Deutsche Medizinische Wochenschrift

Begründet von Dr. Paul Börner

HERAUSGEBER:

VERLAG:

Geh. San.-Rat Prof. Dr. Schwalbe

GEORG THIEME / LEIPZIG

Berlin-Charlottenburg, Schlüterstraße 53

Antonstraße 15

Nummer 26

Freitag, den 30. Juni 1922

48. Jahrgang

Aus dem Pharmakologischen Institut der Universität
in Marburg a. L.

Die beiden Arten der Muskelnarkose¹⁾.

Von Prof. Dr. Ernst Frey.

M. H.! Unter Narkose versteht man eine Minderung der Reaktionsfähigkeit unter dem Einfluß von Giften. Worauf eine solche geringere Tätigkeit auf einen Reiz hin beruht, was für Änderungen der lebendigen Substanz in physikalisch-chemischer Beziehung dabei eintreten, ist mit Sicherheit nicht zu sagen. Und wir wollen unabhängig von jeder Theorie der Narkose nur die Veränderungen betrachten, welche man in der Narkose des Froschmuskels beobachtet, und versuchen, die Frage zu beantworten, welche Lebensvorgänge von einer solchen Beeinflussung hauptsächlich betroffen werden. Ich wähle gerade kontraktiles Gewebe zum Studium der Narkose, weil daran die Haupteigenschaften des Zellebens, die Reizbarkeit, die Tätigkeit selbst und die Stoffwechselvorgänge, zu verfolgen sind. Wir werden dabei nicht nur die Lähmung in der vollen Narkose betrachten, sondern auch die Erscheinungen während des Eintrittes dieses Zustandes, der, wie Sie wissen, häufig mit einer Steigerung der Tätigkeit einhergeht, mit einer Erhöhung der Leistung, die man beim Gesamtorganismus auf den Wegfall von Hemmungen bezogen hat, die aber auch in der Erhöhung der Erregbarkeit des isolierten Nerven ihre Bestätigung findet (Voelkel²⁾). Denn es ist immer von Vorteil, sich zur Entscheidung solcher grundsätzlicher Fragen, ob es z. B. ein echtes Erregungsstadium im Beginn der Narkose gibt, möglichst einheitlicher Gewebe beim Studium zu bedienen.

1. Der Kontraktionsvorgang.

Wie Sie wissen, ist schon lange bekannt, daß der Muskel die Kraft für seine Leistung aus Verbrennungsvorgängen schöpft, für die hauptsächlich der Zucker in Frage kommt, und daß nebenbei Wärme entsteht. Wenn auch die alte Vorstellung, daß der Muskel bei seiner Tätigkeit einer Wärmemaschine gliche, sich nicht halten ließ, mit anderen Worten, daß die Umsetzung der chemischen Energie in mechanische Leistung nicht über die Wärme ging, so war doch der Zusammenhang zwischen Muskeltätigkeit einerseits, Sauerstoffverbrauch, Zuckerverbrennung, Kohlensäurebildung und Wärmeproduktion andererseits so auffällig, daß zunächst die Anschauung aufkommen mußte, daß der Muskel die bei der Verbrennung des Zuckers freiwerdende chemische Energie direkt in mechanische Leistung umsetzte. Aber man sah bald, daß der Zusammenhang so eng nicht sein konnte. Einmal konnte der Muskel auch ohne Sauerstoff, zunächst wenigstens, noch Arbeit leisten, wenn auch nur für kurze Zeit, und man sprach von einer Sauerstoffreserve. Sodann aber stellte sich heraus, daß die Wärmebildung der Muskelzusammenziehung nachhinkte (Hill³⁾), also beim eigentlichen Kontraktionsprozeß nur zum Teil entstand. Und so wurde allmählich die Anschauung herrschend, daß die Kontraktion auf einem Zersetzungsprozeß eines besonderen Betriebsstoffes beruhe, der während der Erholung durch die Zuckerverbrennung hergestellt wird. Ein solches Bereitstellen einer der Muskeltätigkeit besonders angepaßten zersetzbaren Betriebssubstanz bietet vielerlei Vorteile. Denken Sie an einen Krieger mit einem Wurfspieß: er muß im Augenblicke der Gefahr seine Waffe durch seine Muskelkraft schleudern; besser darauf ist der Schütze mit einer Armbrust: er kann die Waffe auf Vorrat spannen, kann sich Zeit dazu nehmen, ja sich von einem anderen helfen lassen und so die Kraft vervielfältigen. Oder, um ein modernes Beispiel zu gebrauchen: Die Spannkraft für das Geschloß wird in der Heimat hergestellt, in besonders geeigneter Form, um im Augenblick große Kraftmengen zur Verfügung zu haben, freilich mit den Kräften, die uns die Natur bietet, etwa in letzter Linie durch die Kohlenverbrennung; aber der Unterschied ist doch gewaltig, wenn wir etwa diese Art der Kraftentfaltung vergleichen mit dem Versuch, ein Geschloß durch einen Zylinder mit Hilfe einer Dampfmaschine zu schleudern, die während des Gefechtes bedient würde. Auch chemische Befunde sprechen dafür, daß der Muskel eine besondere Substanz in Bereitschaft hält, aus welcher durch den

Reiz explosionsartig Milchsäure entsteht, die den Muskel, etwa durch Quellung oder Beeinflussung von Oberflächenspannungen, zur Kontraktion bringt. Während der Erholung wird dann die Milchsäure wieder zu ihrer zersetzbaren Vorstufe aufgebaut, und die Energie hierzu wird aus der Verbrennung des Zuckers geschöpft. Sie sehen, daß zwar Sauerstoff- und Zuckerverbrauch wie auch Kohlensäure- und Wärmeproduktion für die Muskeltätigkeit notwendig sind, aber nicht für den eigentlichen Kontraktionsprozeß, sondern nur für die Bereitstellung neuer Milchsäurevorstufe. Und es zerfällt also die Muskeltätigkeit in zwei Teile, die Bereitstellung des Betriebsstoffes unter Energieverbrauch und die Entladung durch die Zersetzung desselben ohne Energiezufuhr von außen.

2. Die beiden Arten der Muskelnarkose.

Es fragt sich nun, an welchem Vorgange die Narkotika ansetzen, wenn sie die Tätigkeit des Muskels beeinträchtigen. Diese Frage hat schon Weizsäcker¹⁾ aufgeworfen im Anschluß an seine Zweimaschinen-theorie, welche besagt, daß der Muskel sich so verhält wie eine Dampfmaschine und ein von ihr geladener Akkumulator, der dann seinerseits Kraft hergeben kann. Dieser Autor verfolgte die Wirkung der Narkotika einmal auf die Muskelleistung und sodann auf die Oxydationen, welche das Betriebsmaterial herstellen müssen; dabei stellte sich heraus, daß die eigentlichen Narkotika mehr die Entladung hemmen, Blausäure dagegen mehr die Oxydationen.

Ich habe nun Untersuchungen darüber angestellt, ob man am Muskel selbst, an seiner Tätigkeit, beide Arten von Narkose unterscheiden kann. Dies ist in der Tat der Fall. Wenn man die Muskelkontraktionen unter dem Einfluß von Giften aufschreibt, so sieht man unter Umständen zwei ganz verschiedene Formen. Einmal wird während des Eintrittes der Narkose die Zuckung immer kleiner und ändert lediglich ihre Höhe, so, als hätte man bei einer Zeichnung nur den Höhenmaßstab verkleinert. Aber die Muskelkurven beginnen an derselben Stelle und endigen an genau dem Endpunkt der ersten alle, auch die niedrigsten. Die andere Art der Narkose ändert anfangs nicht so sehr die Zuckungshöhe als vielmehr die Zuckungsdauer: die Muskelkurven werden immer länger. Dabei kann die Zuckungshöhe zunächst sehr wenig sinken, ja sie kann sogar steigen, ehe die Kontraktionen allmählich kleiner werden. Und wir hätten dann in jener anfänglichen Zunahme der Zuckungshöhe das Stadium der nach außen hin gesteigerten Tätigkeit. Was aber am meisten auffällt, ist die Tatsache, daß man jene beiden Arten der Narkose bei ein und demselben Stoff beobachten kann. Es läßt sich also eine Unterscheidung der beiden Formen der Narkose nicht nach der Art des angewandten Körpers treffen, sondern es gelingt häufig, durch verschiedene Konzentrationen desselben Stoffes einmal das rasche Kleinerwerden der Zuckung, das andere Mal die Verlängerung der Zuckungsdauer zu erzeugen. Die Verlängerung der Zuckung selbst ist schon lange bekannt und, nachdem sie Helmholtz²⁾ fand, sehr oft bei der Ermüdung, bei der Kohlensäurewirkung und nach anderen Giften beobachtet worden. Aber es gelingt sehr leicht, auch durch die anderen Narkotika eine solche Dehnung des Zuckungsverlaufes herbeizuführen. Denn es scheinen mehr oder weniger deutlich beide verschiedene Wirkungsweisen allen den muskellähmenden Substanzen zuzukommen, und zwar im allgemeinen je nach der Konzentration, in der man sie anwendet: Hohe Konzentrationen führen zu der erstgenannten Art der Narkose, zu einem schnellen Kleinerwerden genau gleich langer Zuckungen, geringere Konzentrationen dagegen rufen jene langgestreckte Form des Zuckungsverlaufes hervor, häufig unter anfänglicher Vergrößerung der Zuckungshöhe (Fig. 1). Gleichzeitig sieht man in letzterem Falle bei häufigerer Reizung eine Neigung zur Kontraktur, die besonders deutlich bei der Blausäure und dem Amylalkohol hervortritt, aber auch dem Äthylalkohol nicht fehlt; wendet man hierbei Reizfolgen an, die am Kontrollmuskel zu einem unvollständigen Tetanus führen, dann tritt am vergifteten Muskel ein vollständiges Verschmelzen zum Tetanus ein, der höher ist als der des Kontrollmuskels.

¹⁾ M. m. W. 1915 Nr. 7 u. 8. Sitzungsbericht der Heidelberger Akademie der Wissenschaften, mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse, Abteilung B. Biologische Wissenschaften Jahrg. 1917 2. Abhandlung. — ²⁾ Denkschrift d. Kaiserl. Akademie d. Wissensch. in Wien 1887, 53, S. 243 u. 244.

¹⁾ Vortrag, gehalten im Aerztlichen Verein in Marburg am 17. V. 1922. — ²⁾ Pflüg. Arch. 1921, 191, 200. — ³⁾ Erg. d. Physiol. 1919 15. Jahrg.

Wie erklären sich diese beiden Arten der Narkose? Es erscheint zunächst bei der Einwirkung hoher Konzentrationen, die schnell die Zuckungen erniedrigen, so, als würden in rascher Folge die Schichten von außen nach innen außer Funktion gesetzt, und nur die inneren, noch nicht gelähmten nehmen die tote Last um sie herum noch mit. Mit anderen Worten: hier handelt es sich um eine Lähmung der Muskelfaser, die nun auf einen Reiz hin nicht mehr anspricht. Die Umsetzung des Reizes in die Erregung ist aufgehoben¹⁾. Bei der zweiten Art der Einwirkung dagegen wird der Erschlaffungsprozeß verzögert, d. h. das Fortschaffen der Milchsäure hinausgeschoben. Denn wir müssen annehmen, daß die Erschlaffung dadurch zustandekommt, daß die Milchsäure durch Neutralisation und Rückverwandlung in die zersetzbare Vorstufe beseitigt wird, wie die schönen Untersuchungen Meyerhofs²⁾ lehren; Prozesse, die wir als Erholung bezeichnen müssen und deren Resultat das Bereitstellen neuen Betriebsstoffes ist. Und es lassen sich alle Beobachtungen an Muskel und an Herz ableiten, wenn man annimmt, daß während der Erschlaffung, ja schon während des

wenn letztere bestehen bliebe, entspricht, sondern die Zuckung fällt niedriger aus, weil während der Entwicklung der Verkürzung die Verkürzungssubstanz schon wieder verbraucht wird, und erst tetanische Reize, wie sie im Leben ja ausnahmslos auch bei kurzen Zusammenziehungen dem Muskel zufließen, entfalten die volle Kraft, die der anfänglichen Milchsäuremenge entsprechen würde; denn sie zersetzen die inzwischen gebildete Milchsäure immer wieder auf neue und halten so die Milchsäuremenge auf der Höhe (s. Fig. 2). Wenn nun die Erholungsprozesse gehemmt sind, so ist damit auch der Verbrauch der Milchsäure hinausgeschoben, und es kann jener sekundäre Quellungsprozeß nun einer Milchsäuremenge nachstreben, die nicht so schnell von ihrer Höhe herabsinkt, sodaß der Verkürzungsvorgang die einmal entwickelte Milchsäure besser ausnützen kann. Sie sehen, daß hier eine Hemmung eines Stoffwechselvorganges einen größeren Effekt erzielt, daß also auch hier diese sogenannte echte Erregung eigentlich die Beeinträchtigung eines Lebensvorganges darstellt, gerade so wie die Leistungssteigerung des Herzens durch Digitalis oder die des Muskels durch Chinin.

Fig. 1.

Die beiden Formen der Muskelkurven während des Eintrittes der Narkose. Oben: Hemmung der animalen Funktion, unten: Hemmung der vegetativen Funktion.

Fig. 2.

Die Stoffwechselvorgänge bei der Muskelzusammenziehung.

Fig. 3.

Carchesium polypinum, ein Kolonie bildendes Glockentierchen, in halb gedehntem, halb zusammengefallenen Zustande erst narkotisiert (4% Blausäure), dann fixiert und gefärbt (Methylenblau-Eosin). Glocken dunkelblau, Faden dunkelrot, Schlauch hellrot.

Stadiums der Zusammenziehung, die Milchsäure wieder verbraucht wird³⁾. Daher bedeutet Hemmung der Erholungsprozesse Verlängerung der Zuckung und Neigung zur Kontraktur, eben wegen des längeren Bestehens der Kontraktionssubstanz, der Milchsäure. Wenn dann im weiteren Verlaufe der Vergiftung die Bildung der Milchsäurevorstufe immer mehr leidet, so findet ein Reiz immer weniger zersetzbare Substanz vor, die Zuckungen werden immer kleiner, bis volle Narkose eintritt. Und so haben wir in dieser zweiten Art der Narkose eine Beeinträchtigung des Stoffwechsels vor uns.

Es gibt also nach der Form der Muskeltätigkeit zwei Arten der Narkose: einmal wird die Umsetzung des Reizes in die Erregung gehemmt, das andere Mal leiden die Stoffwechselvorgänge. Die eine Art der Narkose beeinträchtigt die animalen Funktionen, die andere die vegetativen. Wenn der Revolver bei Druck am Abzug nicht losgeht, so ist er entweder gesichert oder er ist nicht geladen. Und zwar rufen alle muskellähmenden Stoffe beide Arten der Narkose hervor, je nach der Konzentration, in der sie angewandt werden; hohe Konzentrationen beeinträchtigen mehr die animalen Funktionen, geringere hauptsächlich die vegetativen. Aber es lassen sich durch geeignete Dosierung durch Äthylalkohol, Amylalkohol, Chloralhydrat, Amylenhydrat, (Kohlensäure) und Blausäure sowohl reine Bilder der beiden Arten der Narkose, als auch Mischformen hervorrufen.

3. Die anfängliche Leistungssteigerung in der Narkose.

Aus dieser Anschauung heraus erklären sich auch die Erscheinungen der anfänglichen Erhöhung der Zuckung ohne weiteres. Wenn die Erholungsprozesse, d. h. das Fortschaffen der Milchsäure und der Wiederaufbau der Milchsäure zu der zersetzbaren Vorstufe, verzögert sind, so bleibt die Milchsäure länger bestehen. Nun muß man sich den Vorgang der Zusammenziehung so vorstellen, daß explosionsartig durch den Reiz Milchsäure entsteht, durch welche der Muskel in einzelnen Teilen quillt oder durch Oberflächenkräfte seine Form ändert, daß also — und darauf kommt es in diesem Zusammenhange an — sekundäre Prozesse unter dem Einfluß der Milchsäure einsetzen, die die eigentliche Formveränderung des Muskels bedingen und die zu ihrer Entwicklung eine gewisse Zeit beanspruchen. Es streben also sekundäre Vorgänge (etwa Quellungs- vorgänge) nach dem jeweiligen Milchsäureniveau. Der Erholungs- prozeß aber, also auch der Verbrauch der Milchsäure, wird natürlich sofort einsetzen, wenn Milchsäure für diese Reaktionen vorhanden ist, d. h. schon vom Beginn der Zuckung an. Es findet also ein Verbrauch der Milchsäure schon zu einer Zeit statt, wo die Verkürzung des Muskels sich noch entwickelt; daher erreicht auch eine Einzelzuckung niemals die Höhe, die der gesamten Milchsäure,

Eine ähnliche Auffassung — daß die nach außen hin gesteigerte Leistung des Muskels während des Beginnes der Narkose auf einer Verlängerung des Kontraktionsvorganges beruhe — hat schon Fröhlich¹⁾ ausgesprochen, der eingehende Studien über die Erregbarkeitssteigerung anstellte. Er fand im Beginn der Narkose eine Verzögerung der Erregungsleitung, die freilich nicht das Wesen der Erscheinung ausmachen kann, vor allem aber fand er eine Verzögerung der Erschlaffung. In welcher Weise nun eine Verzögerung des Kontraktionsvorganges zu einer Erhöhung der Zuckung führen kann, dafür gibt Fröhlich folgende Erklärung: Bei der gewöhnlichen Zuckung sind schon die zuerst gereizten Stellen über den Gipfel ihrer Zusammenziehung hinaus, während die entfernteren noch nicht ganz die Höhe ihrer Zusammenziehung erreicht haben. Wenn nun die Kontraktionswelle länger wird, so sind zu einer bestimmten Zeit größere Strecken des Muskels gleichzeitig in maximaler Zusammenziehung, und auf diese Weise werde die Gesamtverkürzung des Muskels größer. Ebenso führt Fröhlich die stärkere Kontraktion im Tetanus gegenüber der Einzelzuckung auf die schnelle Folge vieler Verkürzungswellen, die hintereinander über den Muskel hinführen, zurück. Wenn aber die Vergrößerung der Zuckungshöhe am Beginn der Narkose durch derartige Verhältnisse erklärt werden kann, so können sie aus quantitativen Bedenken für den Tetanus nicht zutreffen. Denn beim Tetanus müßten dann die ersten — sagen wir vier — Zusammenziehungen schon die Höhe des Tetanus erreichen und die gleiche Verkürzung darstellen wie vier spätere, die aus der Höhe des Tetanus herausgegriffen werden, was doch nicht der Fall ist; und dann wird im Tetanus der Muskel dicker als bei der Einzelzuckung, was bei gleichartigen Wellen nicht sein dürfte. Um auf die Erhöhung der Zuckung beim Beginn der Narkose zurückzukommen, so erhebt sich die Frage, worauf eine solche Verlängerung der Dauer der Verkürzung jedes einzelnen Muskelabschnittes beruht. Wir müssen wohl heute sagen, daß dies durch ein längeres Bestehenbleiben der Milchsäure hervorgerufen wird, daß die Prozesse der Erholung gelitten haben. Da aber der Vorgang der Verkürzung ein sekundärer Prozeß ist, der durch die Kontraktionssubstanz hervorgerufen wird, die für gewöhnlich schon vom Beginn der Zusammenziehung an verbraucht wird, so kann auch die Zusammenziehung jedes einzelnen Muskelteilchens ein größeres Ausmaß erreichen, weil nun beim längeren Bestehen der Milchsäure der sekundäre Prozeß der Quellung oder der Formveränderung Zeit hat, der sonst schon schwindenden Kontraktionssubstanz nachzukommen. Es könnte sehr wohl auch die Zusammenziehung der Elementarteilchen des Muskels stärker geworden sein, nicht nur durch Summation der normalen Kontraktionsgröße von größeren Abschnitten eine Zuckungserhöhung vorgetäuscht sein. — Ich habe übrigens auf Kurven, welche im Beginn der Narkose eine deutliche Erhöhung des Gipfels und eine Verlängerung der Zuckung aufweisen, am in der Mitte geklemmten und einseitig gereizten Muskel

¹⁾ Siehe auch Bêthé: Die Narkose des Muskels in ihren Beziehungen zur Theorie der Kontraktion, (Hamburger Physiologenkongreß 1920), der die Teilvorgänge näher erörtert. — ²⁾ Pflüg. Arch. 1920, 182, 232; 182, 284; 185, 11; 1921, 188, 114, 191, 128. — ³⁾ Pflüg. Arch. 1920, 184, 156.

¹⁾ Zschr. f. allgem. Physiol. 1905, 5, 317.

ganz genau normale Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Verkürzungswelle gefunden und finde sie auch auf Kurven anderer Autoren. Auch beginnen in solchen ganz am Ende gereizten Sartorien die zuerst gereizten Abschnitte gerade erst zu erschlaffen in dem Moment, wo das andere Ende den Gipfel der Zusammenziehung erreicht, sodaß also eine erhebliche Erschlaffung der ersten Abschnitte noch nicht eingetreten ist, wenn das andere Ende in maximale Kontraktion kommt. Ich habe diese Befunde, um von der Hebelübertragung unabhängig zu sein, durch die Kinematographie des Muskels kontrolliert und mich dabei eines Kunstgriffes von Biedermann¹⁾ bedient, der den Muskel durch Tusche quer bänderte. Man kann dann durch Ausmessen der Entfernungen der Bänder auf einer fallenden photographischen Platte feststellen, daß gleichzeitig der ganze Muskel in beinahe maximaler Kontraktion sich befindet und daß das Schema, wie es Rollett²⁾ von der Zusammenziehung entwirft, durchaus den Tatsachen entspricht. Aber Sie sehen, daß die Annahme einer wirklich stärkeren Zusammenziehung der einzelnen Muskelteilchen, nicht nur die Summation vieler in normalen Ausmaß kontrahierten Muskelabschnitte, nur eine Modifikation der Fröhlichschen Anschauung darstellt und daß der Kern der Betrachtung derselbe geblieben ist, daß nämlich die Verzögerung der Erschlaffung die Ursache der Erhöhung der Zuckung ist.

Wir müssen also annehmen, daß die Vergrößerung der Einzelsuckung im Beginn der Narkose darauf beruht, daß die Milchsäure länger bestehen bleibt und für die Verkürzung besser ausgenutzt wird. In späteren Stadien der Narkose nimmt dann die Zuckungshöhe wieder ab, und zwar weit unter die normale wegen des gestörten Bereitstellens zersetzbarer Milchsäurevorstufe. Es handelt sich also um den gleichen Vorgang, wie bei der Digitalisvergiftung des Herzens: erst Zunahme der Leistung durch Verzögerung der Erholung, dann Sinken der Leistung. Und hier wie dort eine Neigung zur Kontraktur, die am Muskel besonders bei der Blausäure, am Herzen in Gestalt des systolischen Stillstandes nach Digitalis hervortritt.

4. Die beiden Arten der Narkose im Einzeller.

Ich habe nun auch versucht, an einem einfacheren Organismus zu prüfen, ob sich diese beiden Arten der Narkose, die der animalen und die der vegetativen Funktionen, feststellen lassen, und dazu einen Einzeller, die Vortizelle, das Glockentierchen, gewählt. Diese Glocken sitzen an einem Stiel, welcher an Pflanzenteilen, etwa der Wurzel der Wasserlinse, haftet. Der Stiel schnellt zusammen, wenn das Tierchen bei seiner Wimpertätigkeit an einen Fremdkörper anstößt, oder wenn man ans Deckglas klopft. Und zwar stellt der Stiel einen Schlauch dar, in dem ein spiralsch angeordneter Faden, stark lichtbrechend, verläuft. Nach der außerordentlich schnell erfolgenden Zusammenziehung ist der Faden in engen Spiralwindungen aufgerollt und ebenso der Schlauch, eben der ganze Stiel. Während aber in gestrecktem Zustande der Faden, an der Innenwand des geraden Schlauches hinlaufend, den Inhalt des Schlauches gewissermaßen umgreift, verläuft er in zusammengezogenem Zustande an der Innenseite der ganzen Spirale, zu der sich der Schlauch aufgerollt hat; der Schlauch liegt also jetzt in einer weiteren Spirale außen herum um den Faden; es ist also die Zusammenziehung und ebenso die Ausdehnung mit einer Drehung des Stieles und also auch der Glocke, verbunden, die erfolgen muß, weil bei Verkürzung des Fadens die Masse des Schlauches ausweicht, bis sie an der Peripherie der engen Spirale liegt, die der Faden bildet. Es kommt also die Zusammenziehung zweifellos durch eine Verkürzung des Fadens zustande, welcher sich der Schlauch anpassen muß. Bei dieser Sachlage liegt es nun nahe, anzunehmen, daß der Schlauch das dehnende Moment darstellt, und man wird als Kraft eine Spannung des Schlauches, einen Innendruck, vermuten müssen. Dies erinnert an die Erklärung, welche Pfeffer³⁾ für die Verkürzung des Staubfadens von *Cynara scolymus* oder von *Centaurea jacea* gab: Dort wird der Staubfaden verkürzt durch die Elastizität der Zellwände und gestreckt durch den osmotischen Druck im Innern der Zellen, der auf einen Reiz hin sinkt. Und wir brauchen nur für Elastizität der Zellwände Elastizität des Spiralfadens im Stiel der Vortizelle zu setzen, um eine annehmbare Erklärung für den Mechanismus des Zusammenschnellens des Glockenstieles zu haben. Es ist also nach dieser Auffassung der Faden ein elastisches Gebilde, ein elastisch gespannter Strang, der durch Aufpumpen des Schlauches gedehnt wird; und es erfolgt also auch hier die Zusammenziehung ohne Kraftzufuhr. Und auch hier sehen wir beide Arten der Narkose: Einmal Hemmung der Umsetzung des Reizes in Erregung, sodann Hemmung der Ausdehnung, Lähmung der dehnenden Prozesse. Wir können den Reiz vereiteln durch Narkotika — und wir sehen bei allen schädigenden Eingriffen, geradeso wie im Tode, den Faden zusammengerollt. In ersterem Falle bleibt dann das Zusammenschnellen des Stieles aus⁴⁾, der Reiz bleibt unbeantwortet; Schädigung aber der Lebenstätigkeit, ebenfalls durch Narkotika oder durch Zerstörung der Semipermeabilität der Plasmahaut, führt zum Verlust der Ausdehnungsfähigkeit, der elastisch aufgerollte Faden bleibt zusammengezogen, wie der totenstarre Muskel (Fig. 3).

Mögen die Kräfte auch verschieden sein, wir sehen den gleichen Mechanismus: die Kontraktion verläuft ohne äußere Kraftzufuhr durch Annahme einer Ruhelage — die Ausdehnung ist der aktive Stoffwechselprozeß, der Lebensvorgang, beim Tier wie bei der Pflanze.

Zusammenfassung. Es lassen sich also am Muskel zwei Arten der Narkose unterscheiden: die eine verläuft unter Kleinerwerden der Zuckungen, die alle gleich lang sind, die andere weist am Beginn eine Erhöhung der Kontraktion unter gleichzeitiger Verlängerung des Zuckungsverlaufes auf, bis unter weiterer Verzögerung der Ausdehnung die Zusammenziehungen immer kleiner werden. Bei der ersten Art wird die Umsetzung des Reizes in die Erregung aufgehoben = Narkose der animalen Funktion. Bei der zweiten leidet das Fortschaffen der Milchsäure und ihr Wiederaufbau zur zersetzbaren Vorstufe, also ein Stoffwechselprozeß = Narkose der vegetativen Funktion. Durch das längere Bestehenbleiben der Milchsäure, der Kontraktionssubstanz, bei der zweiten Art werden die Zuckungen nicht nur länger, sondern auch höher, weil die sekundären Prozesse der Verkürzung Zeit haben, die sonst schon schwindende Milchsäure besser auszunutzen; später leidet die Bereitstellung neuer Energie immer mehr, und die Zuckungen werden immer kleiner. Daher findet man auch in solchen Fällen eine Neigung zur Kontraktur (Kontraktur nach Blausäure, Verschmelzung zum Tetanus bei wenig frequenten Reizen nach Alkohol, Leistungssteigerung des Herzens nach Digitalis bei gleichzeitiger Verzögerung der Erholung und später systolischer Stillstand). Je nach der angewandten Konzentration tritt nach ein und demselben Stoff bald die eine Art der Narkose, bald die andere auf. — Die beiden verschiedenen Formen der Narkose lassen sich auch am Einzeller, an Vortizellen, zeigen, deren Stiel durch einen elastisch gespannten Faden verkürzt und durch Spannung des umgebenden Schlauches ausgedehnt wird. Es scheint also die Unterscheidung der beiden Arten der Narkose für alle Zellen zu gelten, sichtbar ist sie nur an kontraktilem Gewebe.

¹⁾ Elektrophysiologie 1895 1. Abteilung S. 178. — ²⁾ Pflüg. Arch. 1892, 52, 201. —

³⁾ Zitiert nach Höber; Physikalische Chemie der Zelle und der Gewebe, Leipzig. (Anfang).

— ⁴⁾ Und man kann die Glockentierchen in ausgedehntem Zustande fixieren und färben, siehe Fig. 3, wenn sie vorher narkotisiert, was wohl auch für ähnliche Gebilde eine zweckmäßige Methode darstellt.