Versuche über isometrische Muskelzuckungen.

Von

A. Fick.

Mit 4 Abbildungen.

Eine der seltsamsten unter den vielen merkwürdigen Eigenschaften der Muskelsubstanz dürfte wohl unzweifelhaft darin bestehen, dass sie durch einen einzelnen momentanen Reizanstoss, mag er sie direkt treffen oder ihr vom Nerven beigebracht werden, nie zu ihrer maximalen Leistung veranlasst werden kann, wenn auch die Intensität dieses Reizes noch so hoch gesteigert wird. Bekanntlich wächst mit Steigerung der Stärke eines momentanen Reizanstosses von Null an die Höhe einer Muskelzuckung sehr rasch zu einem bestimmten Werthe, der dann bei weiterer Verstärkung des Reizanstosses ins Unbegrenzte absolut nicht mehr zu vergrössern ist. Diese Zuckungshöhe entspricht aber nicht etwa, wie man eigentlich meinen sollte, der Grenze der Zusammenziehungsfähigkeit, welche der Muskelfaser durch ihr inneres Gefüge selbstverständlich gezogen ist. Im Gegentheil kann sich die Faser noch viel weiter zusammenziehen, sie thut es aber nur, wenn auf den ersten Reiz in kurzen Zeitintervallen noch fernere folgen. Die Muskelfaser erreicht die durch ihre Natur gesetzte Grenze der Zusammenziehung nur, wenn in der richtigen Weise periodisch aufeinanderfolgende Reizanstösse wirken, welche sie in den Zustand des sogenannten Tetanus versetzen.

Einiges Licht ist auf diese paradoxe Erscheinung gefallen durch neuere Untersuchungen von J. v. Kries und M. v. Frey. Sie haben gefunden, dass die durch einen momentanen Reizanstoss ausgelöste Zuckung einen höheren Werth erreicht, wenn das den Muskel spannende Gewicht auf einer gewissen Höhe unterstützt liegt, auf welche es bei der gewöhnlichen Anstellungsweise der Versuche der sich zusammenziehende Muskel erst heben müsste. So ausgeführte Muskelzuckungen hat man schon früher öfters untersucht und als „Ueberlastungszuckungen“ bezeichnet. M. v. Frey

behauptet, dass bei normalen Muskeln durch geeignete Wahl der Unterstützungshöhe stets der volle Betrag der tetanischen Verkürzung in einer Einzelzuckung erreicht werden könnte.

Um dies Verhalten begreiflich zu machen, hebt v. Frey hervor, dass durch die Unterstützung des Gewichtes auf einer gewissen Höhe dem Muskel Arbeit gespart werde, und er vielleicht aus diesem Grunde in einer „Ueberlastungszuckung“ einen höheren Betrag der Verkürzung erreichen könne als bei einer von vornherein isotonisch verlaufenden.

Man wird den Gedanken v. Frey's etwa folgendermaassen genauer formuliren können. Selbstverständlich ist es ein ganz bestimmter Betrag von mechanischer Arbeit, welchen der Muskel allerhöchstens leisten kann mittels der durch einen Einzelreiz auslösbaren chemischen Energie. Bei isotonischem Zuckungsverlaufe ist die geleistete Arbeit gleich dem Produkte aus dem spannenden Gewichte und der Verkürzungsgrösse (Hubhöhe). Unterstützt man das Gewicht auf einem Theil dieser Höhe vorläufig, so hat der Muskel den Theil der Arbeit, welcher dem Hube bis dahin entspricht, nicht mit seinen Kräften zu leisten und es erscheint begreiflich, dass er nun in der Verkürzung weiter kommen kann, weil er eben in dem Augenblicke, wo er mit dem Gewichte den Punkt der maximalen Verkürzung bei isotonischem Verlaufe erreicht hat, noch lange nicht die Arbeit geleistet ist, die auf Einzelreiz geleistet werden kann.

Fig. 1.

Wir wollen uns den Vorgang durch ein Arbeitsdiagramm anschaulich machen. Von A (Fig. 1) aus seien in der Ordinatenaxe AB die Längen und in der Abscissenaxe AC die zugehörigen Spannungen eines Muskels gemessen. Seine natürliche Länge im Ruhezustande bei der Spannung 0 sei $A\beta_1$, unter einer Spannung $= Ac$ dehne er sich auf die

Länge Ab_1 . Wir wollen annehmen, dieser Muskel verkürze sich unter der Spannung Ac maximal gereizt auf die Länge Ab_2 , dann wird er, wofern die Zuckung isotonisch verläuft, eine Arbeit leisten, welche durch den Flächenraum des Rechteckes $b_1 b_2 c_2 c_1$ dargestellt wird. Wir wollen in einem zweiten Versuche das die Spannung Ac bedingende Gewicht vorläufig auf der Höhe β_2 aufgestützt denken. Der nunmehr vollständig entlastete Muskel wird also zu Anfang seine natürliche Ruhelänge $A\beta_1$ haben. Reizt man ihn jetzt maximal, so zieht er sich zunächst um den Betrag $\beta_1\beta_2$ ohne Spannung mithin ohne Arbeitsleistung zusammen, hierauf wächst ohne Verkürzung seine Spannung von b auf den Werth $\beta_2\gamma_2 = Ac$ und endlich zieht er sich unter dieser Spannung isotonisch zusammen, wobei Arbeit geleistet wird; käme er nun, wie im ersten Versuche, auf die Länge Ab_2 , so würde im Ganzen bloss eine durch das Rechteck $\beta_2 b_2 c_2 \gamma_2$ dargestellte Arbeit geleistet. Faktisch kommt es aber, wie eben v. Kreis und v. Frey gezeigt haben, zu einer grösseren Zusammenziehung, sagen wir bis zur Länge $A\beta_3$, und es wird also eine durch das Rechteck $\beta_2 \beta_3 \gamma_3 \gamma_2$ dargestellte Arbeit geleistet. Von dem Stück Arbeit $b_1 \beta_2 \gamma_2 c_1$, welches durch die Unterstützung der Last dem Muskel erspart bleibt, kommt also wenigstens ein Theil durch ausgiebigere Verkürzung doch zum Vorschein.

Diese Thatsachen legten mir die Frage nahe, ob eine analoge Erscheinung bei isometrischen Zuckungen vorkomme. Von isotonischen Zuckungen gilt der Satz: Wenn man die zu hebende Last schon zuvor hebt auf einen Theil der Höhe, auf welche sie der maximal gereizte Muskel bringen würde, so hebt er sie über diese letztere hinaus. Von isometrischen Zuckungen könnte man einen analogen Satz aussprechen mit den Worten: „Wenn man die zu „spannende Feder schon zuvor auf einen Theil der Spannung „bringt, auf welche sie der maximal gereizte Muskel bringen „würde, so bringt er sie nun auf eine höhere Spannung.“ Es ist experimentell zu untersuchen, ob dieser Satz richtig ist oder nicht. S. Götz hat auf meine Veranlassung diese Untersuchung ausgeführt und in seiner Inauguraldissertation¹⁾ beschrieben. Ich

1) Untersuchungen über die Zunahme der Zuckungshöhen durch Ueberlastung und Ueberspannung. Würzburg 1887.

will im Folgenden das Princip der Methode und die Hauptresultate dieser Untersuchung kurz mittheilen.

Zu den Versuchen diente der in meiner Abhandlung über myographische Versuche am lebenden Menschen¹⁾ beschriebene Spannungszeiger²⁾. Wenn mit Froschmuskeln gearbeitet wurde, war über der Axe ein Knochenhalter an einem besonderen Statif befestigt, der den oberen Knochenansatz des Muskels trug, während an dessen unteres Ende der Blechstreif *B* (siehe Fig. 3 ange-

Fig. 2.

Fig. 3.

1) Siehe dieses Archiv Bd. 41, S. 176.

2) Die jener Abhandlung beigegebenen Figuren sind hierneben als Fig. 2 und Fig. 3 wieder abgedruckt. Fig. 2 stellt den Grundriss, Fig. 3 den Aufriss (von hinten gesehen) dar. In Fig. 2 ist *AA* die in Spitzen laufende Stahlaxe, *F* der federnde Stahlstreif fest mit der Axe verbunden und am freien Ende auf den Knopf *K* aufgestützt. *S* ist der 280 mm lange mit Aluminiumzeichenspitze versehene leichte Schilfhebel, gleichfalls mit der Axe fest verbunden. Er ist in der Figur nicht in ganzer Länge gezeichnet. *N* ist eine kleine aus der Axe vorragende Nase, unter welche der Muskel mittels des hakenförmig ausgeschnittenen Messingblechstreifs (*B*, siehe Fig. 3) greift.

hängt war, so dass der sich spannende Muskel direkt die Axe zu drehen strebt. Um der Feder F (in Fig. 2) eine vorläufige Spannung geben zu können, hat der Schreibhebel S (Fig. 2) eine kurze metallene Verlängerung über A hinaus, unter deren Ende eine starke im Grundbrette des Apparates senkrecht auf- und abgehende Schraube angebracht ist (beides in der Figur nicht gezeichnet). Man kann also durch Aufwärtsschrauben derselben das genannte Verlängerungsstück beliebig heben, sowie es der an der Nase N angreifende Muskel heben würde und dadurch die Feder F beliebig vorläufig spannen. Selbstverständlich wird diese Spannung durch entsprechende Senkung des Zeichenhebels S angezeigt.

Es ist wichtig zu bemerken, dass das Verlängerungsstück und die Stützschaube absolut starr sein müssen. Wäre z. B. die Schraube zusammendrückbar, so würde sie beim vorläufigen Spannen der Feder wirklich etwas zusammengedrückt werden und sich, wenn hernach der Muskel an der Nase N zieht, wieder ausdehnen, also mit dem Verlängerungsstücke noch in Berührung bleiben und gegen dasselbe aufwärts drücken. Der Muskel hätte also dann nicht die ganze vom Zeiger S angezeigte Spannung auszuüben und es würde allemal eine Vergrößerung der isometrischen Zuckung bei vorläufiger Anspannung der Feder vorgetäuscht werden. Ob das Verlängerungsstück und die Stützschaube den erforderlichen Grad von Starrheit haben, das kann man sehr leicht ermitteln. Man braucht nur einen elektrischen Strom durch Schraube und Verlängerungsstück fließen zu lassen, der irgend ein Signal in Bewegung setzt. Ist nun die Schraube gegen das Verbindungsstück unter einer gewissen Spannung der Feder angestützt, so muss — wofern die Theile vollkommen starr sind — bei der allerminimsten weiteren Drehung der Axe das Signal das Aufhören des Contactes zwischen Schraubenkopf und Verlängerungsstück anzeigen.

Vor Mittheilung des wesentlichen Resultates möchte ich noch die bekannte Thatsache in Erinnerung bringen, dass sich bei Wiederholung der Reizstösse in kurzen Intervallen isometrische Zuckungen gerade so summiren wie isotonische, und dass also die Spannung bei tetanischer Reizung bedeutend höher wird als bei maximaler Einzelreizung. Dies gilt, wie in der oben citirten Abhandlung gezeigt ist, in ganz besonders hohem Maasse beim Muskel des lebenden Menschen.

Das wesentliche Ergebniss der von S. Götz ausgeführten Versuche war nun dieses. Eine Erhöhung der isometrischen Maximalzuckung durch vorläufige Anspannung der Feder des Spannungszeigers findet im allgemeinen durchaus nicht statt. Insbesondere haben wir nie die geringste Erhöhung beobachtet, wenn eine vorläufige Spannung hergestellt wurde, welche der bei der Reizung zu erwartenden Maximalspannung sehr nahe kommt. In Fällen, wo etwa die halbe zu erwartende Maximalspannung vorläufig hergestellt wurde, kam manchmal eine Erhöhung der Zuckung zum Vorschein, aber nur von verschwindend kleinem Betrage gegenüber der bedeutenden Erhöhung, welche die isotonische Zuckung durch vorläufige Unterstützung der Last erfährt.

Dies negative Resultat, welches ich von vornherein erwartet hatte, scheint mir im Sinne der von M. v. Frey vertretenen Auffassung der Zuckungserhöhung durch Unterstützung der Last zu sprechen. Bei einer isometrischen Zuckung wird nämlich überall eine kaum merkliche äussere Arbeit geleistet, wie man aus dem beistehenden Arbeitsdiagramme Fig. 4 sieht. Es seien wie in

Fig. 4.

Fig. 1 die Spannungen in der Abscissenaxe AC die Längen in der Ordinatenaxe AB gemessen. Es sei wieder $A\beta_1$ die natürliche

Ruhelänge des Muskels. Bei der Reizung — so wollen wir annehmen — wachse die Spannung vom Werthe Null bis zum Werthe Ac , und die Länge nehme dabei von $A\beta_1$ bis zum Werthe $A\beta_2$ ab. Diese Grösse, die in Wirklichkeit verschwindend klein ist, indem sie noch nicht 0,1 mm beträgt, ist in der Figur in sehr vergrössertem Maassstabe dargestellt, weil sonst die Zeichnung gar nicht ausführbar wäre. Die geleistete Arbeit stellt sich also dar in dem Flächenraume des äusserst schmalen Dreiecks $\beta_1\beta_2\gamma_2$. Wäre die Zuckung wirklich absolut isometrisch, so wäre die Verkürzung $\beta_1\beta_2$ Null, der Flächenraum ebenso und es würde absolut gar keine Arbeit geleistet. In Wirklichkeit ist die absolute Isometrie allerdings nicht erreichbar, aber der dreieckige Flächenstreif, der die Arbeit darstellt, ist doch so schmal, dass sein Flächeninhalt gegen den Flächenraum des Rechteckes $b_1b_2c_2c_1$, Fig. 1, welcher bei der isotonischen Zuckung die Arbeit misst, verschwindend klein ist. Spannt man nun die Feder des Spannungszeigers bis zum Werthe Ac_3 an durch Unterstützung des Verlängerungsstückes, so steht die Nase, an welcher der Muskelhaken anzugreifen hat, im Anfange des Versuches auf der Höhe β_3 und bis dahin zieht sich der Muskel leer ohne Arbeit zusammen, dann wächst seine Spannung ganz ohne Verkürzung bis zum Werthe Ac_3 und hierauf mit Verkürzung um den Betrag $\beta_3\beta_2$ bis zum Werthe von Ac_2 . Bei diesem Vorgange kommt also das dem Dreieck $\beta_1\beta_3\gamma_3$ entsprechende Stück Arbeit in Wegfall. Statt einer Arbeit $\beta_1\beta_2\gamma_2$ leistet der Muskel die Arbeit, welche durch den trapezförmigen Flächenstreif $\beta_3\beta_2\gamma_2\gamma_3$ dargestellt wird. Beide Arbeitswerthe sind aber verschwindend klein. Es wird also bei isometrischem Zuckungsverlaufe durch vorläufige Anspannung der Feder keine merkliche Arbeit erspart, wie es bei isometrischem Zuckungsverlaufe durch vorläufige Unterstützung der Last auf einem Theile der Höhe geschieht.

Ich fasse den Gedankengang noch einmal kurz zusammen. Nach der Auffassung v. Frey's ist die Erhöhung isotonischer Maximalzuckungen durch vorläufige Unterstützung der Last dadurch bedingt, dass diese Unterstützung dem Muskel Arbeit erspart, die er sonst bei Erhebung der Last zu leisten hätte. Bei isometrischem Zuckungsverlaufe erspart die vorläufige Anspannung dem Muskel keine merkliche Arbeit. Nach der Auffassung v. Frey's wäre also hier durch die vorläufige Anspannung keine Erhöhung

der Zuckung zu erwarten. Da sich nun diese Erwartung durch den Versuch bestätigt, so spricht derselbe zu Gunsten jener Auffassung.

Unsere Versuche über isometrische Zuckungen mit vorläufiger Federspannung sind nicht bloss an Frochsmuskeln, sondern auch am abductor indicis des lebenden Menschen angestellt und zwar mit gleichen Ergebnissen.

Schliesslich bemerke ich noch, dass wir bei Gelegenheit dieser Untersuchung auch Versuche über isotonische Zuckungen mit vorläufiger Unterstützung der Last angestellt haben und zwar auch sowohl an Frochsmuskeln als am abductor indicis des lebenden Menschen. Sie haben im Allgemeinen die Sätze v. Kries' und v. Frey's bestätigt, jedoch haben wir nur in seltenen Fällen die volle Tetanushöhe erreicht.

(Mittheilungen aus dem Laboratorium der pharmakognostischen Sammlung
in Kiel.)

Beitrag zur Kenntniss der Chloratwirkung.

Von

A. Falck.

Marchand hat 1879 die eigenartige Wirkung der chlorsauren Alkalien festgestellt, später v. Mering unsere Kenntniss über die Methämoglobin bildende Wirkung der genannten Salze wesentlich erweitert. Trotz zahlreicher Untersuchungen, welche sich an jene Arbeiten anschlossen, sind die Bedingungen für den Eintritt der typischen Chloratwirkung noch nicht bekannt.

Die hin und wieder bei Menschen beobachtete Blut zersetzende Wirkung des chlorsauren Kaliums konnte bisher nur bei Hund und Katze hervorgerufen werden; beim Kaninchen dagegen gelang der Nachweis des Methämoglobins weder in dem cirkulirenden (Bokai, Lenhartz), noch dem dem Thiere entnommenen Blute (Marchand, Stokvis, Riess, Bokai, Lenhartz, Cahn), selbst dann nicht, wenn — vor der Vergiftung — durch Einspritzung faulender Massen die Temperatur des Thieres erhöht, durch Ein-