Ueber die Arbeitsleistung der Muskeln.

Von

I. Rosenthal.

(Aus dem physiologischen Institut zu Erlangen).

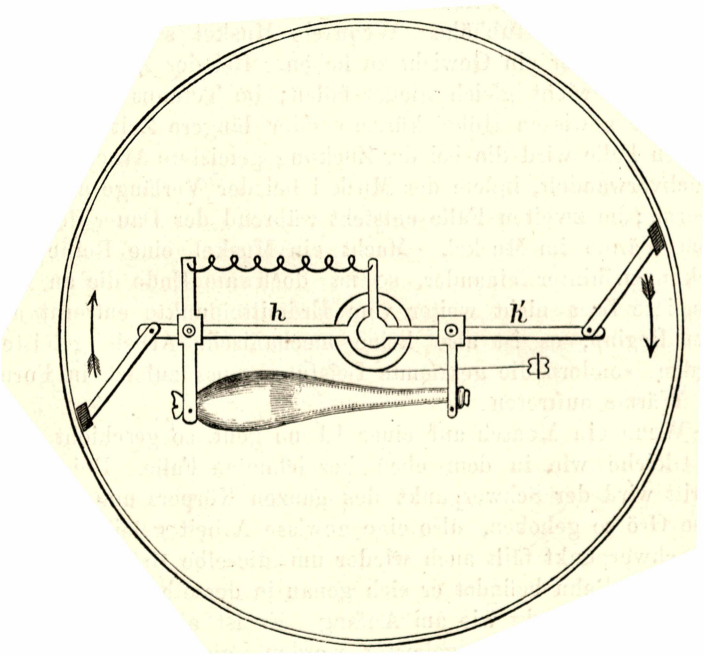
(Vorgetragen am 8. November 1879 und 8. März 1880).

Wir messen eine Arbeit durch das Product eines gehobenen Gewichts in die Hubhöhe. Wenn ein Muskel sich zusammenzieht, vermag er ein Gewicht zu heben. Bei der Zuckung lässt er dieses Gewicht gleich wieder fallen; im Tetanus hält er es auf einer gewissen Höhe kürzere oder längere Zeit fest. Im ersteren Falle wird die bei der Zuckung geleistete Arbeit wieder zurückverwandelt, indem der Muskel bei der Verlängerung sich erwärmt; im zweiten Falle entsteht während der Dauer des Tetanus Wärme im Muskel. Macht ein Muskel eine Reihe von Zuckungen hinter einander, so ist doch am Ende die an ihm befestigte Last nicht weiter vom Erdmittelpunkte entfernt als beim Beginn, es ist also keine mechanische Arbeit geleistet worden, sondern die gesammte Leistung muss zuletzt in Form von Wärme auftreten.

Wenn ein Mensch auf einer Ebene geht, so geschieht ganz das Gleiche wie in dem eben bezeichneten Falle. Bei jedem Schritt wird der Schwerpunkt des ganzen Körpers um eine gewisse Grösse gehoben, also eine gewisse Arbeit geleistet; aber der Schwerpunkt fällt auch wieder um dieselbe Grösse und am Ende der Bahn befindet er sich genau in derselben Entfernung vom Erdmittelpunkt wie am Anfang. Es ist also keine Arbeit im Sinne der Mechanik geleistet worden, obgleich der Körper dabei seinen Ort gewechselt hat.

Die Menschen haben mannichfaltige Maschinen ersonnen, um die von ihren Muskeln oder von denen der Lasttiere bei einzelnen Zuckungen oder bei kurzdauernden tetanischen Zusammenziehungen geleistete Arbeit aufzubewahren, beziehungsweise zu summiren. Winde, Sperrrad und ähnliche Vorrichtungen, wie sie als einfache Maschinen in mannigfachen Formen Verwendung finden, gehören hierher. Für das Studium der

Vorgänge an einzelnen Muskeln hat Fick einen derartigen Apparat construirt, welchen er Arbeitssammler nennt. Der Muskel arbeitet an einem Hebel, welchen er bei jeder Zusammenziehung hebt, bei der Verlängerung fallen lässt. Der Hebel nimmt bei der Aufwärtsbewegung ein Rad mit, welches durch eine Hemmung am Rückgang verhindert wird. Der Apparat, welchen ich zum Behuf der Untersuchung arbeitender Muskeln habe anfertigen lassen, zeigt die Vorgänge in etwas andrer Weise. Er nähert sich in seiner Anordnung in hohem Grade den Verhältnissen, wie sie beim Gehen eines Menschen stattfinden.



Zwei Hebel, h und h' sind um dieselbe Axe, jedoch unabhängig von einander, drehbar. Zwischen beiden kann ein Muskel ausgespannt werden. Die Axe besteht aus zwei in der Mitte von einander isolirten Stücken und die Ströme einer Inductionsrolle können durch sie und die Hebel den Enden des Muskels zugeführt werden. Zuckt derselbe, so nähert er die Hebel einander; ist die Zuckung vorüber, so werden die Hebel durch eine Spiralfeder wieder von einander entfernt. Durch eine

einfache Vorrichtung wird jedoch bewirkt, dass die Hebel sich nur in einer Richtung drehen können. Jeder Hebel besteht nämlich aus zwei durch ein Gelenk mit einander verbundenen Stücken und ahmt dadurch ein Bein nach. Das innere dieser Stücke stellt gleichsam den Oberschenkel, das äussere den Unterschenkel vor. Letzteres stemmt sich mit seinem untern Ende (dem „Fuss") gegen die Peripherie eines Rades. Da Ober- und Unterschenkel zusammen länger sind als der Halbmesser des Rades, in dessen Mittelpunkt zugleich die Axe der beiden Hebel sich befindet, so wird bei einer Zusammenziehung des Muskels der Hebel h durch den Muskelzug in seinem Knie gestreckt, stemmt sich gegen den Radumfang und wird dadurch ganz unbeweglich; h′ dagegen wird im Knie gebeugt und in der Richtung nach vorn gezogen. Lässt der Muskelzug nach, so wirkt die antagonistisch angebrachte Feder; jetzt streckt sich h′, stemmt sich fest, und h muss vorrücken. Durch einzelne Muskelzuckungen werden also die Hebel und mit ihnen der Muskel selbst im Kreise herumgeführt, gerade wie die Beine eines Menschen durch die Wirkung ihrer Muskeln abwechselnd fortgeschoben werden. Man darf freilich die Analogie nicht zu weit treiben, aber im Wesentlichen ist doch die Art der Fortbewegung hier dieselbe wie beim Gange.

Der Kreisumfang des Rades stellt in diesem Falle die Ebene dar, auf welcher die Bewegung stattfindet, gerade wie die in Wirklichkeit ja auch kreisförmige Linie um den Mittelpunkt der Erde beim Gehen auf einer Ebene. Wir haben daher durch unsern Mechanismus eine Fortbewegung des Muskels mitsamt den Hebeln zu Stande gebracht, aber so, dass die Gesammtarbeitsleistung immer Null bleibt. Ein Mensch kann aber Arbeit leisten, wenn er auf einer Ebene fortgeht, indem er mittelst eines Seils ein Gewicht aufwindet, wie das bei der gewöhnlichen Winde oder Haspel der Fall ist, wo der Mensch im Kreise herumgeht, gerade wie unser Muskel auch, dabei aber ein Seil aufwindet und dadurch ein Gewicht hebt. Auch diesen Vorgang können wir an unserm Apparat nachahmen. Mit dem Hebel h′ ist eine Rolle verbunden. Ein an dieser befestigter Faden wird bei der Drehung aufgewunden. Er geht über eine kleine Rolle und windet so das Gewicht in die Höhe.

Betrachten wir den Vorgang, der hier stattfindet, etwas genauer: Bei der Ruhe des Muskels wirkt der Zug des Gewichts

auf den Hebel h′ in entgegengesetztem Sinne drehend, als die Pfeile zeigen; diese Drehung wird aber durch die Construction des Hebels h′ verhindert und das Gewicht bewirkt nur ein stärkeres Anstemmen des Hebelfusses an den Radkranz. Wenn der Muskel sich contrahirt, muss er erst eine Energie erlangen, welche der des Gewichts gleich ist, um diesen Druck zu überwinden. Erst wenn seine Energie noch mehr wächst, kann er das Gewicht heben. Nach der in der Muskelphysiologie eingeführten Bezeichnungsweise heisst das: Das Gewicht wirkt an dem Muskel als Ueberlastung, welche ihn, wenn er in Ruhe ist, nicht dehnt, aber den Hebel, an welchem der Muskel arbeitet, mit einer gewissen Kraft gegen die Unterlage anpresst. Ausserdem muss er noch die Feder dehnen. Dieser Teil seiner Arbeit tritt aber nicht als nutzbare Leistung auf, sondern dient nur dazu, den Muskel nach dem Aufhören der Contraction zu spannen und so die Bedingungen herzustellen, dass die nächste Contraction wieder Arbeit leisten kann. Dieser Teil der Muskeltätigkeit muss daher in Form von freier Wärme auftreten.

Dabei hatten wir vorausgesetzt, dass die Rolle mit dem Hebel h′ fest verbunden sei. Verbinden wir sie mit dem Hebel h, so hat der Muskel bei seiner Zusammenziehung das Gewicht nicht zu heben, sondern nur die Spiralfeder zu spannen. Ist die Zuckung vorüber, so wird die Feder durch ihre Elasticität das Gewicht heben, soweit bis ihre Spannung dem Gewicht gleich ist. Bei der nächsten Zuckung findet der Muskel also die Feder schon in gespanntem Zustande vor und zwar ist diese Spannung dem Gewichte p genau gleich. Also befindet sich der Muskel unter den nämlichen Bedingungen wie vorher und der Unterschied ist nur der, dass der Muskel das Gewicht nicht selbst hebt, sondern die Feder spannt und dass diese dann das Gewicht soweit hebt, als dem Zuwachs von Spannung entspricht, welchen sie über der dem Gewicht p gleichkommenden durch die Energie des Muskels erlangt hat.

Unter allen Muskeln, welche zu Versuchen an dem Apparat benutzt werden können, ist der Gastroknemius am leichtesten zu handhaben. Er empfielt sich auch durch die bedeutende Energie, deren er vermöge seines großen physiologischen Querschnitts [1]) fähig ist. Ich habe bei meinen Versuchen über die

1) Mit dem Ausdruck „physiologischer Querschnitt“ bezeichne ich die Summe der Querschnitte aller Fasern eines Muskels, welche für seine Lei-

Muskelkraft [1]) Werte bis zu 1200 grm. für die Energie einzelner Gastroknemien gefunden. Auf der anderen Seite ist wegen der Kürze der Muskelfasern die Hubhöhe des Gastroknemiums immer eine sehr geringe. Demgemäß fällt auch die Arbeitsleistung, wenigstens bei mittelgroßen Muskeln und in der jetzigen, für solche Versuche allerdings sehr ungünstigen Jahreszeit immer sehr gering aus, so lange man die Muskelreizung mit einzelnen Inductionsströmen vornimmt. Der Oeffnungsinductionsschlag erweist sich in der Regel wirksamer als der Schließungsinductionsschlag, doch scheint der Unterschied zwischen beiden immer nur sehr gering zu sein. Dahingegen werden die Wirkungen erheblich gesteigert, wenn man die Reizung mit tetanisirenden schnell auf einander folgenden Inductionsstößen vornimmt. Schaltet man zwischen Muskel und secundäre Rolle des Inductoriums einen du Bois-Reymond'schen Schlüssel als Nebenschließung ein und öffnet denselben in passenden Zeiträumen, etwa alle 2 Secunden, auf kurze Zeit, so macht der Muskel sehr ausgiebige Verkürzungen, welche das Hebelsystem in 10 bis 15 Zusammenziehungen einmal im Kreise herumzuführen und dabei Gewichte von 50 oder 100 Gramm 15 bis 20^{mm} hoch zu heben vermögen. Das würde einer Arbeitsleistung von 750 bis 2000 Gramm-Millimeter entsprechen, was für einen so kleinen Muskel, wie der Gastroknemius eines Frosches ist, eine ganz erhebliche Arbeitsleistung genannt werden muss.

Es ist von Interesse, diese Leistungen mit denen zu vergleichen, welche dieselben Muskeln während des Lebens vollführen. Ein Frosch von 50 Gramm Körpergewicht kann bei einem Sprunge sich gut bis etwa 20^{mm} hoch heben, was eine Arbeitsleistung von 1000 Gramm-Millimeter ausmacht, ganz abgesehen von der Geschwindigkeit, welche er seinem Körper in der horizontalen Richtung erteilt. Diese Leistung kommt ungefähr zur Hälfte auf Rechnung der Gastroknemien, also würde auf jeden derselben etwa eine Leistung von höchstens 250 Gramm-Millimeter kommen, während wir in unserem Apparat als Maximum etwa 200 Gramm-Millimeter gefunden haben. Eine solche Leistung ist aber bei einer einzelnen Zuckung niemals zu beobach-

---

stungen bestimmend ist, im Gegensatz zu dem „geometrischen Querschnitt", welcher von der Form des Muskels abhängt.

1) Comptes rendus de l'Acad. des sciences 1867.

ten, sondern nur bei kurzdauernder Tetanisirung. Wir können daher mit Recht annehmen, dass auch die willkürliche Muskelcontraction, welche den Sprung herbeigeführt, nicht eine einzelne Zuckung ist, ausgelöst durch einen einzelnen, vom Centralnervensystem herabgekommenen Reiz, sondern vielmehr ein kurzdauernder Tetanus, veranlasst durch eine Reihe von schnell aufeinanderfolgenden Reizen, die sich in ihrer Wirkung summiren und dadurch eine viel größere Energie im Muskel erzeugen als dies ein einzelner Reiz könnte. Es entsteht daher die Frage, ob überhaupt in den Nervenzellen ein einzelner Reiz von gleicher Ordnung mit den durch einen Inductionsstoss gegebenen, entstehen könne. Hierüber würde die Untersuchung der myographischen Curve willkürlicher Zusammenziehungen einigen Aufschluss verschaffen können.

Man kann auch statt des Schlüssels eine aus zwei Quecksilbernäpfchen und einem sie verbindenden Metallbügel gebildete Nebenschliessung zwischen Inductionsrolle und Muskel einschalten und diese durch ein Metronom oder irgend ein andres Uhrwerk in regelmässigen Zeiträumen auf kurze Zeit unterbrechen lassen, während der Wagner'sche Hammer des Inductoriums mit mässiger Geschwindigkeit spielt. Es gehen dann bei jeder Unterbrechung, also etwa alle 2 Secunden eine kleine Zahl schnell auf einander folgender Inductionsschläge durch den Muskel, welche ihn zu einer kräftigen Zusammenziehung veranlassen. Mag man nun einzelne Zuckungen oder solche kurzdauernde tetanische Zusammenziehungen erzeugen, anfangs sind dieselben kräftig und kurzdauernd, allmählich aber werden sie nicht nur schwächer, sondern auch langdauernder, so dass der Muskel in den Pausen zwischen den einzelnen Reizungen nur langsam von der ihn spannenden Feder wieder ausgedehnt wird. Und wenn die Reizungen in kürzeren Zeiträumen auf einander folgen, so geschieht die Ausdehnung überhaupt nur unvollkommen, die zweite Contraction bewegt den Hebel h noch ein klein wenig vorwärts, die dritte noch weniger, bald aber kommt das System ganz zum Stillstand. Macht man eine längere Pause, so kann man wol bei erneuter Reizung wieder einige kräftigere Zusammenziehungen erhalten, bald aber versagt der Muskel ganz.

Da es sich hierbei offenbar um die schnelle Ermüdung der in jetziger Jahreszeit mangelhaft ernährten Muskeln handelt, so habe ich die weitere Verfolgung des Gegenstandes vor der Hand

aufgegeben und mich für die ferneren Versuche nur der Muskeln lebender Frösche bedient. Zu dem Ende wurde mit dem Hebel h eine horizontale Hartkautschukplatte verbunden, auf welche der curarisirte Frosch zu liegen kommt. Die Querstücke der Hebel h und h′, zwischen denen sonst ein Gastroknemius ausgespannt wird, erhalten kurze, vertikal nach oben hervorragende Keile mit nach aussen gerichteten, abgerundeten Schneiden, welche in die Kniekehlen des Frosches passen. Die Fusswurzeln werden dicht unter den Unterschenkeln mit starken Fäden fest umschnürt und unterhalb der Unterbindungen abgeschnitten, die beiden Stümpfe aber durch einen starken Faden aneinander gebunden, so dass die beiden Beine eine rhombische Figur bilden. Die obere Ecke dieses Rhombus, welche am Becken liegt, ist durch einen vertikalen, an der Hartkautschukplatte befestigten Stift, auf welchem der Frosch so zu sagen reitet, unverrückbar befestigt. Sendet man nun elektrische Schläge durch Vermittelung der Hebel durch die Schenkel, so werden diese hauptsächlich, oder wol richtiger ganz allein durch die Contraction der Adductorengruppen einander genähert, die von rechts nach links gerichtete Diagonale des Rhombus wird kleiner, die von oben nach unten gerichtete wird grösser. Lässt die Muskelwirkung nach, so zieht die antagonistische Feder den Rhombus wieder in die Breite. Dabei dreht sich das ganze System mitsamt dem Frosch um die Axe des Apparats, die am Hebel h′ befestigte Rolle aber windet den Faden auf und hebt das an ihr befestigte Gewicht.

Solche lebenden und von Blut durchströmten Muskeln sind nicht nur dauerhafter in ihren Leistungen wie die überlebenden Gastroknemien, sie sind auch überhaupt viel grösserer Wirkungen fähig. Zunächst ist es sehr auffällig, wie verhältnissmässig gering der Einfluss der Belastung ist. Die den einzelnen Contractionen entsprechenden Hubhöhen werden nur wenig verringert, wenn man den Faden mit einer Last von 100 grm. spannt. Die Ermüdung, welche natürlich auch bei lebenden Muskeln nicht ausbleibt, ist freilich bei Belastung grösser als ohne dieselbe. Die Erholung tritt aber, wenn man genügende Pausen macht, vollständiger ein als bei den überlebenden Muskeln. Leistung und Erholung würden wol noch besser ausfallen, wenn wir es mit kräftigen Sommerfröschen und nicht mit durch das Curare aufgehobner Lungenatmung zu tun hätten.

Die Bestimmung des physiologischen Querschnitts der bei unsrer Anordnung wirksamen Muskeln macht einige Schwierigkeit, da wir nicht genau sagen können, welche Muskeln sich an der gesamten Leistung, die zur Beobachtung kommt, beteiligen. Da die Richtung des Muskelzuges mit der Richtung, in welcher die Bewegung in Folge der mechanischen Anordnung erfolgen muss, einen sehr spitzen Winkel bildet, so kommt nur ein sehr geringer Anteil der bei der Contraction entstehenden Energie zur Geltung. Dies kann aber keinen Einfluss auf die Arbeitsleistung haben, da die Hubhöhe in demselben Maße wächst wie die Kraft abnimmt [1]). Ebenso ist selbstverständlich als Belastung nicht das ganze am Faden wirkende Gewicht in Rechnung zu ziehen, sondern nur ein Bruchteil desselben, da die Rolle, auf welche der Faden aufgewunden wird, einen kleineren Durchmesser hat, als der Hebelarm, an welchem der Muskel arbeitet. Aber auch dieses Moment fällt aus der Betrachtung aus, wenn wir nur die Arbeitsleistung des Muskels ins Auge fassen; denn diese wird ohne alle Rechnung und unmittelbar durch den Versuch gefunden durch einfache Multiplication des Gewichts mit seiner Hubhöhe.

Was ausser dieser wahren oder nutzbaren Arbeitsleistung sonst noch vom Muskel geleistet wird, muss als freie Wärme auftreten, in welcher Form es auch zunächst erschienen sein mag. Dahin gehört die durch Bewegung der trägen Massen und die mit ihr verbundene Reibung an den Axen verlorne Arbeit, ferner die bei der Contraction des Muskels erfolgende Dehnung der Feder. Letztere dient, wie wir gesehen haben, dazu, dem Muskel nach jeder Contraction wieder die für den nächsten Hub erforderliche Spannung zu geben; sie bewirkt also die indirect auch vom Muskel stammende Bewegung der trägen Massen, und erwärmt auch den Muskel, indem sie ihn spannt. Die gesammte der Art erzeugte freie Wärme kann calorimetrisch bestimmt werden. Wenn dies geschieht, dann haben wir in der mecha-

---

1) Man kann auf die vorliegende Anordnung der Muskeln und Hebel dieselbe Betrachtung anwenden, welche ich in meiner „allgemeinen Physiologie der Muskeln und Nerven“ S. 291 für schräggefaserte Muskeln angestellt habe. Ich benutze diese Gelegenheit, um die Leser meines Buches zu bitten, einen dort eingeschlichenen Fehler zu verbessern. Es muss in den dort gegebenen Formeln statt: $\sin \beta$ überall heissen: $\cos \beta$.

nischen Arbeitsleistung und der producirten Wärme zusammen die ganze Leistung des Muskelapparats ohne jeden Verlust. Und wenn wir diese dann noch mit den chemischen Processen vergleichen, welche ohne und mit Muskeltätigkeit in dem lebenden Frosch vorgehen (was wenigstens in Bezug auf die CO_2-production genau genug geschehen kann) so können wir wertvolle Aufschlüsse über wichtige Fragen erlangen. Ich gedenke derartige Bestimmungen im nächsten Sommer mit Hilfe des neuen, von mir angegebenen Calorimeters vorzunehmen.

Um die geleistete Arbeit zu bestimmen, wurde an dem Faden oberhalb der zur Aufnahme der Gewichte bestimmten kleinen Wagschale horizontal ein Strohhalm befestigt, dessen hervorragendes zugespitztes Ende auf der langsam rotirenden Kymographiontrommel, an welcher es mit geringem, durch Torsion des Fadens erzeugtem Druck anlag, die Hubhöhen in Gestalt einer Treppe aufschrieb. Wie vorauszusehen war, wurden die aufeinanderfolgenden Treppenstufen immer niedriger und zwar war dieser Einfluss der Ermüdung bei geringen Belastungen ebenso ausgeprägt wie bei grossen. Die Gesammtarbeit in einer gegebenen Zahl von Contraction wuchs mit steigender Belastung. So hob z. B. ein unvollkommen curarisirter Frosch, welcher noch Atembewegungen aber keine willkürlichen Bewegungen der Gliedmassen machte, in je 10 aufeinander Zuckungen:

50	grm	15	mm	hoch,	leistete	also	Arbeit	750	grmmm.
10	„	14	„	„	„	„	„	140	„
50	„	10,5	„	„	„	„	„	525	„
10	„	9	„	„	„	„	„	90	„
50	„	12	„	„	„	„	„	600	„
10	„	9	„	„	„	„	„	90	„
10	„	7	„	„	„	„	„	70	„
100	„	5	„	„	„	„	„	500	„
10	„	8	„	„	„	„	„	80	„
50	„	6,5	„	„	„	„	„	325	„
100	„	4	„	„	„	„	„	400	„
10	„	8	„	„	„	„	„	80	„
50	„	9	„	„	„	„	„	450	„
100	„	8	„	„	„	„	„	800	„

100	grm	7	mm	hoch,	leistete	also	Arbeit	700	grmmm.
50	„	8	„	„	„	„	„	400	„
10	„	7	„	„	„	„	„	70	„

(Die horizontalen Striche bedeuten Pausen).

Die Mittel aus allen Versuchen sind:

für die	Belastung	10	grm.	ist	die	Arbeitsleistung		88,6	grmmm.
„ „	„	50	„	„	„	„		508	„
„ „	„	100	„	„	„	„		600	„

Wie man sieht, nähert sich also die Arbeitsleistung einem Maximum, was auch schon für einzelne Zuckung bei freier Belastung nachgewiesen worden ist.

In einem andern Versuch mit vollkommener Curarisirung, bei welchem die Hubhöhen von je 3 Contractionen durch einen leichten Hebel etwa $2^1/_2$ mal vergrössert aufgeschrieben wurden, ergaben sich folgende Werte:

Belastung	Hubhöhe[1])	Geleistete Arbeit
10 grm	24 mm	240 grmmm
20	26,5	530
40	24	960
60	20	1200
80	17,25	1380
100	26,5	2650
120	19	2280
150	12	1800
180	9,5	1710

Wie man sieht, wächst auch hier die Arbeit mit der Belastung und erreicht bei der Belastung 100 ein Maximum. Dies ist aber nicht die wahre Lage des Maximums, da die Ermüdung mitspielt und alle später beobachteten Werte verhältnissmässig zu klein sind. Dies erhellt deutlich aus der Fortsetzung des Versuchs, denn nach einer Pause von 5 Minuten gab derselbe Frosch

---

1) Die Hubhöhe ist nicht die wahre, sondern die gemessene; in Wirklichkeit sind also diese Zahlen sowie die der folgenden Reihe durch 2,5 zu dividiren. Da es aber nur auf die Vergleichung ankommt, habe ich die Reduction unterlassen.

Belastung	Hubhöhe	Geleistete Arbeit
200 grm	18	3600
150	20	3000
100	12,5	1250
50	16	800

Wie die Ermüdung mitwirkt, sieht man noch besser, wenn man eine längere Reihe von Contractionen, etwa 10 bei gleichbleibender Belastung treppenförmig aufschreiben lässt. Z. B. Bei einer Belastung von 200 grm war die erste Hubhöhe 5 mm, die letzte 2 mm, die gesammte Hubhöhe 35 mm, also die Arbeitsleistung 7000 grmmm; unmittelbar darauf bei der Belastung 10 grm, war die erste Hubhöhe nur 4,5 mm, die letzte 2 mm. die gesammte 28 mm, also die Arbeitsleistung 280 grmmm.

Nehmen wir die bei 200 grm Belastung gefundene Arbeitsleistung als eine, welche sich dem wahren Maximum sehr annähert, und berechnen wir daraus die bei einer einer einzelnen Contraction (durch kurzdauernde tetanische Reizung) von den Adductorengruppen beider Schenkel wirklich geleistete Arbeit, so erhalten wir 480 oder für einen Schenkel allein 240 Gramm-Milimeter, während wir für einen isolirten Gastroknemius im günstigsten Falle 200 Gramm-Millimmeter herausgerechnet haben.

Eine sehr auffällige Erscheinung ist es, dass die Hubhöhen für ganz kleine Belastungen kleiner ausfallen, als für etwas grössere. Da wir es, wie schon gesagt, in unsern Versuchen mit Ueberlastungen zu tun haben, so bedeutet dies, dass die Spannung, welche der Muskel im Beginn seiner Contraction erfährt, günstig für die Entwicklung seiner Energie ist und dass nicht nur die Gesammtsumme der in der Contraction sich entwickelnden Kräfte, (welche zum Teil als Arbeit, zum Theil als Wärmeproduction auftritt), sondern auch der als mechanische Arbeit auftretende Anteil mit zunehmender Spannung wächst.

Um die Ermüdung für sich allein zu studiren, kann man eine grössere Zahl von aufeinanderfolgenden Reizungen bei gleichbleibender Belastung beobachten. Man sieht so eine allmählich abnehmende Reihe von Huben, welche aber noch bei dem 50ten bis 100ten Hube, wenn auch sehr klein, immer noch deutlich sind. Man kann auf diese Weise Ermüdungsreihen von ähnlicher Art erhalten, wie sie Kronecker beim freien

Hube studirt hat, Da mir aber nur daran gelegen war, hier die Methode der Untersuchung auseinanderzusetzen und die mannigfachen Anwendungen, deren sie fähig ist, so verspare ich mir das weitere Eingehen auf diese und andere Einzelheiten für eine spätere Mittheilung, zumal alle diese Versuche doch nur ein unvollkommenes Bild geben können, so lange sie nur an den schlechtgenährten Muskeln der überwinterten Frösche angestellt sind.

Erlangen im Februar 1880.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1878-1880

Band/Volume: 12

Autor(en)/Author(s): Rosenthal Julius Isidor

Artikel/Article: Ueber die Arbeitsleistung der Muskeln. 15-26