkungen aller Fasern. In der Regel aber sind die Muskeln nicht so einfach gebaut. Anatomisch kann man je nach der Form und der Art der Faserung kurze, lange und flache Muskeln unterscheiden. Wenn die Fasern nicht parallel sind, so gehen sie entweder einerseits von einer breiten Sehne aus und streben alle nach einem Punkte zusammen, von dem dann eine kurze rundliche Sehne die Anheftung an den Knochen vermittelt (fächerförmige Muskeln); oder die Fasern setzen sich schräg an eine lange Sehne an, von der sie sich alle nach einer Richtung (halbgefiederte Muskeln) oder nach zwei entgegengesetzten Richtungen, ähnlich dem Bart einer Feder abzweigen (gefiederte Muskeln).

Bei den fächerförmigen Muskeln erfolgt der Zug der

einzelnen Fasern nach verschiedenen Richtungen. Einzelne Theile eines solchen Muskels können zuweilen sich allein zusammenziehen, während die andern in Ruhe bleiben; dann bewegen sie den Knochen in der Richtung ihres Zuges. Oder aber alle Fasern ziehen sich gleichzeitig zusammen; dann findet man die Richtung und Stärke ihrer Gesamtwirkung nach dem Satz vom Parallelogramm der Kräfte. Ein solcher fächerförmiger Muskel ist z. B. der schon im zweiten Kapitel erwähnte Heber des Oberarms, welcher wegen seiner dreieckigen Form der Deltamuskel genannt wird. Bei ihm kommen Zusammenziehungen einzelner Theile in der That vor. Wenn sich nur der vordere Abschnitt des Muskels zusammenzieht, wird der Arm im Schultergelenk nach vorn gehoben; wenn sich nur der hintere Theil des Muskels zusammenzieht, erfolgt die Hebung nach hinten. Wenn aber alle Fasern des Muskels zusammenwirken, setzen sich die Wirkungen der einzelnen Zugkräfte zu einer Resultante zusammen, welche die Hebung des Arms in der Ebene der gewöhnlichen Lage zur Folge hat.

Auch bei den halbgefiederten und gefiederten Muskeln fällt die Verbindungslinie der beiden Ansatzpunkte nicht mit der Richtung der Fasern zusammen. Wenn ein solcher Muskel sich zusammenzieht, wirkt jede Faser als eine Zugkraft in der Richtung ihrer Verkürzung. Von jeder dieser vielen Kräfte kommt aber nur eine Componente zur Geltung, welche in der Richtung, in der die Bewegung wirklich vor sich geht, liegt, und die Gesamtwirkung des Muskels ist die Summe dieser einzelnen, für jede Faser zu berechnenden Componenten. Um die Wirkung eines solchen Muskels zu berechnen, müssten wir die Zahl der Fasern und den Winkel, welchen jede mit der Zugrichtung einschliesst, bestimmen, eine Aufgabe, welche auch nur für einen einzelnen Muskel zu lösen, die Geduld auf eine harte Probe stellen würde. Glücklicherweise bedarf es so langweiliger Bestimmungen für unsere Zwecke nicht. Die Kraft können

wir nach der oben, Kapitel IV, §. 6 angegebenen Methode für viele Muskeln unmittelbar durch den Versuch bestimmen, und für die vom Muskel zu leistende Arbeit ist es gleichgültig, ob die Fasern alle parallel sind und in ihrer eigenen Richtung zur Wirkung kommen, oder ob sie irgendwelche Winkel mit dieser Wirkungsrichtung machen.\*

2. Die Hubhöhe hängt, wie wir schon früher (Kap. III, §. 3) gesehen haben, von der Länge der Muskelfasern und der Belastung ab. Aber auch bei solchen Muskeln, deren Fasern eine beträchtliche Länge haben, kann selten die ganze, dieser Länge entsprechende Hubhöhe ausgenutzt werden, weil die Gestalt der Knochen und ihrer Gelenke, sowie die Bänder, welche die Knochen zusammenhalten, bewirken, dass die Knochen nur innerhalb gewisser Grenzen beweglich sind. Die Muskelfasern können sich deshalb nur innerhalb enger Grenzen verkürzen, und deshalb ist auch meistens die mit der Verkürzung abnehmende Kraft der Zusammenziehung (s. Kap. IV, §. 8) von geringer Bedeutung. Ebenso hat die Beschaffenheit der Gelenke die Folge, dass die Bewegung der Knochen nur in bestimmten Richtungen erfolgen kann. Ein reines Charniergelenk, z. B. das Elnbogengelenk, gestattet nur Beugung und Streckung (vgl. Kapitel II, §. 4), also nur eine Bewegung in einer Ebene. Muskeln, welche nicht in dieser Ebene liegen, können deshalb nur mit einem Theil ihrer Zugkräfte zur Wirkung kommen.

Anders ist es bei den freien Kugelgelenken, welche eine Bewegung der Knochen in jeder beliebigen Richtung innerhalb gewisser Grenzen gestatten. Wenn um ein solches Gelenk herum viele Muskeln liegen, so wird jeder von ihnen, wenn er allein wirkt, den Knochen in seiner Wirkungsrichtung in Bewegung setzen; wenn aber zwei oder mehrere Muskeln gleichzeitig in Thätigkeit gerathen,

---

\* S. Anmerkungen und Zusätze Nr. 2.

so wird ihre Wirkung die Resultirende der einzelnen Zugkräfte jedes Muskels sein, die nach dem Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte zu finden ist.

Da sich die Knochen bei den Bewegungen um ihre durch die Gelenke gegebenen Achsen drehen, so können wir sie als Hebel betrachten. Meistens stellen sie einarmige Hebel dar, d. h. solche, deren Drehachse an ihrem einen Ende liegt.\* Die Zugrichtung der Muskeln ist meistens nicht senkrecht zu dem zu bewegenden Knochenhebel gerichtet, sondern unter einem spitzen Winkel. In einem solchen Falle kommt von der Zugkraft des Muskels nur die auf den Hebelarm senkrechte Componente zur Geltung. In vielen Fällen besitzen aber die Knochen an den Ansatzstellen der Muskeln Vorsprünge und Erhabenheiten, über welche die Muskelsehne wie über eine Rolle fortgeht, sodass sie unter einem günstigeren Winkel an den Knochen angreift. In andern Fällen sind in der Sehne selbst knorpelige oder knöcherne Verdickungen vorhanden (sogenannte Sesambeine), welche in demselben Sinne wirken. Das grösste dieser Sesambeine ist die Kniescheibe, welche in die starke Sehne der vordern Oberschenkelmuskeln eingeschaltet die Ansatzrichtung dieser Sehne am Schienbein günstiger gestaltet, als sie sonst wäre.

Zuweilen läuft die Sehne eines Muskels über eine wirkliche Rolle, sodass die Richtung, in welcher die Muskelfasern sich verkürzen, von derjenigen, in welcher ihr Zug zur Wirkung kommt, ganz und gar abweicht.

3. Eine letzte bedeutsame Folge der Verbindung der Muskeln mit den Knochen ist ihre dadurch bewirkte Dehnung. Wenn wir bei einer Leiche ein Glied in seine

---

\* Im menschlichen Körper gibt es nur wenige Ausnahmen von dieser Regel. Beim Kopf, Becken und Fuss liegt die Drehachse nicht am Ende der Knochen. Diese stellen also zweiarmige Hebel dar.

gewöhnliche, auch im Leben meist innegehaltene Lage bringen und dann einen Muskel am einen Ende von seinem Ansatz ablösen, so zieht er sich zurück und wird kürzer. Dasselbe geschieht im Leben, wie man bei der von Chirurgen geübten Sehnendurchschneidung, die zur Heilung von Verkrümmungen ausgeführt wird, beobachten kann. Da der Erfolg während des Lebens und nach dem Tode der gleiche ist, so haben wir es dabei offenbar mit einer Wirkung der Elasticität zu thun. Wir sehen also, dass die Muskeln durch ihre Verbindung mit dem Skelet gedehnt sind und sich vermöge ihrer Elasticität stets zu verkürzen streben. Wenn mehrere Muskeln an einem Knochen so befestigt sind, dass sie in verschiedenen Richtungen ziehen, so wird der Knochen eine Lage annehmen müssen, bei der die elastischen Zugkräfte aller Muskeln einander gleich sind, und alle diese Zugkräfte werden zusammenwirken, um die Gelenkenden mit einer gewissen Kraft gegeneinanderzupressen, was offenbar mit zur Festigkeit der Gelenkverbindungen beiträgt. Wenn dann einer dieser Muskeln sich zusammenzieht, so wird er den Knochen in seiner Zugrichtung in Bewegung setzen, dabei aber den in entgegengesetzter Richtung wirkenden Muskel dehnen; dieser setzt daher vermöge seiner Elasticität der Zugwirkung des erstgenannten Muskels ein Hinderniss entgegen und führt, sobald die Zusammenziehung desselben nachlässt, das Glied wieder in seine Anfangslage zurück. Diese durch die Elasticität der Muskeln bedingte Mittellage aller Glieder beobachten wir an Schlafenden, wenn alle activen Muskelthätigkeiten fehlen; wir sehen dann, dass die Glieder meist in einem geringen Grade gebeugt sind, sodass sie stumpfe Winkel miteinander bilden.

Nicht alle Muskeln sind zwischen Knochen ausgespannt. Manche verlieren sich mit ihren Sehnen in weichen Gebilden, wie viele Muskeln des Gesichts. Auch hier üben die verschiedenen Muskeln aufeinander eine gegenseitige Spannung aus und bewirken dadurch eine bestimmte

Gleichgewichtslage der Weichtheile, wie man am Gesicht an der Stellung der Mundspalte sehen kann. Ist der Zug der symmetrisch angeordneten Muskeln nicht gleichmässig, dann stellt sich die Mundspalte schief. Dies geschieht, wenn die Muskeln der einen Gesichtshälfte gelähmt sind; man ersieht daraus, dass die elastische Spannung allein zu schwach ist, um die normale Lage wiederherzustellen.

Manche Muskeln sind so um eine Oeffnung oder Spalte angeordnet, dass sie die Oeffnung verkleinern oder verschliessen. Man nennt sie daher Ring- oder Schliessmuskeln. Beispiele hierfür finden wir am Munde und an den Augenlidern. Andere Muskeln wieder bilden die Wandungen von Hohlräumen. Durch Verkürzung dieser werden die Hohlräume verkleinert und ihr Inhalt ausgetrieben. Das Herz z. B. ist ein hohler Muskelsack, welcher durch abwechselnde Zusammenziehung und Erschlaffung das Blut in Bewegung setzt.

4. Wir haben bei unsern bisherigen Betrachtungen immer nur die eine Art von Muskelfasern berücksichtigt, welche wir im Eingange als die quergestreifte bezeichnet haben. Es gibt aber, wie wir gesehen haben, noch eine zweite Art, die sogenannten glatten Muskelfasern oder muskulösen Faserzellen. Diese bilden nicht so abgegrenzte Muskelmassen, wie die quergestreiften Muskelfasern, sondern kommen in andern Organen zerstreut oder zu mehr oder minder dicken Lagen oder Schichten angeordnet vor.\* Sehr häufig bilden sie in regelmässiger Anordnung weit ausgedehnte Häute; bei röhrenförmigen Gebilden, wie dem Darm, den Blutgefässen u. a. ist ein Theil der Wandung stets aus glatten Muskelfasern ge-

---

\* Ein Beispiel stärkerer Anhäufung glatter Muskelfasern bietet der Muskelmagen der Vögel, welcher, abgesehen von der äussern und innern häutigen Bekleidung, nur aus einer Masse solcher Fasern besteht.

bildet. Sie sind in solchen Fällen in zwei Lagen angeordnet, von denen die eine aus ringförmig das Rohr umziehenden Fasern besteht, während die andere der Länge des Rohres nach angeordnet ist. Wenn diese Muskelfasern sich verkürzen, so können sie daher die Röhren, in deren Wand sie sich befinden, sowol verengern als auch verkürzen. Von grosser Wichtigkeit ist dies bei

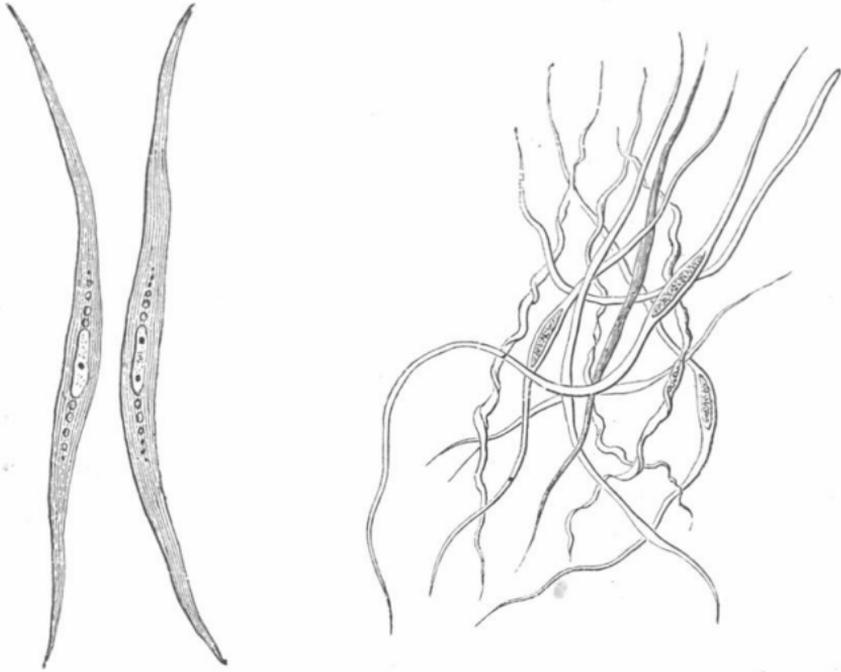


Fig. 30. Glatte Muskelfasern (dreihundertmal vergrössert).

den kleinern Arterien, wo die ringförmig angeordneten glatten Muskelfasern die Gefässe stark verengern oder ganz verschliessen können und so zur Regelung des Blutstroms dienen. In andern Fällen, wie beim Darm, dienen sie dazu, den Inhalt der Röhren in Bewegung zu setzen. Es pflegt dann die Verkürzung dieser Muskelfasern nicht gleichzeitig in allen Stellen des Rohres aufzutreten, sondern indem sie an einer Stelle beginnend sich nach und nach auf immer neue Strecken des Rohres

fortpflanzt, wird der im Rohr enthaltene Inhalt langsam vorwärts geschoben. Es sind dabei hauptsächlich die kreisförmig angeordneten Fasern wirksam, welche das Rohr an einer Stelle ganz verschliessen, während durch die Zusammenziehung der Längsfasern die Wand des Rohres über den Inhalt desselben zurückgezogen und so die Weiterbeförderung des Inhalts unterstützt wird. Man bezeichnet diese Art der Bewegung als peristaltische Bewegung. Sie kommt im ganzen Verdauungskanal von dem Schlunde an bis zu dessen Ende vor und bewirkt hier die Vorwärtsbewegung der Speisen und die schliessliche Austreibung des unverdauten Restes.

5. Man kann die peristaltische Bewegung sehr schön beobachten, wenn man die Schlundröhre eines Hundes blosslegt, und dem Thiere dann Wasser oder einen kleinen festen Körper in den Mund bringt, sodass eine Schluckbewegung entsteht. Man sieht sie auch am blossgelegten Darm oder an dem Harnleiter, wo jeder aus der Niere heraustretende Tropfen Harn eine Welle erregt, die sich von der Niere nach der Harnblase hin fortpflanzt. Man kann die Bewegungen auch künstlich hervorrufen, indem man den Darm, Harnleiter u. s. w. an einer Stelle mechanisch oder elektrisch reizt, oder auch durch Reizung der Nerven, welche diese Theile versorgen. Was zunächst auffällt, ist die Langsamkeit, mit welcher diese Bewegungen erfolgen. Nicht nur dauert es eine geraume, schon ohne alle künstlichen Hilfsmittel wahrnehmbare Zeit nach Anbringung des Reizes, ehe die Bewegung beginnt, sondern die an einer Stelle erregte Bewegung verläuft, auch wenn der Reiz ein plötzlicher, momentaner war, ganz allmählich, indem sie langsam bis zu einer gewissen Stärke ansteigt und dann allmählich wieder abnimmt. Durch diese Langsamkeit der Bewegungen unterscheiden sich die glatten Muskelfasern ganz wesentlich von den quergestreiften. Doch ist, wie wir ja wissen, dieser Unterschied kein principieller, sondern nur ein

gradweiser, da wir auch beim quergestreiften Muskel ein Stadium der latenten Reizung, eine allmählich ansteigende und dann wieder abnehmende Verkürzung kennen gelernt haben. Nur ist, was bei dem quergestreiften Muskel auf einen geringen Bruchtheil einer Secunde sich zusammendrängt, bei den glatten Muskelfasern auf die Zeit mehrerer Secunden vertheilt. Es bedarf daher auch keiner künstlichen Hülfsmittel, um diese einzelnen Stadien zu unterscheiden. Weiter als bis zu dieser etwas oberflächlichen Kenntniss ist die Untersuchung der Thätigkeit der glatten Muskelfasern noch nicht gediehen. Es liegt besonders an der Schwierigkeit ihrer Isolirung und an dem schnellen Verlust ihrer Reizbarkeit, wenn sie abgetrennt werden, dass nur schwer Versuche mit ihnen angestellt werden können. Insbesondere ist es noch nicht ganz klar, wie die Uebertragung der an einer Stelle auftretenden Reizung auf andere Partien zu Stande kommt. Bei den quergestreiften Muskelfasern kommt eine Uebertragung der Thätigkeit von einer Faser auf die benachbarten normalerweise nicht vor. Wenn man einen langen dünnen parallelfaserigen Muskel auf einer Glasplatte ausbreitet und eine beschränkte Stelle desselben reizt, so pflanzt sich die Reizung in den unmittelbar getroffenen Muskelfasern der Länge nach fort, geht aber nicht auf die benachbarten Fasern über. Andererseits ist es nicht möglich, eine quergestreifte Muskelfaser nur in einem Theil ihrer Länge zur Zusammenziehung zu bringen, wenigstens solange die Muskelfaser frisch ist. Bei absterbenden Muskelfasern kommen freilich solche locale Zusammenziehungen vor. Es bildet also jede einzelne Muskelfaser eine physiologische Einheit, innerhalb welcher die an einem Theil erregte Zusammenziehung sich über die ganze Faser verbreitet. Man hat auch die Geschwindigkeit dieser Ausbreitung in den Fasern gemessen. Da die quergestreifte Muskelfaser bei der Zusammenziehung zugleich dicker wird, so wird ein leichtes Hebelchen, welches man auf einen Muskel aufsetzt,

etwas gehoben. Diese Hebung kann man auf dem schnellbewegten Cylinder des Myographions aufzeichnen lassen. Setzt man zwei solcher Hebelchen nahe den Enden eines langen Muskels auf, und reizt an dem einen Ende, so wird zuerst der zunächstliegende, erst später der entferntere Hebel gehoben; den Unterschied kann man auf dem Myographioncylinder ablesen und daraus die Geschwindigkeit der Fortpflanzung von dem einen Hebel bis zum andern berechnen. Die Geschwindigkeiten, welche man in solchen Versuchen gefunden hat, schwanken bei Froschmuskeln von 2 m bis zu 4 m in der Secunde; d. h. die in einem Punkte der Muskelfaser erregte Zusammenziehung braucht, um einen Centimeter weit fortzuschreiten, eine Zeit von  $\frac{1}{400}$  bis  $\frac{1}{200}$  Secunde. Je kräftiger und leistungsfähiger die Muskeln sind, desto grösser ist die Geschwindigkeit. Als Mittelwerth kann etwa 3 m angesehen werden. In den Muskelfasern der Warmblüter ist die Geschwindigkeit grösser; sie ist auf 10 bis 13 m geschätzt worden. Mit dem Absterben des Muskels wird die Fortpflanzung immer langsamer und hört zuletzt bei Muskeln, welche der Todtenstarre nahe sind, auf; daher entsteht bei diesen nur an der unmittelbar gereizten Stelle eine wulstartige Verdickung, welche längere Zeit bestehen bleibt.

Da die Faserzellen der glatten Muskulatur sehr kurz sind, so kann man annehmen, dass sich alle Theile einer und derselben Zelle so gut wie gleichzeitig zusammenziehen. Dass aber die Erregung von einer Zelle auf die benachbarten übergehen kann, beruht wahrscheinlich darauf, dass die glatten Muskelfasern nackte Zellen sind, während die contractile Substanz der quergestreiften Fasern von einer nicht contractilen Hülle, dem Sarkolemmaschlauch, umhüllt ist. Ueberdies sind auch in vielen Fällen directe Protoplasma-Verbindungen zwischen den einzelnen glatten Muskelfaserzellen beobachtet worden.\*

\* Die quergestreiften Muskelfasern des Herzens bilden auch zusammenhängende, vielfach verzweigte und sehr verwickelt

6. In der Regel sind solche Theile, welche nur mit glatten Muskelfasern versehen sind, nicht willkürlich beweglich, während die quergestreiften Muskelfasern dem Willen unterworfen sind. Man hat daher die letztern auch als willkürliche, die erstern als unwillkürliche Muskeln bezeichnet. Eine Ausnahme macht jedoch das Herz, denn dieses besitzt quergestreifte Muskelfasern, der Wille hat aber unmittelbar gar keinen Einfluss auf dasselbe, sondern seine Bewegungen werden unabhängig vom Willen erregt und geregelt.\* Die glatten Muskelfasern werden sowol durch örtliche Reize, z. B. den Druck des in den Röhren enthaltenen Inhalts, als auch durch das Nervensystem zu ihren Zusammenziehungen veranlasst. Die Zusammenziehungen der quergestreiften Muskelfasern kommen im natürlichen Laufe des organischen Lebens nur durch Einwirkung der Nerven zu Stande. In welcher Art wir uns diese Einwirkungen vorzustellen haben, werden wir aber erst erörtern können, wenn wir uns mit den Eigenschaften der Nerven bekannt gemacht haben werden.

Uebrigens ist der Unterschied zwischen quergestreiften und glatten Muskelfasern kein absoluter, da es auch Uebergangsformen gibt. In den Muskeln der Muscheln z. B. finden sich Fasern, in denen die Querstreifung (und mit ihr die Doppelbrechung) an einzelnen Theilen der Faser deutlich vorhanden ist, während sie an andern Stellen derselben Faser fehlt.

---

verlaufende Faserzüge, welche nicht von Sarkolemma umhüllt sind. Dementsprechend pflanzt sich ein irgendwo auf eine Stelle ausgeübter Reiz auf die ganzen Faserzüge fort. Verzweigte quergestreifte Muskelfasern kommen auch in der Zunge des Frosches vor.

\* Auch im Darm der Schleie (*Tinca vulgaris*) kommen, abweichend von andern Wirbelthieren, quergestreifte Muskeln vor. Ob derselbe willkürliche Bewegungen macht, ist unbekannt, aber nicht wahrscheinlich.