

(Aus dem Institut für animalische Physiologie [Theodor Stern-Haus.] Frankfurt a.M.)

Elektromyographische Untersuchungen am Sphincter ani. (Ein Beitrag zur Tonusfrage.)

Von
Adolf Beck.

Mit 7 Textabbildungen.

(Eingegangen am 3. Dezember 1929.)

Die Frage, ob am quergestreiften Muskel Erscheinungen des Tonus nachweisbar sind, ist ein Problem, das seit den Arbeiten von *von Uexküll*¹, *Bethe*², *Parnas*³ an glatten Muskeln, hauptsächlich wirbelloser Tiere, die Physiologen in starkem Maße beschäftigt. Seitdem sind die dort gewonnenen Begriffe auch auf den Skelettmuskel angewandt worden. Bei dem Studium der hierhergehörigen Literatur ist die große Verwirrung in der Nomenklatur der dieses Problem berührenden Erscheinungen auffällig. Es ist das Verdienst *Wacholders*⁴, in seiner Monographie über die „willkürliche Haltung und Bewegung“ eine klare Trennung und Definition der hierhergehörenden Begriffe gegeben zu haben. Besonders wichtig erscheint die von ihm getroffene Unterscheidung zweier, ihrer biologischen Bestimmung und wahrscheinlich auch ihrer Grundlage nach verschiedener Eigenschaften mancher Muskeln, der Sperrung und der Plastizität. Die nicht klare Auseinanderhaltung dieser Eigenschaften hat zur Aufstellung des unklaren Begriffes eines „plastischen Tonus“ geführt, worunter die einzelnen Autoren ganz verschiedene Dinge verstehen.

Uns interessiert vom Standpunkt des Tonusproblems beim quergestreiften Muskel besonders die Frage nach dem Vorhandensein der erstgenannten Eigenschaft — der Sperrung. Darunter verstehen wir mit *von Uexküll* einen unabhängig von der Verkürzung auftretenden erhöhten Widerstand gegen Dehnung. Dieser erhöhte Widerstand offen-

¹ *von Uexküll*, Z. Biol. **58**, 305 (1912).

² *Bethe*, Allgemeine Anatomie und Physiologie des Nervensystems. 1903. Pflügers Arch. **142**, 291 (1911).

³ *Parnas*, Pflügers Arch. **143**, 464 (1910).

⁴ *Wacholder*, Willkürliche Haltung und Bewegung. Erg. Physiol. **26**, 568 (1928).

bart sich uns bei unseren Meßmethoden als erhöhte Spannung. Das Wesentliche für die weitere Erörterung der Tonusfrage ist nun, ob es sich bei dieser Sperrung, die sich über sehr große Zeiten erstrecken kann, um einen Muskelzustand besonderer Art handelt, oder ob sie nichts Weiteres als eine tetanische Dauerverkürzung ist. Es ist hierbei unter tetanischer Dauerverkürzung der isometrische Tetanus des unermüdeten, *isolierten* Muskelpräparates verstanden. Erst in zweiter Linie wird man die als tetanisch angesehenen willkürlichen und reflektorischen Contractionszustände heranziehen.

Während *von Uexküll* die Sperrung rein symptomatisch beschreibt, suchen *Bethe* und *Parnas* eine energetische Charakteristik der Sperrung, und somit des Tonus in diesem Sinne, zu finden. Sie konnten in Versuchen an Mollusken zeigen, daß der in Sperrung befindliche Muskel während dauernder Belastung gegenüber dem unbelasteten Muskel keinen erhöhten Stoffverbrauch aufweist. Dagegen ist bei der Dauerverkürzung des im isometrischen Tetanus befindlichen isolierten (und auch willkürlich bzw. reflektorisch innervierten) quergestreiften Muskels ein wesentlich erhöhter Stoffumsatz nachweisbar. *Fröhlich* u. *H. H. Meyer*¹ gingen an das Problem von einer anderen Seite heran: Ist der tonische Zustand etwas Neues und vom Tetanus Unterscheidbares, so müßten nach den landläufigen Vorstellungen zu seiner Aufrechterhaltung entweder gar keine Impulse von seiten des Zentralnervensystems nötig sein oder ihre Form bzw. Frequenz sich von der bei tetanischer Erregung gefundenen unterscheiden. Sie suchten dies durch Untersuchungen der Aktionsströme zu entscheiden und fanden in der Tat bei mehreren Objekten Aktionsströme nur während der Verkürzung, während das Stadium der Spannungserhaltung stromlos verlief.

Nach diesen beiden Gesichtspunkten, des Stoffwechsels und der elektrischen Untersuchung der im Muskel sich abspielenden Erregungen, ist von zahlreichen Forschern die Frage, ob beim quergestreiften Muskel echte tonische Zustände vorkommen, angegangen worden.

Die umfangreiche hierhergehörige Literatur ist an verschiedenen Orten² zusammengefaßt, so daß es sich erübrigt, sie hier noch einmal im einzelnen durchzugehen. Die große Zahl der diesbezüglichen Arbeiten ist ein Zeichen dafür, wie wenig Einigkeit der Meinungen auf diesem Gebiete besteht. Doch scheinen mir einige Beobachtungen teils am pathologisch veränderten, teils am normalen Muskel eindeutig für die Annahme eines echten Tonus des quergestreiften Muskels zu sprechen.

¹ *Fröhlich* u. *H. H. Meyer*, Zbl. Physiol. **26**, 269 (1912). — Arch. f. exper. Path. **87**, 173 (1920).

² *F. H. Levy*, Die Lehre vom Tonus und der Bewegung. Berlin: Julius Springer 1923. — *Riesser*, Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie **8**, 192 (1925). — *Spiegel*, Der Tonus der Muskulatur. Berlin: Julius Springer 1927.

So hat man schon bei rein äußerlicher Betrachtung der wegen ihrer Unermüdbarkeit erstaunlichen Leistungen bei den katatonischen und verwandten Starrezuständen (Parkinson, postencephalitischer Rigor) den Eindruck, daß es sich um sogenannte „tonische“ Erscheinungen handelt, eine Annahme, die durch die Stoffwechseluntersuchungen (*Grafe*¹ u. *Plaut*²) eine gewisse Bestätigung findet³. Die für die entgegengesetzte Annahme sprechenden Aktionsstrombefunde von *Höber*⁴, *Hansen*, *Hoffmann* u. v. *Weizsäcker*⁵, *Claudiel*, *Baruk*, *Thévenard*⁶, *Rehn*⁷, *Weigeldt*⁸, *Foix* u. *Thévenard*⁹ sind aus gleich unten zu erwähnenden Gründen wenig beweiskräftig.

Auch das bei der Atmungstetanie von *Dittler* u. *Freudenberg*¹⁰ beobachtete Verhalten des Adductor pollicis. — Fortbestehen der Contractur in diesem Muskel trotz Verschwindens der Aktionsströme nach Ausschaltung aller zuführenden Nerven — spricht für die Annahme eines „Tonus“ beim quergestreiften Muskel¹¹.

Die physiologische Beteiligung einer tonischen Komponente an der Tätigkeit des normalen quergestreiften Muskels hat *Wacholder*¹² untersucht und kommt aus dem Befund, daß bei der sogenannten *Riegerschen* Bremsung die initiale Bremsung aktionsstromlos verläuft, zu dem Schluß, daß der quergestreifte Muskel wohl auch „tonische“ Eigenschaften hat, diese aber in seinem Tätigkeitsablauf nur eine untergeordnete Rolle spielen; denn er berechnet die auf Kosten der Bremsung zu setzende Spannung des Muskels bloß mit 1—2% der Maximalkraft (an der oberen Extremität etwas mehr).

Vor Schilderung der eigenen Aktionsstromuntersuchungen will ich mich mit einigem Grundsätzlichem über die Beurteilung von Aktionsstrombildern auseinandersetzen.

Der bloße Nachweis von oszillierenden Aktionsströmen bei irgendeiner Muskeltätigkeit besagt für die Frage ihres Mechanismus nicht viel. Es kann sich ja um ein Nebeneinandergehen von „tonischer“ und tetanischer Muskeltätigkeit handeln. Für die Entscheidung der Frage, ob es sich nun wirklich um eine Superposition von tetanischer und tonischer Muskeltätigkeit handelt, ist erstens die Kenntnis der bei der Muskeltätigkeit entwickelten Spannung nötig. Die Beurteilung der

¹ Dtsch. Arch. klin. Med. **102**, 15 (1911); **139**, 155 (1922).

² *Plaut*, Pflügers Arch. **202**, 410 (1924).

³ Zu gegenteiligen Befunden kommt allerdings *Schill* [Z. Neur. **70**, 202 (1921)] in seinen vergleichenden Stoffwechseluntersuchungen an Schizophrenen und Gesunden.

⁴ *Höber*, Pflügers Arch. **177**, 311 (1919).

⁵ *Hansen*, *Hoffmann* u. v. *Weizsäcker*, Z. Biol. **75**, 121 (1922).

⁶ *Claudiel*, *Baruk* u. *Thévenard*, Encéphale **22**, 741 (1927).

⁷ *Rehn*, Dtsch. Z. Chir. **162**, 155 (1921) — Klin. Wschr. **1**, 309 (1922).

⁸ *Weigeldt*, Dtsch. Z. Nervenheilk. **74**, 129 (1922).

⁹ *Foix* u. *Thévenard*, J. Physiol. et Path. gén. **23**, 309 (1925).

¹⁰ *Dittler* u. *Freudenberg*, Pflügers Arch. **201**, 182 (1923).

¹¹ Der von *Flick* u. *Hansen* [Z. Biol. **200**, 511 (1923)] gegen diese Befunde erhobene Einwand, daß bei der Atmungstetanie nach Plexusanästhesie ein Trousseauisches Phänomen nicht mehr auslösbar ist, wäre erst dann als beweisend anzusehen, wenn die schon bestehende Adductorencontractur zum Verschwinden gebracht würde.

¹² *Wacholder*, l. c.

oben erwähnten Aktionsstromuntersuchungen ist durch den Mangel solcher Angaben sehr erschwert. Als zweites wäre die Kenntnis von Vergleichsgrößen zwischen der Muskelspannung und der Stärke der Aktionsströme erforderlich. Nun sind aber genaue mathematische Beziehungen zwischen der Größe der entwickelten Spannung und der Amplitude bzw. Frequenz der Aktionsströme nicht vorhanden. Haben ja manche Autoren (*Kleinknecht*¹ u. *Beritoff*²) die Muskeltätigkeit und den Aktionsstrom als zwei voneinander fast unabhängige, an zwei verschiedene Substrate gebundene, jedenfalls nicht parallel verlaufende Faktoren hingestellt. Doch können wir nach den Untersuchungen von *Haas*³ u. *Wacholder* u. *Altenburger*⁴ als gesichert annehmen, daß mit wachsender tetanischer Spannungsentwicklung sowohl eine Frequenzzunahme wie eine Amplitudenvergrößerung der Aktionsstromschwankungen einhergeht. So werden wir daher, praktisch genommen, aus den Aktionsstromuntersuchungen dann auf das Vorhandensein einer tonischen Komponente schließen, wenn sich ein auffallendes Mißverhältnis zwischen der Größe der vom Muskel aufgebrauchten Spannung und der Größe der von ihm abgeleiteten Aktionsströme nachweisen läßt⁵).

Die schon eingangs erwähnte große Divergenz der Anschauungen in der Tonusfrage beim quergestreiften Muskel ließ es als berechtigt erscheinen, durch Untersuchung eines exquisit auf Spannungserhaltung eingestellten Muskels dieser Frage näherzutreten. Auf Anraten von Professor *Bethe* wählte ich zu diesem Zweck den Sphincter ani, der, soviel mir bekannt ist, noch nie Gegenstand elektrischer Untersuchungen war. Dieser Muskel hat fast das ganze Leben eine gewisse Spannung aufrechtzuerhalten. Seine Sonderstellung gegenüber den anderen quergestreiften Muskeln geht ja schon aus den Beobachtungen von *Goltz* u. *Ewald*⁶ u. *Frankl-Hochwart* u. *Fröhlich*⁷ hervor, daß er im Gegensatz zu anderen Skelettmuskeln nach Durchtrennung aller zuführenden Spinalnerven nach einer längeren Zeit der Lähmung seine Spannung wiedergewinnen und unverändert aufrechterhalten kann. Ich untersuchte den Muskel im „Ruhezustand“, sowie bei verschiedenen Graden

¹ *Kleinknecht*, Z. Biol. **81**, 5 (1924).

² *Beritoff*, Z. Biol. **82**, 119 (1924).

³ *Haas*, Pflügers Arch. **212**, 651 (1926).

⁴ *Wacholder* u. *Altenburger*, Pflügers Arch. **212**, 657 (1926).

⁵ Doch ist hierbei der Einwand von *Riesser* u. *Steinhäuser* [Pflügers Arch. **197**, 288 (1922)] zu bedenken, daß ein Saitenbild mit nur wenigen und niedrigen Oszillationen durch eine Interferenz der in den verschiedenen Muskelfasern asynchron ablaufenden Erregungen vorgetäuscht werden könnte. Ähnliche Gedankengänge finden sich auch in einer späteren Arbeit *Adrians* [Olliver Sharpeys lectures on the interpretation of the electromyogram. Lancet **208**, 1229 u. 1282 (1925); zit. nach *Wacholder*].

⁶ *Goltz* u. *Ewald*, Pflügers Arch. **63**, 362 (1896).

⁷ *Frankl-Hochwart* u. *Fröhlich*, Pflügers Arch. **81**, 420 (1900).

der Dehnung und Entspannung; ferner hatte ich Gelegenheit, sein elektrisches Verhalten bei der natürlichen Defécation zu beobachten; durch Kitzelreiz am Anus konnte ich auch künstlich defécationsähnliche Bewegungen erzeugen und elektrisch registrieren. Besonderen Wert legte ich auf die Beobachtung des elektrischen Verhaltens, nicht nur während des Stadiums der Spannungsänderung, sondern auch während der darauffolgenden Periode der unveränderten Spannungserhaltung. Bei dem größten Teil der Versuche wurde gleichzeitig die Länge, die Spannung und das elektrische Verhalten des Muskels registriert. Im ganzen habe ich 8 derartige Versuchsreihen angestellt, davon 7 am Hund und 1 am Menschen, die gleichartige Ergebnisse wie die Versuche am Tier ergab. Einige Versuchsreihen wurden an einem Hund mit hochdurchschnittenem Rückenmark gemacht, so daß wir also Gelegenheit hatten, das von jedem Einfluß höherer Hirnteile unabhängige Verhalten des Sphincter ani zu beobachten.

Methodik:

Zur Registrierung der Aktionsströme stand mir ein großes Edelmannsches Saitengalvanometer zur Verfügung. Der Magnetstrom betrug 4 Amp., der Widerstand der Saite — es wurden verschiedene Saiten aus Quarz, Silber und Platin verwendet — schwankte zwischen 3800 bis 10300 Ohm und wird, wie auch das Material der Saite, an den entsprechenden Stellen angegeben. Zur Zeitschreibung diente eine Jaquet-Uhr mit $\frac{1}{5}$ Sekunden Einstellung.

Zur Ableitung der Aktionsströme bediente ich mich größtenteils der von *Trendelenburg*¹ angegebenen Nadeleinstichmethode, die jetzt auch von den meisten anderen Versuchern angewandt wird. Ich benutzte einfache Stahlnadeln, die rechts und links an zwei gegenüberliegenden Stellen der Haut-Schleimhaut-Falte des Analrings ungefähr 4 cm tief eingestochen wurden. Durch Palpation von innen her wurde jedesmal die richtige Lage der Nadeln im Muskel kontrolliert.

In Vorversuchen am Menschen an anderen Körperstellen hatte ich auch andere Methoden der Ableitung versucht, um die bei einigen Versuchspersonen als sehr lästig empfundene Einstichmethode zu vermeiden. So versuchte ich die Ableitung mit unpolarisierbaren Tonstiefelektroden². Doch erwies sich diese Methode als für meine Zwecke zu wenig empfindlich.

¹ *Trendelenburg*, Z. Biol. **74**, 113 (1922).

² Den bei dieser Ableitung störenden großen Hautwiderstand suchte ich durch Vorbehandlung der Haut mit 10proz. Salicylpflaster, das 1 Tag liegenblieb, und 10 Minuten langes vorhergehendes Abreiben mit grüner Seife herabzusetzen. Die durch diese Vorbehandlung erzielte Widerstandsverminderung wird durch vergleichende Widerstandsmessungen mit der Kohlrauschschen Methodik gut veranschaulicht. So zeigte bei Tonstiefelableitung die Volarseite des unvorbehandelten Unterarms einen Widerstand von 22000 Ohm, während bei gleicher Ableitung des anderen, mit 20proz. Salicylpflaster vorbehandelten Armes bloß ein Widerstand von 3000 Ohm zu verzeichnen war. — Ich möchte an dieser Stelle noch eine Beobachtung mitteilen, die ich bei den Vorversuchen mit dieser Methode gemacht habe. Es zeigte sich nämlich zu wiederholten Malen, daß bei demselben Ausmaß der Bewegungen und auch sonst gleichen Bedingungen der Ableitung die von der Beugeseite des Armes abgeleiteten Aktionsströme eine größere Amplitude

Die zweite Aufgabe neben der elektrischen Registrierung war die Verzeichnung der Spannung und Länge des Muskels auf mechanisch-optischem Wege.

Zur Dehnung des Sphincters bediente ich mich eines wassergefüllten Colpeurynters (Abb. 1, *C*), der in den Anus so eingeführt wurde, daß gerade seine Einschnürung vom Sphincter umklammert wurde. Durch die Aufblähung der dahinter gelegenen Hälfte wurde ein Herausgleiten des Colpeurynters verhindert. Der Colpeurynter stand durch ein Rohrsystem (*D. G.*) mit einem Druckgefäß in Verbindung, dessen Höhe verstellbar war. Durch das Rohr *M_I* war eine Verbindung zu einer Mareyschen Kapsel hergestellt, durch deren Zeiger die Druckschwankungen als Schatten auf den Film übertragen wurden. Eine andere Verbindung führte zu einem Quecksilbermanometer (*Ma*), dessen Nullniveau in gleicher Höhe mit dem Colpeurynter eingestellt war und das absolute Druckablesungen ermöglichte.

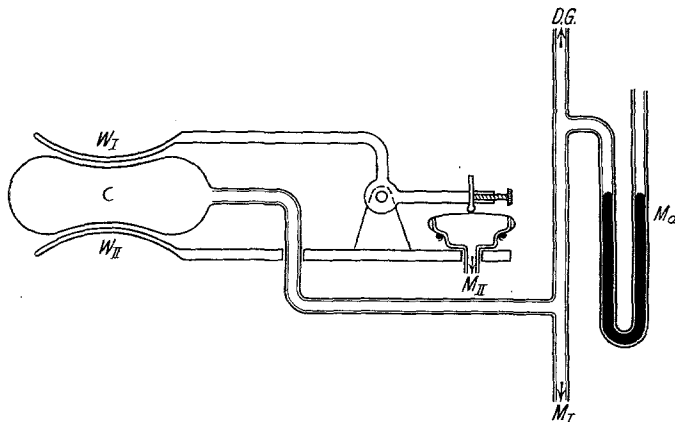


Abb. 1. Schema der Versuchsanordnung.

Zur Registrierung der Anusweite und somit der Längenänderungen des Schließmuskels wurden zu beiden Seiten des Colpeurynters die Branchien (W_I , W_{II}) eines scherenförmigen Instrumentes eingeführt. Die Bewegungen der Scherensarme wurden durch eine mit dem anderen Ende des zweiarmligen Hebels gekoppelte Mareysche Kapsel durch das Rohr M_{II} auf eine weitere Mareysche Kapsel übertragen, deren Zeiger vor dem Schlitz des Photokymographions angebracht war. Empirisch wurden die Ausschläge dieses Hebels auf die Entfernungen der Scherenbranchien geeicht. Es wurde angenommen, was der Beobachtung auch nahezu entsprach, daß sich der Anus beim Aufblähen des Colpeurynters kreisförmig erweitert. Durch Multiplikation des gefundenen Anusdurchmessers mit π ergibt sich dann der Anusumfang, der in den weiteren Ausführungen allein angegeben wird. Die Längenänderungen des Sphincters mußten den Umfangsänderungen des Anus proportional sein; wegen der unbekanntenen Dicke der Schleimhaut konnten sie aber nicht genau festgestellt werden.¹

aufwiesen als die der Streckseite. Meine Annahme, daß es sich hierbei um Differenzen des Hautwiderstandes der genannten Seiten handle, wurde durch vergleichende Widerstandsmessungen nach der Kohlrauschschen Methode bestätigt.

¹ In einem Teil der Versuche wurde das Tier durch eine subcutane Morphiuminjektion (4–10 mg pro Kilogramm Körpergewicht) vorbereitet, nachdem wir uns vorher überzeugt hatten, daß dadurch die Spannung des Sphincters nicht beeinflusst wurde. Doch konnten wir in späteren Versuchen ganz auf das Morphium verzichten.

Beschreibung der eigenen Versuche.

Bei Einschaltung des unbeeinflussten Sphincter ani in den Stromkreis trat jedesmal ein starker Bestandstrom auf, dessen Größe zwischen 4—84 M.V. schwankte und durch die Stärke des Kompensationsstromes, der nötig war, um die Saite auf die Nullage zurückzuführen, bestimmt werden konnte.

Über Wesen und Herkunft dieses Bestandstroms habe ich keine weiteren Untersuchungen angestellt.

Wird der Sphincter längere Zeit sich selbst überlassen, gleichgültig ob Colpeurynter und Weitenschreiber eingeführt sind oder dies nicht der Fall ist, so zeigt die Saite bei der von mir erreichten Empfindlichkeit (0,7 cm Ausschlag bei 3 M.V.-Spannung) in der Regel vollkommene oder nahezu vollkommene Ruhe (s. Anfangsteil der Abb. 6). Wenn wir nun durch Heben des Druckgefäßes bei eingeführtem Colpeurynter oder durch Einführen des Fingers in den leeren Anus eine Dehnung des Sphincters herbeiführen, so können wir an dem Verhalten der Saite in der Regel zweierlei beobachten (Abb. 2). Erstens kommt es (nach vorhergehendem kurzdauernden Anstieg) zu einem allmählichen *Abfall* der Saitenlage — in dem abgebildeten Falle auf etwa $\frac{1}{3}$ ihrer früheren Höhe. Diese Saitenschwankung entspricht ihrer Richtung nach einer Abschwächung des Ruhestromes. Zweitens sehen wir in derselben Abbildung mit Beginn der Dehnung das Auftreten von lebhafteren diphasischen Aktionsstromschwankungen — von einer Frequenz um 100 herum —, die mit Beendigung der Dehnung *während des jetzt folgenden Zustandes unveränderter Spannungserhaltung fortschreitend mit der Dauer dieses Zustandes deutlich an Intensität abnehmen* (s. Abb. 2, Kurve *d*, *e* u. *f*). Meistens tritt sogar fast vollkommene Saitenruhe ein (s. Abb. 2, Kurve *f* und Abb. 3¹ Kurve *d*).

Wenn wir nun durch Ablassen des Druckes den Sphincter ani wieder entspannen (Abb. 4), so kommt es wiederum — allerdings mit einer Latenz von $2\frac{1}{2}$ —3 Sekunden — zu einer Niveauverschiebung der Saite (Abb. 4, Kurve *c*) —, diesmal zu einem *Saitenanstieg* auf ungefähr das Sechsfache ihrer früheren Höhe, der einer Verstärkung des Ruhestromes entspricht. Gleichzeitig oder bereits etwas vorher treten wieder lebhaftere Aktionsströme wie oben auf. Auch hier können wir feststellen, daß nach Beendigung der Entspannung, während des jetzt folgenden Zustandes unveränderter Spannungserhaltung die Intensität der Aktionsströme fortschreitend abnimmt (Abb. 4, Kurve *d* und *e*). Die Aktionsströme

¹ Die Größe und Frequenz der diphasischen Aktionsströme ist in dem in dieser Abbildung wiedergegebenen Versuche viel geringer als oben, da auch die Empfindlichkeit der Ableitung in diesem Versuche niedriger war (0,3 cm Ausschlag bei 3 MV). Auch die Nullagenverschiebung der Saite ist hier nur bei genauerer Messung feststellbar.

hören auf oder werden sehr gering, *obwohl der Muskel jetzt nahezu ad maximum verkürzt ist* und dabei wahrscheinlich Spannung besitzt, die aber bei entleertem Colpeurynter nicht mehr zur Registrierung gelangt.

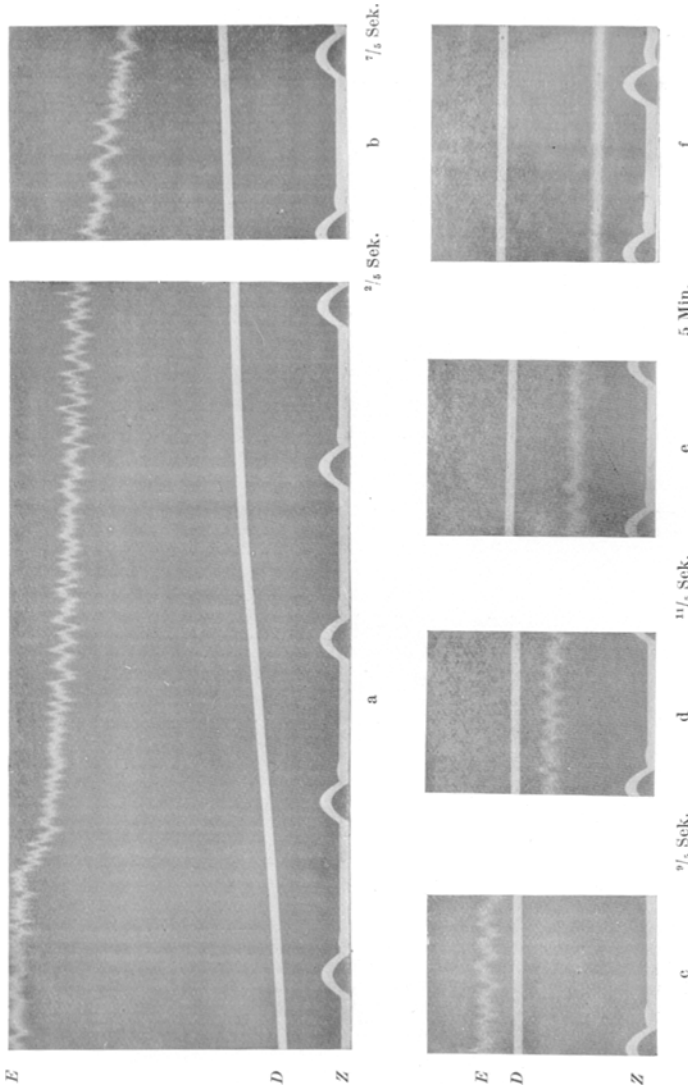


Abb. 2a—f. Der Sphincter wird unter Steigerung seiner Spannung von 0 cm auf 7 cm Hg gedehnt. Die Zahlen zwischen den Kurven geben die dazwischenliegenden Zeiten an. Kurve d, e, f ist 1/5 Sekunden, 11/5 Sekunden bzw. 5 Minuten nach Beendigung der Dehnung aufgenommen. E = Elektrogramm; D = Druckschreibung; Z = Zeit in 1/5 Sekunde.
 Seite Pt. III. 3800 Ω. Empfindlichkeit 0,5 cm = 3 MV.

Ich hatte auch verschiedentlich Gelegenheit, eine spontane Defäcation elektrographisch zu beobachten (Abb. 5). Im Mechanogramm äußert sich die Defäcation in mehr oder weniger rhythmischen Schwan-

kungen des Spannungs- und Weitenschreibers, die leider auf dieser besten Kurve der *Spontandefäkation* nicht mitverzeichnet sind. Diese Bewegungen sind mit dem Auftreten großer wellenförmig aufeinanderfolgender Schwankungen von der Frequenz von 2 in 3 Sekunden verbunden, auf die wieder lebhaftere, kurze Aktionsstromschwankungen

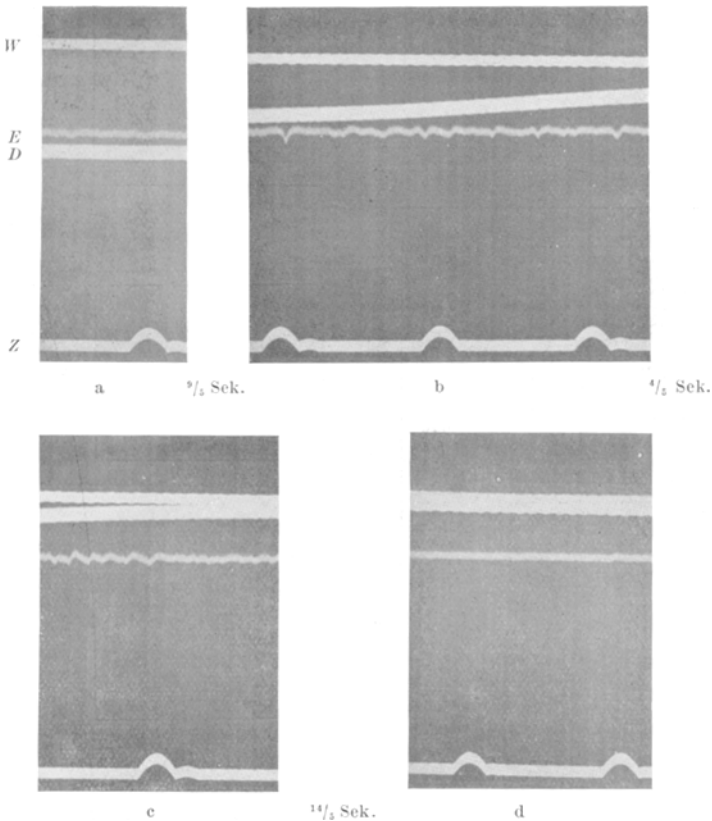


Abb. 3. Die Spannung des Sphincters wird von 6,5 cm auf 12,5 cm Hg erhöht. Die Zahlen zwischen den Kurven geben die dazwischenliegenden Zeiten an. Kurve d ist 2 Sekunden nach Beendigung der Dehnung aufgenommen. *W* = Weitenschreibung (geht nach unten); sie ist durch die Erschütterungen des Motors wellenförmig deformiert; *E* = Elektrogramm; *D* = Druckschreibung (geht nach oben); Saite Pt. III. 3800 Ω . Empfindlichkeit 0,3 cm = 3 MV.

superponiert sind. In einem anderen Versuche beobachtete ich sogar eine Frequenz der großen Saitenschwankungen von 3 in 1 Sekunde¹.

¹ Diese großen Saitenschwankungen erinnern sehr an das Aktionsstrombild glatter Muskeln, wie es z. B. von *v. Brücke* [Pflügers Arch. **133**, 313 (1910)] gewonnen wurde.

Wenn auch durch die in diesem Versuche beträchtliche Polarisation (s. 3 M.V. Eichung Abb. 5) die beobachteten großen Saitenschwankungen nicht als ein getreues Abbild der wirklichen Potentialverschiebungen

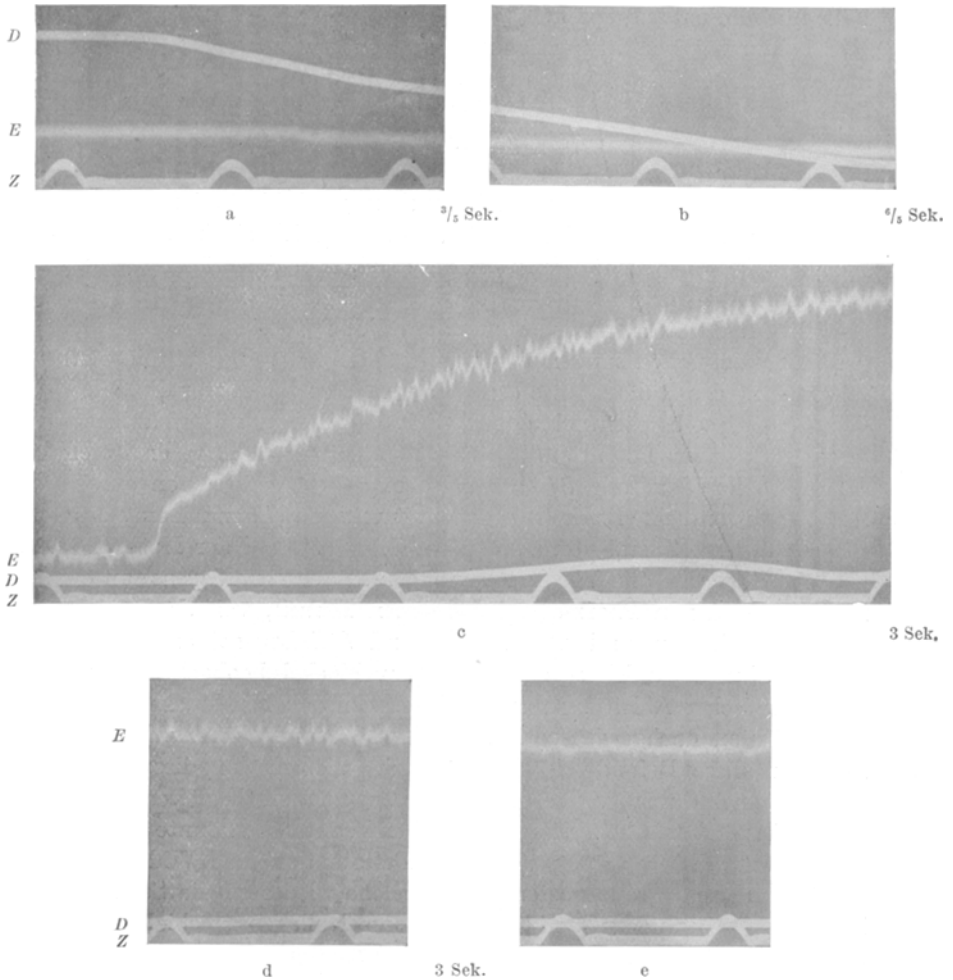


Abb. 4. Völlige Entspannung des vorher 5 Minuten lang unter dem Druck von 7 cm Hg gedehnten Sphincters (Fortsetzung des Versuchs der Abb. 2). Die Zahlen zwischen den Kurven geben die dazwischenliegenden Zeiten an. *E* = Elektrogramm; *D* = Druckschreibung; *Z* = Zeit in $\frac{1}{5}$ Sekunde. Seite Pt. III. 3800 Ω . Empfindlichkeit 0,5 cm = 3 MV.

im Muskel erscheinen, so bleibt doch die Tatsache bestehen, daß neben den Aktionsströmen der gewöhnlichen Frequenz noch große länger dauernde Saitenschwankungen festzustellen sind.

Durch Kitzelreize am Anus konnte ich künstlich einzelne oder eine ganze Gruppe solcher defäcationsartiger Bewegungen erzeugen (siehe Abb. 6), die hinsichtlich der frequenten Aktionsströme ein ähnliches Verhalten darboten. Die langsame Saitenschwankung ist in diesem Falle nur minimal ausgeprägt.

Die durch diese Defäcationsbewegungen erzeugten Druckschwankungen konnten 4,0—5,3 cm Hg betragen, die Weitenabnahme des Sphincters konnte sich bis auf 2,1 cm belaufen. Gewöhnlich folgte auf den Druckanstieg ein vorübergehender leichter Druckabfall unter das frühere Niveau.

Was nun die in den ersten Versuchen geschilderte langdauernde Nullagenänderung der Saite betrifft, so konnte ich sie in vielen Versuchen, allerdings nicht immer in dieser starken Ausprägung wiederfinden. Dabei war jedesmal — ich möchte sagen gesetzmäßig — festzustellen, daß mit der Entspannung des Sphincter ani eine Verstärkung des Ruhestromes verbunden war, während die Dehnung von einer Abschwächung des Ruhestromes begleitet war. Manchmal war die Saitenverschiebung so beträchtlich, daß die Saite aus dem Gesichtsfeld herauschlug, was einer Potentialdifferenz von mehr als 20 M.V. entspricht.

Solche langdauernde Saitenschwankungen sind auch von anderen Autoren an anderen Muskeln beobachtet und als „Tonusstrom“ angesehen worden. Zuerst von *Ewald*¹ am Schließmuskel der Muschel beschrieben, wurden ähnliche Erscheinungen später von *Noyons*² an dem mit verschiedenen Pharmacis behandelten Herzen, von *de Boer*³ am veratrinvergifteten und von *Riesser* und *Steinhausen*⁴ an dem mit Acetylcholin behandelten quergestreiften Muskel beobachtet. Auch bei diphasischer Ableitung vom intakten menschlichen Muskel wurden solche Ströme nachgewiesen (*F. H. Levy*⁵, *Foix* und *Thévenard*⁶). Doch ist gegen diese Befunde der Einwand zu erheben, daß diese Saitenverschiebung durch verschiedene die Contraction begleitende, teilweise rein mechanische Faktoren entstehen könnte. So könnte eventuell die mit der Contraction verbundene Deformation eine Widerstandsveränderung im Stromkreis erzeugen, welche wiederum die Stärke des Bestandstroms ändern und dadurch eine Nullagenverschiebung der Saite herbeiführen könnte. Auch die durch eine Verschiebung der Elektroden bewirkte Veränderung der ionalen Zusammensetzung an ihrer Oberfläche könnte Widerstandsveränderungen erzeugen. Be-

¹ *M. F. Ewald*, Arch. f. Physiol. **122** (1910).

² *Noyons*, Arch. f. Physiol. **1912**.

³ *de Boer*, Z. Biol. **65**, 239 (1915).

⁴ *Riesser* u. *Steinhausen*, Pflügers Arch. **197**, 288 (1922).

⁵ *F. H. Levy*, Die Lehre vom Tonus und der Bewegung. Berlin: Julius Springer 1923.

⁶ *Foix* u. *Thévenard*, J. Physiol. et Path. gén. **23**, 332 (1925).

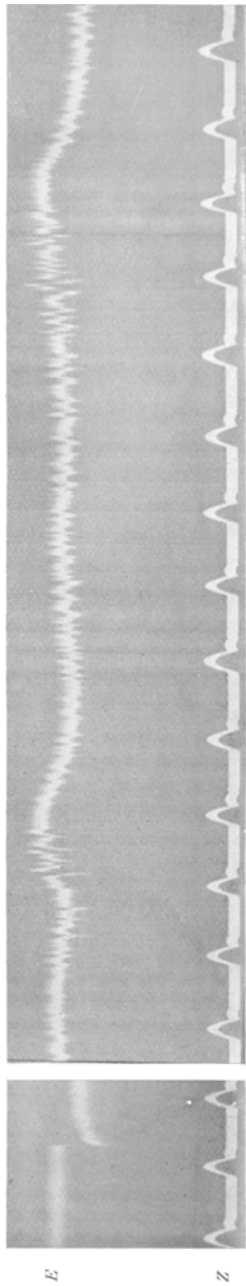


Abb. 5 a und b. a = 3 MV. Erziehung; b = Spontandefäkation. Saite Pt. III. 3800 Ω . Zeit in $\frac{1}{4}$ Sekunde.

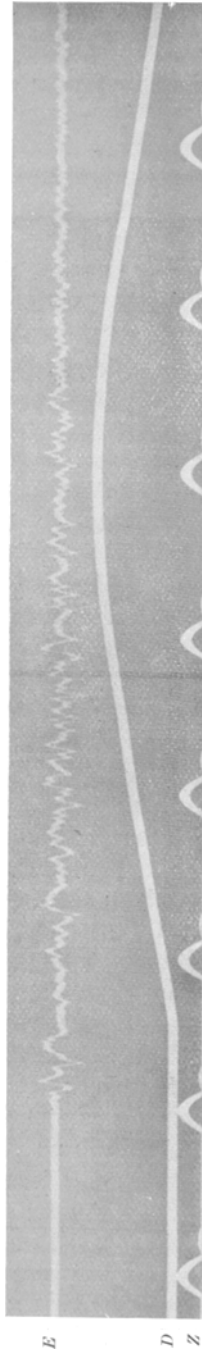


Abb. 6. Künstliche defäkationsartige Bewegung nach Kitzelreiz am Anus. Saite Pt. III. 3800 Ω . Empfindlichkeit 0,7 cm = 3 MV. Z = Zeit $\frac{1}{6}$ Sekunde.

sondere Schwierigkeiten stellen sich der Auffassung dieser Nullagenverschiebung als Tonusstrom bei der diphasischen Ableitung entgegen, bei der man die Annahme machen müßte, daß an zwei homologen Stellen eines Muskels eine konstante Potentialdifferenz aufrechterhalten werden würde. Wegen der Unsicherheit auf diesem Gebiete möchte ich daher die Frage nach der Bedeutung der in meinen Versuchen beobachteten langdauernden Saitenschwankungen offenlassen.

Dagegen erscheinen mir einige andere der oben geschilderten Beobachtungen am Sphincter ani geeignet, die Eigenschaften dieses Muskels zu erhellen. Wir müssen hierbei beachten, daß der Sphincter in unseren Versuchen dauernd unter dem Einfluß der Zentralorgane steht und im natürlichen Zustand seine nahezu geringste Länge besitzt. Bei unseren Dehnungsversuchen wird die Länge des Muskels *vergrößert*. Nun sucht der gedehnte Sphincter bei Nachlassen der dehnenden Kraft unter Auftreten lebhafter Aktionsströme seine Ausgangslänge zu erreichen, und zwar tut er dies in der Regel nach einer gewissen Latenz (s. Abb. 4). Diese Tatsache erscheint mir als Beweis für die weitgehende *Plastizität* dieses Muskels. Der gedehnte Muskel hat sich an seine neue Länge so adaptiert, daß er bei Nachlassen der dehnenden Kraft nicht wie ein elastisches Band zu seiner Anfangslänge zusammenschnurrt, sondern sich erst nach einer gewissen Latenzperiode und *aktiv* auf die frühere, für ihn jetzt neue Länge einzustellen sucht; mit anderen Worten bedeutet dieses *das Fehlen eines festen Zusammenhanges zwischen Spannung und Länge des zentralinnervierten Schließmuskels*.

Einen weiteren Beweis dieser Annahme sehe ich in folgender Beobachtung: Bei einem der Hunde beobachtete ich nach forcierter Dehnung mittels eines Speculums ein weites Klaffen des Sphincter ani (Umfang 17 cm), das einige Zeit anhielt. Die Palpation ergab keinen Anhalt für einen Muskelriß; dem Einwand, daß es sich um feinere multiple Zerreißen in dem die Muskelfasern umspinnenden Bindegewebe handeln könnte, steht entgegen, daß bei weiteren Dehnungsversuchen der eingeführte Finger eine kräftige Gegencontraction verspürte, und daß am nächsten Morgen der Sphincter ani wieder seine normale Länge eingenommen hatte, eine Zeit, die wohl für reparative Vorgänge nach Zerreißen als zu kurz erscheint.

Ich konnte ferner feststellen, daß der Grad der Adaptation von der Dauer des Gedehntbleibens abhängt. So sah ich z. B. in 2 Versuchen von je 9 Minuten Dauer, daß der um 5,5 cm bzw. 2,7 cm gedehnte Sphincter nach völliger Entspannung sich im ersten Falle überhaupt nicht, im zweiten Falle bloß um 0,3 cm zusammenzog. Dagegen verkürzte sich in einem 3. Versuche von 4 Minuten (also weniger als die Hälfte) Dauer der bis zur Länge von 19,3 cm gedehnte Sphincter ani nach Entspannung wieder um 15,1 cm. Interessant ist dabei, daß in den beiden erst-

genannten Versuchen die während der Verkürzung auftretenden Aktionsströme, die ja auf die aktive Neueinstellung des Sphincters hinweisen, gegenüber denen im dritten Versuch viel geringer sind. Diese Hysterese des Sphincters wird gut durch den Vergleich einer Spannungs- und Entspannungskurve veranschaulicht (Abb. 7). Wir stellen bei dem Vergleich dieser beiden Kurven fest, daß sie sich in ihrem Verlauf ähnlich sind. Doch verläuft die Entspannungskurve im ganzen viel flacher, um während der verhältnismäßig kurzen Beobachtungszeit viel höher als der Ausgangspunkt der Spannungskurve zu enden. Nach längerer Dauer des Versuches würde der Muskel voraussichtlich seine alte Länge wieder erreicht haben.

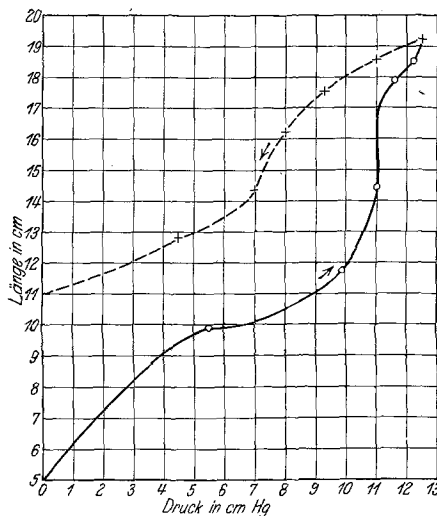


Abb. 7. Längen-Spannungsdiagramm des Sphincter ani bei Spannung (ausgezogene Kurve) und Entspannung (gestrichelte Kurve).

Die Tatsache, daß der stark gedehnte Sphincter ani auf seiner neuen Länge längere Zeit verharrt, ist schon seit langem bekannt und findet in der Chirurgie bei der Therapie der Fissura ani ihre Anwendung. Bei der chirurgischen Sphincterdehnung soll es sich nach *Rotter*¹ nicht um Zerreißen des Muskels oder des Bindegewebes handeln; er stützt sich bei dieser Angabe auf Befunde von *Quénu* u. *Hartmann*², die bei ähnlichen Dehnungsversuchen an Hunden mikroskopisch keine pathologischen Veränderungen im obenerwähnten Sinne nachweisen konnten.

Wir stellten in den vorhergehenden Beobachtungen die weitgehende Abhängigkeit der Adaptation von der Dauer eines Zustandes fest.

¹ *Rotter*, Handbuch der praktischen Chirurgie, herausgeg. von v. Bergmann und von v. Bruns 3, 771 (1907).

² *Quénu* u. *Hartmann*, La chirurgie du rectum. Paris 1897.

Diese Erscheinung findet eine weitere Bestätigung in einer anderen Beobachtung. Wir sahen oben, daß nach der Spannung oder Entspannung des Muskels während des darauffolgenden Zustandes der isometrischen Haltungsvertraktion bei unveränderter Spannungsgröße eine mit der Dauer dieses Zustandes fortschreitende Abnahme der Aktionsströme zur Beobachtung gelangte. Dies kann man sich nur so erklären, daß *an die Stelle der tetanischen Muskel-tätigkeit*, die für die Herbeiführung eines neuen Zustandes verantwortlich ist, nach Erreichung dieses Zustandes *eine echte Sperrung* tritt.

Zum Schlusse möchte ich Herrn Professor Dr. *Bethe* für die Anregung zu dieser Arbeit, sowie Herrn Priv.-Doz. Dr. *Fischer* für die freundliche Unterstützung bei Anstellung der Versuche meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Zusammenfassung.

1. Bei Dehnung und Entspannung des Sphincter ani treten lebhaft diphasische Aktionsströme auf.
 2. Diese überdauern den Vorgang der Spannungsänderung.
 3. Während des an die Dehnung oder Entspannung sich anschließenden Zustandes der unveränderten Spannungserhaltung nehmen die Aktionsstromschwankungen fortschreitend mit der Dauer dieses Zustandes an Amplitude und Frequenz ab und können fast vollständig verschwinden.
 4. Bei der Entspannung sucht der Sphincter ani erst nach einer gewissen Latenz seine Ausgangslänge wiederzugewinnen.
 5. Der Vergleich der Spannungs- und Entspannungskurve des Sphincters zeigt ein weitgehendes Zurückbleiben des entspannten Sphincters gegenüber seiner Ausgangslänge.
 6. Aus den beiden letztgenannten Feststellungen geht die weitgehende *Plastizität* des Sphincter ani hervor.
 7. Das Geringerwerden bzw. völlige Verschwinden der diphasischen Aktionsströme während des Zustandes des Gedehnt- oder Entspanntbleibens spricht für das Inkrafttreten einer *echten tonischen Sperrung* in diesem Muskel.
-