

Universitäts- und Landesbibliothek Tirol

Allgemeine Physiologie der Muskeln und Nerven

Rosenthal, Isidor

Leipzig, 1899

Elftes Kapitel

Umfang einer kreisrunden Scheibe von Hartkautschuk angebracht ist. Anfang und Ende des Drahtes stehen mit den Klemmen *I* und *II* in Verbindung; vom Anfang geht ausserdem ein Draht zur Klemme *IV*. Die Klemme *III* ist mit dem Röllchen *r* in Verbindung, das durch Federkraft gegen den Draht angepresst wird und die Stelle des Schiebers vertritt. Indem man die Scheibe dreht, wird die Länge des eingeschalteten Rheochord-antheils verändert.

Die ganze Anordnung wird durch Fig. 55 noch deutlicher werden, welche zugleich als ein Schema der Versuche an einem Muskel dienen kann. $Nr' rS$ ist der kreisrunde Rheochorddraht, durch den der Strom der „Messkette“ in der Richtung der Pfeile fliesst. μ ist ein Muskel, dessen zwei mit dem Multiplicator verbundene Oberflächenpunkte einen Strom geben, welcher durch den vom Rheochord in den Punkten *r* und *o* abgezweigten Stromantheil gerade compensirt wird. Die Länge *or* des Rheochorddrahtes, bei welcher dies geschieht, gibt die Differenz der Spannungen der abgeleiteten Muskelpunkte in dem festgesetzten Maass („Compensatorgrade“) an. Diese Länge wird gefunden, indem man die runde Scheibe und damit den Platindraht dreht, bis der Multiplicator keine Ablenkung mehr zeigt. Mit Hülfe der Lupe kann man die eingeschaltete Drahtlänge vom Anfangspunkt *o* bis zur Rolle *r* auf einer Kreistheilung ablesen.

ELFTES KAPITEL.

1. Das regelmässige Muskelprisma; 2. Ströme und Spannungen am Muskelprisma; 3. Muskelrhombus; 4. Unregelmässige Muskelrhomben; 5. Strom des Gastroknemius.

1. Wir beginnen die Untersuchung der elektrischen Erscheinungen an thierischen Geweben mit den Muskeln

sich eine sehr einfache Vertheilung der Spannungen. Alle Spannungs- oder isoelektrischen Curven laufen an der Oberfläche den Querschnitten parallel. In der Mitte verläuft eine Linie rund um das Muskelprisma, welche dasselbe in zwei symmetrische Hälften zerlegt. Wir nennen sie den elektromotorischen Aequator. An ihr herrscht die grösste positive Spannung, welche überhaupt an der Oberfläche zu finden ist. Jeder Punkt des Aequators hat eine grössere positive Spannung, als irgendein anderer Punkt des Längs- oder Querschnitts. Vom Aequator nach beiden Seiten hin nehmen auf dem Längsschnitt die positiven Spannungen allmählich und zwar nach beiden Seiten hin gleichmässig ab, bis sie an der Grenze zwischen Längsschnitt und Querschnitt Null werden.

An den Querschnitten selbst ist die Spannung überall negativ, aber in der Mitte derselben herrscht die grösste negative Spannung und nimmt regelmässig nach den Grenzen des Längsschnitts hin ab.

2. Aus dieser Vertheilung der Spannungen kann leicht abgeleitet werden, welche Erscheinungen ein Muskel zeigen wird, wenn wir ihn zwischen die Bäusche der oben beschriebenen Ableitungsgefässe, oder zwischen die Ableitungsröhren einschalten, welche die Fusspunkte des ableitenden Bogens darstellen. Wir werden offenbar keinen Strom erhalten, wenn zwei Punkte des Aequators oder zwei Punkte einer und derselben beliebigen andern Spannungscurve abgeleitet werden. Aber wir werden auch keinen Strom erhalten, wenn zwei verschiedene zu beiden Seiten des Aequators gelegene Punkte miteinander verbunden werden, falls diese Punkte gleich weit vom Aequator abstehen. Ebenso wenig werden wir einen Strom bekommen, wenn die beiden Querschnitte an die Bäusche angelegt werden. Dagegen müssen wir einen Strom beobachten, sobald irgendein Punkt des Längsschnitts und irgendein Punkt eines der Querschnitte verbunden werden, oder wenn zwei Punkte des Längsschnitts, welche

ungleichweit vom Aequator entfernt sind, oder endlich wenn zwei Punkte eines und desselben oder auch der beiden Querschnitte miteinander verbunden werden, welche ungleichweit von den Mittelpunkten entfernt sind. Die stärksten Ströme werden wir erhalten, wenn wir einen Punkt des Aequators mit dem Mittelpunkt eines Querschnitts verbinden; schwächere Ströme bei Verbindung zweier unsymmetrischer Punkte des Längsschnitts oder zweier unsymmetrischer Punkte der Querschnitte. Alle diese Fälle sind in Fig. 57 dargestellt. Das Rechteck

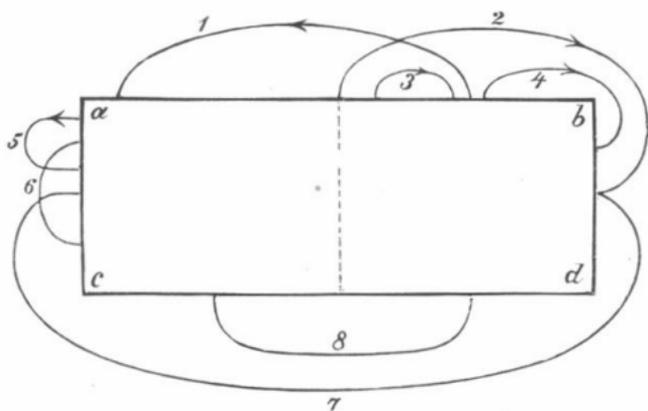


Fig. 57. Ströme des Muskelprismas.

$abcd$ stellt einen Schnitt durch die Achse des Muskelprismas dar; ab und cd sind die Durchschnitte durch den Längsschnitt, ac und bd sind die Durchschnitte durch die Querschnitte. Die gebogenen Linien stellen die ableitenden Bogen und die Pfeile die Richtung der in diesem entstehenden Ströme vor. In den Bogen 6, 7, 8, welche symmetrische Punkte verbinden, entsteht gar kein Strom.

Die Spannungen nehmen am Längsschnitt nicht gleichmässig ab, sondern von dem Aequator nach den Enden hin immer schneller. Wenn wir daher diejenigen isoelektrischen Curven aufsuchen, deren Spannungen um

eine bestimmte Grösse voneinander verschieden sind, so stehen diese in der Mitte des Muskelprismas voneinander entfernt, rücken aber immer näher aneinander, je mehr wir uns der Querschnittsgrenze nähern (vgl. Fig. 56). Stellen wir für eine Längsschnittseite die an jedem Punkte vorhandene Spannung durch die Höhe einer geraden Linie dar, die senkrecht auf der Längsschnittseite errichtet wird, so ist die Verbindungcurve der Köpfe dieser Linien deshalb in der Mitte des Längsschnitts flach und fällt gegen die Querschnittsgrenze hin steil ab. Etwas Aehnliches findet am Querschnitt statt, wo gleichfalls gegen die Längsschnittsgrenze hin die Spannungscurven für gleiche Spannungsdifferenzen näher zusammenstehen als in der Mitte. Bei gleicher Entfernung der Fusspunkte des ableitenden Bogens sind daher die Ströme sowol am Längsschnitt wie am Querschnitt um so stärker, je näher an der Grenze zwischen Längsschnitt* und Querschnitt untersucht wird. Um diese Verhältnisse zu übersehen, dient Fig. 58, die bei *A* die Spannungen an einer Längsschnittseite, und an einer Querschnittseite des in Fig. 57 gezeichneten Durchschnitts darstellt, während bei *B* die Spannungscurven an einem Querschnitt dargestellt sind. Letztere sind, wenn das Muskelprisma drehrund gedacht wird, concentrische Kreise. Um die Richtung und Stärke des Stromes zu beurtheilen, welche bei Anlegung eines leitenden Bogens an zwei beliebigen Punkten des Muskelprismas entsteht, hat man nur nöthig die Differenz der Spannungen an den Fusspunkten des Bogens zu bestimmen und dabei zu beachten, dass für den Fall, wo an einem dieser Punkte positive, am andern negative Spannung herrscht, der Strom stets von dem positiven Punkte durch den Bogen zum negativen gerichtet ist; für den Fall aber, dass beide Fusspunkte positiv oder beide negativ sind, der Strom im Bogen von dem positivern Punkte zum weniger positiven oder von dem weniger negativen zum negativern Punkte geht. Aus den Curven der Fig. 58 *A* und *B*, welche die Spannungen angeben, lassen sich

daher die Ströme, welche in Fig. 57 angedeutet sind, leicht ableiten.

3. Nehmen wir wieder einen parallelfaserigen Muskel und schneiden aus demselben ein Stück heraus, aber so, dass die Querschnitte nicht senkrecht auf die Richtung der Fasern, sondern schräg gegen dieselbe geneigt sind. Ein solches Stück wollen wir einen Muskelrhombus nennen, und zwar einen regelmässigen Muskelrhombus, wenn die Querschnitte einander parallel

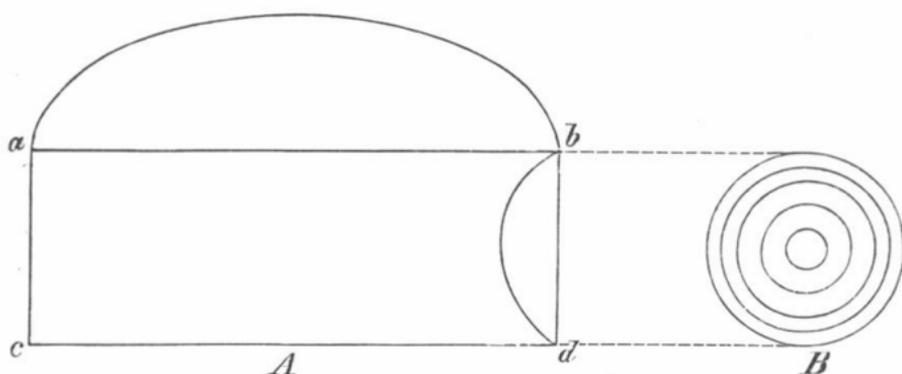


Fig. 58. Spannungen am Längsschnitt und am Querschnitt des regelmässigen Muskelrhombus.

sind, sonst aber einen unregelmässigen Muskelrhombus. An einem solchen Muskelrhombus ist die Vertheilung der Spannungen und die daraus folgende Form der isoelektrischen Curven nicht so einfach wie an Muskelprismen. Die isoelektrischen Curven laufen nicht, wie bei dem Muskelprisma, einander parallel, sondern haben eine verwickelte Form.

Zwar bleibt auch in diesem Falle der grosse Gegensatz zwischen Längsschnitt oder Mantelfläche des Rhombus und den Querschnitten bestehen. Erstere sind immer positiv, letztere negativ. Aber am Längsschnitt sowol wie am Querschnitt macht sich ein Gegensatz zwischen den stumpfen und den spitzen Ecken bemerklich. An

den stumpfen Ecken des Längsschnitts ist die positive Spannung grösser als an den spitzen Ecken, und ebenso ist an den spitzen Ecken des Querschnitts die negative Spannung grösser als an den stumpfen. Am regelmässigen Muskelrhombus entsteht infolge dessen eine Verschiebung der Spannungscurven, von denen Fig. 59 eine Vorstellung zu geben sucht. Stellen wir uns vor, der Muskel, aus welchem wir den Rhombus geschnitten haben, sei cylindrisch gewesen. Dann werden die beiden Querschnitte Ellipsen darstellen, und zwar bei einem regelmässigen

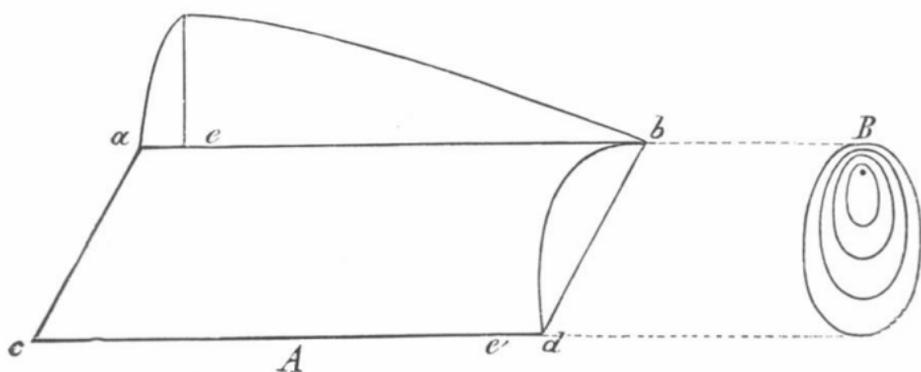


Fig. 59. Spannungen an einem regelmässigen Muskelrhombus.

Muskelrhombus zwei gleiche Ellipsen. Ein durch die langen Achsen dieser beiden Ellipsen gelegter Schnitt stellt dann ein ungleichseitiges Parallelogramm mit zwei stumpfen und zwei spitzen Ecken (Rhomboïd) vor. Unsere Figur zeigt einen solchen Durchschnitt. ab und cd entsprechen darin dem Längsschnitt, ac und bd den Querschnitten. Letztere sind identisch mit den langen Achsen der wirklichen Querschnitte. Auf den Längsschnittseiten finden wir die grössten positiven Spannungen nicht mehr in der Mitte, sondern nach den stumpfen Ecken hin verschoben, bei e und e' . Die Spannungen fallen von da nach den stumpfen Ecken hin sehr steil, nach den spitzen Ecken hin allmählich ab. Auf den Querschnitten

finden wir die grösste negative Spannung in der Nähe der spitzen Ecken; der Abfall ist nach den spitzen Ecken hin ein sehr steiler, nach den stumpfen Ecken hin ein allmählicher.

Die isoelektrischen Curven (Fig. 59 *B*) eines solchen regelmässigen Muskelrhombus haben auf den Querschnitten die Gestalt von Ellipsen, deren einer Pol in der Nähe der spitzen Ecke liegt. Am Längsschnitt sind es gewundene Linien, welche schräg um den Cylindermantel herumlaufen. Der elektromotorische Aequator, welcher die Punkte grösster positiver Spannung verbindet, stellt eine gewundene Linie vor, welche die Form einer schräg liegenden 8 hat. Sie teilt den Rhombus in zwei gleich-grosse Hälften, welche in einer windschiefen Fläche zusammenstossen. Die Form dieser Fläche lässt sich am besten mit der einer Schiffsschraube vergleichen.

Denken wir uns durch einen solchen regelmässigen Muskelrhombus eine Ebene durch die kleinen Achsen der elliptischen Querschnitte gelegt, so erhalten wir die Figur eines Rechtecks. Die in einem solchen Schnitt liegenden Muskelfasern sind alle in gleicher Weise abgeschnitten und verhalten sich alle gleichartig. Deshalb liegt auch auf einem solchen Schnitt die grösste Spannung am Längsschnitt sowol wie am Querschnitt in der Mitte und wir finden hier genau dieselben Anordnungen der Spannungen wie beim Muskelprisma.

Nach dem Gesagten wird es leicht sein, die Richtung und Stärke der Ströme, welche bei Verbindung irgendwelcher Punkte eines Muskelrhombus durch einen angelegten Bogen entstehen, abzuleiten. Fig. 60 gibt eine Darstellung derselben. Die Richtung der Ströme in dem angelegten Bogen ist überall durch die Pfeile angedeutet; wo kein Pfeil ist, da verbindet der Bogen zwei Punkte gleicher Spannung, da besteht also kein Strom (Bogen 4 und 9). Die Ströme gehen überall von der stumpfen nach der spitzen Ecke hin durch den angelegten Bogen, nur bei Bogen 5 und 10 ist die Richtung umgekehrt.

4. Die Erscheinungen an unregelmässigen Muskelrhomben unterscheiden sich nicht wesentlich von den eben geschilderten; nur dass bei ihnen die Symmetrie in der Anordnung der Spannungen fehlt. Dasselbe gilt

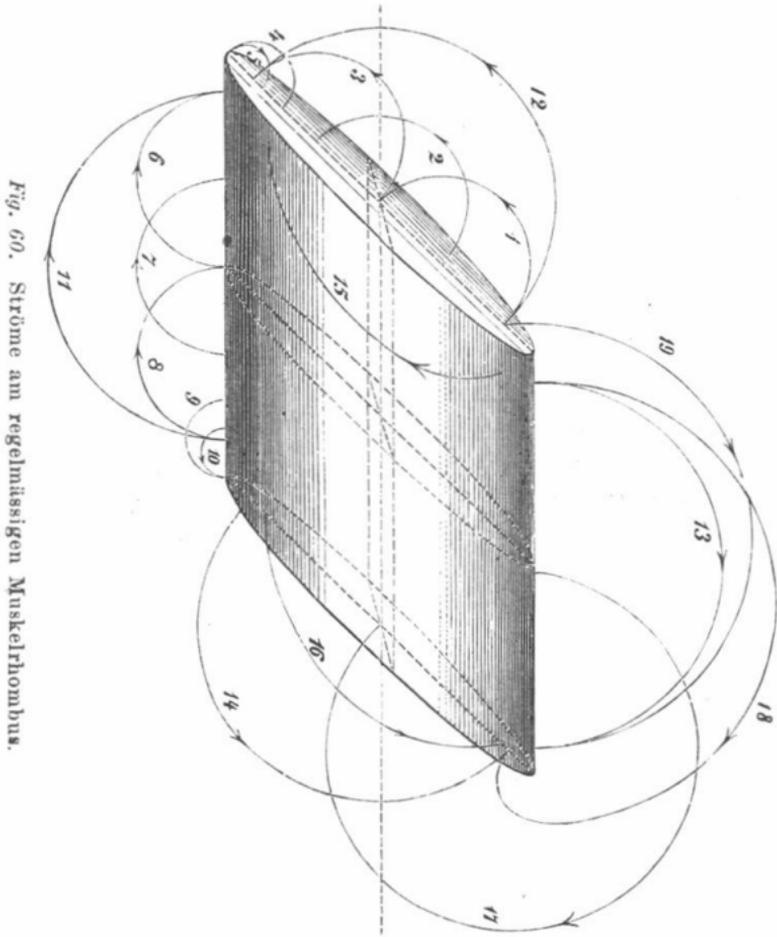


Fig. 60. Ströme am regelmässigen Muskelrhombus.

auch für unregelmässig gefaserte Muskeln, bei denen natürlich jeder Schnitt den grössten Theil der Fasern schräg treffen muss. Diese Verhältnisse muss man im Auge behalten, um die zuweilen sehr verwickelten Er-

scheinungen zu verstehen. Ohne uns zu sehr in Einzelheiten zu vertiefen, wollen wir nur feststellen, dass bei allen Muskeln derselbe Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt wiederkehrt. Ueberall ist der Längsschnitt positiv gegen den Querschnitt, und überall ist am Längsschnitt ein Punkt oder eine Linie am positivsten, am Querschnitt ein Punkt am negativsten, sodass also in den angelegten Bögen Ströme von Längsschnitt zu Querschnitt und schwächere Ströme zwischen Punkten des Längsschnitts unter sich und zwischen Punkten des Querschnitts unter sich entstehen. Die Lage dieser positivsten und negativsten Punkte richtet sich nach den Winkeln, welche die Fasern mit den Querschnitten machen, und kann nach den im vorigen Paragraphen gegebenen Regeln über den Einfluss des schrägen Querschnitts gefunden werden.

Unter den vielen Muskeln des Thierkörpers nimmt einer unsere besondere Aufmerksamkeit in Anspruch, weil er aus rein praktischen Gründen am häufigsten zu physiologischen Versuchen gebraucht wird, nämlich der Wadenmuskel (*Musculus gastrocnemius*). Er ist leicht ohne wesentliche Verletzung zu präpariren, auch im Zusammenhang mit seinem Nerven, was aus später zu erörternden Gründen wichtig ist. Er gibt, so präparirt, in der Regel einen kräftigen Strom, bleibt sehr lange wirkungsfähig, kurz er hat eine Reihe von Vorzügen, die uns schon beim Studium der Muskelthätigkeit wie bei dem über Nervenerregung veranlassten, ihn fast ausschliesslich zu benutzen. Da dieser Muskel einen sehr verwickelten Bau hat, ist seine elektrische Wirksamkeit nicht leicht zu verstehen. Wir müssen sie jedoch, wenigstens in ihren Grundzügen, erörtern, da wir den Muskel zu wichtigen Versuchen gebrauchen.

Dieser Erörterung müssen wir zunächst die Bemerkung vorausschicken, dass es nicht unbedingt nothwendig ist, aus einem Muskel Stücke herauszuschneiden, sondern dass auch ganze Muskeln Ströme liefern können. Die bisher besprochenen Muskelprismen und Muskelrhomben waren

aus einem parallelfaserigen Muskel herausgeschnitten. Diese Stücke waren an ihrem Längsschnitt noch von der Muskelscheide (*Perimysium*) bekleidet, der Längsschnitt entsprach der natürlichen Oberfläche des Muskels. Die Querschnitte aber waren in der Muskelsubstanz selbst angelegt, legten das Innere derselben bloss. Solche Querschnitte können wir also als künstliche bezeichnen, während die Längsschnitte jener Muskelprismen und Muskelrhomben natürliche waren. Wir können auch künstliche Längsschnitte darstellen, indem wir Muskeln in der Richtung ihrer Fasern spalten, und wir können von natürlichen Querschnitten sprechen, worunter wir die noch von der Sehnensubstanz bekleideten natürlichen Enden der Muskelfasern verstehen. Nun verhalten sich die künstlichen Längsschnitte ganz wie die natürlichen; die natürlichen Querschnitte aber sind meist schwächer negativ wie die künstlichen, ja zuweilen lässt sich gar keine Spannungsdifferenz zwischen ihnen und den Längsschnitten nachweisen.* Insbesondere der Gastroknemius aber lässt sich leicht so präpariren, dass er noch seine volle Leistungsfähigkeit bewahrt und dabei sehr stark elektrisch wirksam ist.

5. Diesem Umstande verdankt der Gastroknemius seine besondere Bedeutung. Wir können diesen Muskel im wesentlichen zu den gefiederten Muskeln rechnen; doch verhält er sich eigentlich nur gegen seine obere Sehne als solcher, gegen seine untere Sehne eher als ein halbgefiederter. Um seinen Bau zu verstehen, denke man sich zwei Sehnenblätter, ein oberes und ein unteres, durch schräg zwischen beiden ausgespannte Muskelfasern verbunden, sodass wir einen halbgefiederten Muskel hätten. Nun denke man sich das obere Sehnenblatt in der Mitte zusammengefaltet, wie man ein Blatt Papier faltet, und die beiden Blatthälften miteinander verklebt. Wir haben

* Ueber diesen Punkt wird später noch ausführlich gehandelt werden.

dann ein oberes, im Innern des Muskels gelegenes Sehnenblatt, von welchem nach beiden Seiten hin Muskelfasern schräg abgehen; die untere Sehne aber ist durch jenes Zusammenfallen der obern gekrümmt worden, sodass der ganze Muskel die Gestalt einer der Länge nach gespaltenen Rübe erhält. Seine flache (dem Unterschenkelknochen zugewandte) Seite wird ganz von Muskelfasern gebildet und zeigt nur einen zarten Längsstreif als Andeutung der im Innern verborgenen Sehne, während die gewölbte Rückseite in ihren untern zwei Drittheilen von Sehnen-substanz bedeckt ist, die sich nach unten in die sogenannte Achillessehne fortsetzt.

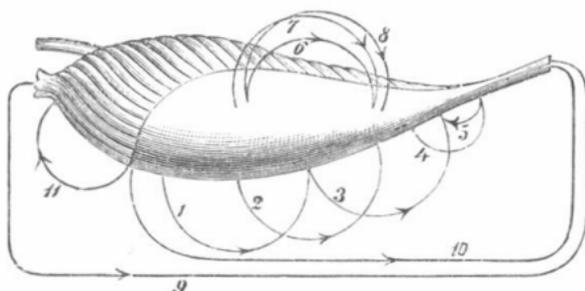


Fig. 61. Ströme des Gastroknemius.

Ein solcher Muskel hat, wie man sieht, von Natur einen schrägen Querschnitt, welcher eben durch jenen sehnigen Ueberzug dargestellt wird, und einen Längsschnitt, welcher die ganze flache und einen kleinen Theil der gewölbten Fläche einnimmt. Einen zweiten Querschnitt gibt es an diesem Muskel nicht, da die obere Sehne im Innern des Muskels verborgen ist. Ein solcher Muskel kann daher schon ohne alle Präparation Ströme geben, und das ist gerade der Grund, warum wir ihn für eine grosse Reihe von Versuchen mit grossem Vortheil benutzen können.

Die Ströme, welche ein Gastroknemius bei Verbindung verschiedener Punkte seiner Oberfläche durch einen angelegten Bogen sendet, sind in Fig. 61 dargestellt. Sie

werden nach dem über den Bau Gesagten leicht verständlich sein. Vor allen Dingen ist zu beachten, dass bei Verbindung des obern und untern Endes dieses Muskels ein starker Strom entstehen muss, welcher im Bogen von dem obern nach dem untern Ende gerichtet ist. Das obere Ende muss stark positiv sein, denn es stellt die Mitte des Längsschnitts dar; das untere Ende muss stark negativ sein, denn es ist die spitze Ecke eines schrägen Querschnitts. Untereinander gleichartige Punkte, deren Verbindung keinen Strom gibt, kommen nur wenige vor. Der Bogen 4 in unserer Figur zeigt einen solchen Fall. Ebenso selten sind Punkte, deren Verbindung einen (im Bogen) von unten nach oben gerichteten Strom gibt. Solche Fälle zeigen Bogen 5 und Bogen 11.

ZWÖLFTES KAPITEL.

1. Negative Schwankung des Muskelstromes; 2. Secundäre Zuckung und secundärer Tetanus; 3. Untersuchung der Schwankung bei Einzelzuckungen; 4. Das Rheotom; 5. Die Drüsen und ihre Ströme; 6. Bedeutung der elektromotorischen Erscheinungen an Muskeln.

1. Der kräftige Strom, welchen ein unversehrter Gastroknemius liefert, setzt uns in den Stand, eine wichtige Frage zu stellen und zu beantworten: wie verhalten sich die elektrischen Erscheinungen der Muskeln während der Zusammenziehung? Wir haben nur nöthig, den Wadenmuskel mit seinem Nerven zu präpariren, den Muskel zwischen die Bäusche der uns bekannten Ableitungsgefäße einzuschalten, den Nerven auf zwei Drähte zu legen, damit er durch Inductionsströme gereizt werden kann — dann muss es sich zei-