

Sitzungsberichte

der

königl. bayerischen Akademie der Wissenschaften

zu München.

Jahrgang 1860.

München.

Druck von J. G. Weiss, Universitätsbuchdrucker.

1860.

—
In Commission bei G. Franz.

482

4) Herr Harless sprach über seine

„*Untersuchungen über die Muskelstarre.*“

Unter „Starre“ versteht man einen Zustand der Muskelsubstanz, in welchem dieselbe, in der rohesten Form der Untersuchung, der Kraft unseres eigenen Muskelzuges einen grösseren Widerstand entgegensetzt, wenn man sie zu dehnen versucht, als diess an der Leiche unmittelbar nach dem Tod für gewöhnlich der Fall ist. Die Veränderung des physikalischen Zustandes in den Muskeln ist dann dahin geändert, dass sie weniger dehnbar sind, und nach der Drehung viel unvollkommener ihre ursprüngliche Länge wieder annehmen, als im frischen Zustand. Dieser eclatante Grad der Starre ist leicht zu erkennen, und in diesem seinem vollkommen entwickelten Mass als der Ausdruck des Todes dem des Lebens entweder gegenübergestellt, oder als versteinertes Bild der letzten Lebensäusserung aufgefasst worden. Wer mit uns keine spezifische Lebenskraft statuirt, der wird auch keinen spezifischen Unterschied zwischen dem starren und nicht starren Muskel finden wollen, welcher vielmehr aus dem Unterschied der physikalischen und chemischen Bedingungen im einen und im anderen Fall resultirt. Da der Muskel gewöhnlich nicht sofort starr wird, wenn eine der entscheidenden Bedingungen für das Leben des Gesamtorganismus wegfällt, sondern in der Regel längere Zeit verstreicht, bis das extreme Mass der Starre erreicht wird, so kann es für die Erkenntniss ihrer Ursachen nicht genügen, die zwei extremen Endpunkte formell miteinander zu vergleichen, sondern man ist aufgefordert das Entstehen der Starre und den Uebergang des einen Zustandes in den anderen zu verfolgen, auf jedem Schritt die Umstände zu prüfen, welche die weitere Veränderung herbeigeführt haben, und die Veränderungen nach möglichst vielen Seiten hin auf ihre Ursachen zurückzuführen.

Ehe ich aber zu zeigen versuche, in wie weit ich selbst diesen experimentellen Anforderungen nachgekommen bin, ist es nothwendig mit wenig Worten die Controverse anzudeuten, welche ich bei den Autoren im Beginn meiner Untersuchung vorgefunden habe. Die eine Ansicht ging dahin, das man einen im Saft des frischen Muskels flüssigen Stoff als denjenigen betrachtete, welcher durch die physikalische Natur seines Gerinsels also als Coagulum die Resistenz todtenstarrer Muskeln bedinge. Die zweite Ansicht betrachtet die Veränderung des Muskels nach dem Tod als eine der Muskelirritabilität unmittelbar entspringende Contrac-

tion, und rubricirt sie unter den Begriff der idiomuskulären Zuckung. Ohne für die eine oder andere Behauptung von vornherein etwa eingenommen zu sein, habe ich mir nicht die Frage gestellt worin besteht, sondern wie entsteht die Starre.

Da ich bei dieser Fragestellung auf die Unterschiede möglichst nahe bei einander liegender Stadien angewiesen war, so musste ich mir vor Allem feinere Hilfsmittel für die Vergleichung zweier Muskeln schaffen, zuerst aber prüfen, wie weit zwei gleichnamige Muskeln desselben Thieres unter möglichst genau gleichen Umständen präparirt und untersucht gleiche Eigenschaften zeigen. Da wir es offenbar nicht bloss mit physikalischen, sondern auch mit chemischen Verhältnissen zu thun haben, so war es nöthig auch zu sehen, wie weit die Mengenverhältnisse der einzelnen Bestandtheile bei zwei gleichnamigen Muskeln desselben Thieres harmoniren.

Bei fünf zugleich analysirten gastrocnemii je einer Seite, verglichen mit denen der anderen, ergaben sich z. B. folgende Zahlen:

100 Theile frische Substanz enthielt

auf der einen Seite 13,790,

auf der anderen Seite 13,753 trockne Faser;

in einem anderen Versuch

auf der einen Seite 13,153,

auf der anderen Seite 13,077 trockne Faser;

in einem anderen Vergleich fanden sich auf 100 Theile frische Substanz

86,5621 auf der einen,

86,555 auf der anderen Seite parenchymatöse Flüssigkeit;

bei einem dritten Vergleich fand sich auf 100 Theile frische Substanz

80,794 auf der einen,

80,792 auf der anderen Seite: Wasser.

Man sieht also, dass die Mengenverhältnisse der chemischen Bestandtheile bei zwei gleichnamigen Muskeln desselben Thieres sehr genau miteinander übereinstimmen. Da nun die Länge derselben fast in allen Fällen sehr genau gleich ist, die Menge der trocknen Faser ebenfalls, so muss auch der Querschnitt in beiden sehr übereinstimmen. Die Dehnung durch angehängte Gewichte wird dann ebenfalls gleich ausfallen, wenn die Elasticität der Fasern gleich ist. Da aber offenbar der Muskel aus festen und flüssigen Massen zusammengesetzt ist, da ferner die letzteren der Schauplatz fortwährender chemischer Processe sind, da weiter die Elasticität der Faser von der Natur der Flüssigkeit

abhängt, mit welcher sie in Berührung ist, so sieht man, dass man mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln die Dehnbarkeit in zwei Fällen zu vergleichen nicht mehr ausreichen kann, so fein sie auch zur Bestimmung des einzelnen Falles sein mögen. Hat es dabei schon seine grossen Schwierigkeiten die Störung der Bestimmung durch die elastische Nachwirkung zu vermeiden, wie die jüngsten Untersuchungen von Wundt und Volkmann gezeigt haben, so kommt bei der Vergleichung zweier Muskeln noch der Einfluss der Zeit und die Wirkung des in ihr weiter schreitenden chemischen Processes mit in's Spiel. Beide Fehlerquellen mussten eliminirt werden, und da beide aus dem Einfluss der Zeit entspringen, so konnten sie beide dadurch beseitigt werden, dass man zwei Bestimmungen an ein und demselben Apparat mit zwei Muskeln gleichzeitig machte. Da der sehr complicirte Apparat nicht ohne Abbildung verständlich zu beschreiben sein dürfte, eine Abbildung aber seiner Zeit in den Denkschriften nachgetragen werden soll, so begnüge ich mich hier dem Leser nur aus der Darlegung des Princip's eine allgemeine Vorstellung von seiner Einrichtung zu geben. Man denke sich einen Waagebalken, welcher sich in seinem Hypomochlion in Spitzen dreht, wenn zwei an seinen Enden angreifende Kräfte ungleich wirken. Diese ziehen aber nicht nach unten wie die Waagschalen, sondern nach oben, d. h. der Balken ist an den Körpern, also z. B. den Muskeln, mit seinen beiden Enden aufgehängt, und zwar ist die anfängliche Einstellung so, dass der Balken genau horizontal schwebt. Das Lager des Balkens ist aber nicht fest wie bei einer Waage, sondern zwischen Frictionsrollen auf- und abwärts sehr leicht verschiebbar; ein über eine Rolle laufendes Gegengewicht hält je nach seiner Grösse dem Balken mit seinem Lager und der Rollenführung vollkommener oder unvollkommener das Gleichgewicht. Das Balkenlager setzt bei seinen senkrechten Bewegungen einen Fühlhebel in Bewegung, und das Ende des Balkens bei seiner Drehung ebenfalls; dieser Fühlhebel trägt ausserdem aber noch über seinem Hypomochlion einen kleinen Planspiegel um mit Skala und Fernrohr ablesen zu können, wenn man sich mit dem den Ausschlag sehr vergrössernden Fühlhebel nicht allein begnügen will. Alle Theile sind gegeneinander aufs Feinste balancirt, und der ganze Apparat selbst so, dass er in der Luft ausserhalb der Balkenführung mit seinen Drehungsaxen genau in ein und derselben Vertikalebene schwebt, somit auch innerhalb seiner Führung auf die Frictionsrollen keinen seitlichen Druck ausübt.

Sehen wir von den Theilen ab, welche bloss zur Führung dienen, so denken wir uns einen Waagebalken, welcher mit beiden Enden an zwei gleich langen Muskeln aufgehängt ist, und daran frei in der Luft schwebt. Legen wir ein Gewicht auf den Mittelpunkt des gewichtlos gedachten Balkens, so wird er parallel mit sich selbst herabgehen, also in horizontaler Lage, wenn beide Muskeln durch das Gewicht, jeder also durch die Hälfte desselben, genau gleich stark gedehnt wird. Die Senkung des Balkens gibt das Mass für die Totaldehnung, welche das elastische System durch das aufgelegte Gewicht erfahren hat. Ist aber die Dehnbarkeit beider Muskeln ungleich, so wird sich der Balken schief stellen; der Mittelpunkt des Balkens wird entsprechend der Totaldehnung beider Muskeln vertikal herabrücken, und aus dem Winkel, welchen der Balken mit der durch seinen Mittelpunkt gelegten Horizontalen bildet, ergibt sich die Differenz der Dehnung beider Muskeln, indem die Entfernung des Aufhängepunktes vom Drehpunkt multiplicirt mit dem Sinus des gemessenen Winkels gleich der halben Differenz der Verlängerung beider Muskeln ist. Bei dieser Einrichtung beirrt also kein Muskel den anderen während seiner Dehnung und die Verlängerung jedes Muskels für sich kann einfach gefunden werden, wenn man z. B.

für den Muskel A setzt: $ab + c \sin \alpha$,

für den Muskel B $ab - c \sin \alpha$,

wobei ab die vertikale Abwärtsbewegung des Drehpunktes, c den Abstand des Drehpunktes vom Aufhängepunkt des Muskels, α den der Kathete gegenüberliegenden Winkel bedeuten soll.

Die Ablesung mit Spiegel, Skala und Fernrohr gestattet noch eine Differenz von 0,0007 Millimeter direct zu bestimmen. Die Fühlhebel sind ausserdem mit zeichnenden Spitzen versehen, so dass sich z. B. bei Contractionen statt Dehnungen, oder bei künstlich herbeigeführten Elasticitätsänderungen alle ihre Bewegungen an einer horizontal vorüber zu bewegendenden Glastafel graphisch auftragen.

Die Muskeln befinden sich in Calorimeterräumen, vor Wasserverlust geschützt, senkrecht über ihren Angriffspunkten am Balken, dessen Länge den bei kleinen Differenzen entstehenden Bogen zu vernachlässigen gestattet. Die Muskelhalter lassen sich mit feiner Einstellung im Innenraum der Calorimeter - Gefässe sehr genau in beliebiger Höhe fixiren. Geschieht diess in genau gleicher Höhe und stellt sich dabei der Balken schief, so erkennt man sofort die ursprüngliche Längendifferenz beider Muskeln. Diese wäre wohl fast immer vorhanden, wenn man den Balken

ganz genau balanciren wollte; es geschieht diess darum nur unvollkommen, d. h. beide gastrocnemii sind von Anfang an mit c. 5 Grm. beschwert. Bei dünneren und schwächeren Muskeln würde man natürlich das Uebergewicht des Balkens höchstens 1—2 Grm. gross machen.

Das balancirende Gegengewicht besteht nicht aus einem einzigen Stück, sondern aus einem Gewichtseinsatz von 1 bis 200 Grm. Die Vermehrung der Gewichte, mit welchen die Muskeln belastet werden sollen, geschieht also nicht durch Auflegen, sondern durch Abheben derselben von der Waagschale des Gegengewichtes: dabei ist sehr leicht jeder Stoss zu vermeiden, welcher bei der Methode des Auflegens oft kaum zu vermeiden ist.

Man sieht also jetzt, wie mittelst dieses Apparates zwei Muskeln ganz gleichzeitig und ganz genau auf dieselbe Weise, und unter denselben Umständen belastet, oder auch zur Contraction angeregt werden können. Man sieht ferner, dass die Fehler, welche aus der zeitlichen Entwicklung der elastischen Nachwirkung entspringen, eliminirt sind, indem man für jeden einzelnen Moment der Zeit durch eine Ablesung den dabei herrschenden Grad der Differenz erfährt. Es versteht sich von selbst, dass man mit der Ablesung nicht zu hastig ist, sondern immer den Zeitmoment, in welchem scheinbar wenigstens gar keine Bewegung mehr an den Fühlhebeln wahrgenommen werden kann, abwartet.

Wenn man mittelst dieses Apparates zwei gastrocnemii ein und desselben Thieres untersucht und es zeigt sich, dass ihre Länge genau gleich ist, so findet man fast durchgehends, dass innerhalb beträchtlicher Belastungsgrössen Differenzen von höchstens einigen tausendstel Millimeter zu Tage kommen. Auch dieser Unterschied verschwindet meist vollkommen, nachdem man ein einzigesmal beide Muskeln mit c. 100 Grm. beschwert hatte. Dabei stellt sich nach Wiederauflegen des Gewichtes der Balken nicht wieder von selbst horizontal. Werden dann die Muskelhalter so eingestellt, dass diess wieder der Fall ist, und wird die Dehnung von Neuem vorgenommen, so fehlt, wie gesagt, fast durchgehends jede Differenz der Dehnung auch bei Gewichten von mehr als 120 Grm.

Wir schliessen daraus: Die Muskeln bestehen nicht aus durchweg gleich-elastischen Massen, sondern sie bestehen aus elastischen und mehr zähen oder teigigen, wenigstens nicht ganz leichtflüssigen Massen. Wird der Muskel zum Erstenmal belastet, so wird zunächst durch gewisse Bruchtheile des Gewichtes eine Entfaltung (nicht Dehnung) und eine

bestimmte Lage der verschiedenen Bestandtheile des Muskels hergestellt; und dazu ist je nach den Umständen, in welchen sich die Muskeln unmittelbar vor der Messung befunden hatten, und je nach ihrer Masse ein bestimmtes Gewicht nothwendig. Ist diese Orientirung, wie ich es nennen möchte, geschehen, so zeigen zwei Muskeln in der Regel die gleiche Länge, welche sie, mit auch nur sehr kleinen Gewichten beschwert, zunächst behaupten. Von dem Punkt an wirken bis herauf zu bedeutenden Gewichtswerthen die angehängten Lasten ganz genau gleich auf beide. Ihre Dehnbarkeit ist also jetzt genau gleich geworden. Je stärker man belastet, und je öfter man immer wieder von der horizontalen Balkenstellung aus die Dehnung vornimmt, desto geringer wird die Differenz, aber natürlich auch die Totaldehnung, wenn anfänglich auch grössere Unterschiede geherrscht hatten. Die Differenz betrug z. B. bei einem Paar von *gastrocnemii* unter der Belastung mit 50 Grm. das erstemal 0,7 Millim.; nachdem zweimal die Belastung zwischen 0 und 50 Grm. gewechselt, sank die Differenz für 50 Grm. auf 0,15 herab, und war selbst bei 150 Gram. nur 0,3 Millim. In vielen anderen Fällen war sie aber nach der ersten wiederholten Dehnung schon absolut Null geworden.

Wenn etwas grössere Differenzen vorkommen, so sieht man dieselben sich, vom Moment der Belastung an gerechnet, im Lauf der Zeit vor seinen Augen entwickeln; dabei gewinnt man, wie lässt sich schwer beschreiben, aus dem blossen Blick auf die Hebelbewegung die Ueberzeugung, dass durch das Gewicht zähe Massen gleichsam ausgezogen werden. Die Drehung des Hebels geschieht so verhältnissmässig langsam, wie man es bei einer Dehnung vollkommen elastischer Massen nicht voraussetzen kann, und auch nicht wahrnimmt, wenn man z. B. Kautschuk-Streifen gegeneinander abwägt. Der Gang der elastischen Nachwirkung gibt ein ganz anderes Bild. Jenes gleicht mehr dem, welches entsteht, wenn die Belastung übertrieben wird, und partielle Continuitätstrennungen im Inneren eines Gefüges vor sich gehen.

Wir gewinnen also in Uebereinstimmung mit der chemischen Analyse die Ueberzeugung, dass zwei Muskeln, so weit ihre Dehnbarkeit von den elastischen Massen vorwiegend bestimmt wird, so gut wie gleich gross ist, nachdem die Widerstände der nicht elastischen, zähen Bestandtheile und der daraus entsprungenen Ungleichartigkeiten überwunden sind. Aus der chemischen Analyse schliessen wir weiter, dass diese Ungleichartigkeiten nicht von differenten Mengenverhältnissen dieser

Substanzen, sondern von differenten Lagerungsverhältnissen d. h. Unterschieden in der örtlichen Vertheilung abhängen. Wir entnehmen daraus weiter für den Versuch die Regel, nur diejenigen Differenzen als massgebend zu betrachten, welche sich geltend machen, nachdem durch kleine Belastungen zuerst jene Ungleichartigkeiten abgeglichen, und der Balken aufs Neue horizontal eingestellt worden ist.

Die erste Reihe von Versuchen

mit diesem Apparat hatte zur Absicht Schritt für Schritt die Aenderung in der Dehnbarkeit zweier gastrocnemii je immer desselben Thieres in verschiedenen Zeiten nach der Trennung des Schenkels vom Rumpf zu untersuchen. Dazu war es nothwendig bei dem lebenden Thier nach Unterbindung der Gefässe den einen Schenkel zu amputiren, den anderen bei fortbestehendem Kreislauf am Rumpf zu lassen, und bei verschiedenen Thieren zu verschiedenen Zeiten nach der Operation die gastrocnemii miteinander zu vergleichen. Weitere Modificationen waren die, dass man das Einemal aus dem amputirten Schenkel alles Blut so viel als möglich austreifte, das Anderemal den abgebundenen Schenkel mit dem Blut gefüllt liegen liess. Man konnte auch bei einem geschlachteten Thier den einen Schenkel bluterfüllt lassen, den anderen entleert von Blut bis zur Versuchszeit aufbewahren, was stets im feuchten Raum geschah.

Bei der Vergleichung solcher Muskeln untereinander hängt das Resultat wesentlich von der Zeit ab, und zwar nicht von deren absolutem Werth, sondern von den anderweitigen Umständen, welchen die Muskeln und der ganze Thierkörper unterworfen war, in soferne diess alles zusammen auf den zeitlichen Eintritt der Reizlosigkeit und exquisiten Todtenstarre influirt. Man kann desshalb nicht auf ein paar Versuche hin irgend eine Aussage machen, sondern sie kann sich nur auf sehr zahlreiche Beobachtungen stützen. Darnach gelangt man aber zu folgenden Resultaten. In der relativ kürzesten Frist nach der Amputation zeigt sich der amputirte Muskel dehnbarer als der andere; man bekommt dieses offenbar sehr rasch vorübergehende Stadium noch am leichtesten zur Beobachtung, wenn man in dem amputirten Schenkel das Blut erhält. Sehr bald darauf, aber lange noch bevor Gliedersteifigkeit oder Reizlosigkeit eintritt, erweist sich der amputirte Schenkel resistenter; diese Resistenz nimmt von einem gewissen Punkt an sehr rasch zu. Auf solchen Stadien ist von den beiden gleichzeitig amputirten Muskeln

derjenige immer dehnbarer, in welchem die grössere Menge Blut zurückgehalten worden ist. Dass bereits ganz starr gewordene Muskeln meist wieder weicher werden, ein Stadium, welches man mit der Lösung der Todtenstarre bezeichnet, bedarf keiner weiteren Erwähnung. In den ersten Uebergangsstadien darf man aber keine grossen Differenzen erwarten und wären dieselben wohl schwerlich mit andern Hilfsmitteln als denen unseres Instrumentes sicher nachzuweisen gewesen, zumal sie häufig erst bei etwas grösseren Gewichten zum Vorschein kommen, wobei die elastische Nachwirkung die Einzelbestimmung immer schwieriger macht. Doch habe ich die Differenzen, welche sich bei grossen Belastungen ergaben, nicht als entscheidend betrachtet, sondern nur die, welche höchstens bei 50 Grm. (für einen Muskel gerechnet) schon zum Vorschein kamen.

Darnach zeigt sich also die Reihenfolge in den Aenderungen der elastischen Kräfte vom Moment der Abtrennung des Muskels vom übrigen Organismus so gestaltet, dass der Muskel zuerst dehnbarer, dann resistenter und immer rascher zunehmend resistent wird, bis er allmählich wieder weicher wird.

Die Dehnbarkeit ändert sich also nach dem Tod dreimal, und wechselt dabei die Zeichen vollkommen, wenn der Zustand des ganz frischen Muskels hierauf bezogen als Ausgangspunkt betrachtet wird.

Hält man damit zusammen, was wir über den chemischen Vorgang im Muskelsaft während der Entwicklung der Todtenstarre kennen gelernt haben, so wird es nothwendig die weitere Untersuchung in mehreren Reihen zugleich fortzuführen.

So weit wir nämlich den chemischen Vorgang bei Entwicklung der Todtenstarre bis jetzt haben verfolgen können, so steht fest, dass derselbe mit dem Freiwerden einer Säure und schliesslich mit der Ausscheidung eines Coagulum verbunden ist. Ich habe gezeigt, dass die Säurebildung der Ausscheidung immer vorangeht, und dass auf jeder bestimmten Stufe der Säurebildung je immer eine gewisse Menge Coagulum herausfällt; dass die Säuremenge schon zu ziemlicher Menge angewachsen sein kann, ehe die Ausfällung erfolgt. Man kann diese Coagulation plötzlich durch Temperaturerhöhung herbeiführen, wobei die Menge des Coagulum von der schon vor der Erwärmung vorhandenen und bei der Erwärmung noch weiter hinzukommenden Säure abhängt. Wenn sich im Muskelsaft bei einer gewissen Temperatur die ersten sichtbaren Spuren der Coagulation zeigen, so ist es bei dem

Muskel desselben Thieres genau die gleiche Temperatur, bei welcher in wenigen Sekunden vollkommene Reizlosigkeit eintritt. Es darf demnach als feststehend betrachtet werden: dass wenn nur sehr unbedeutende Quantitäten Coagulum in dem abgetrennten Muskel gebildet sind, auch jede Reizbarkeit unwiederbringlich verloren ist. Nun sehen wir, dass zu jener Zeit, in welcher die Dehnbarkeit des Muskels schon sehr nachweisbar abgenommen hat, die Reizbarkeit nicht bloss nicht vermindert, sondern erhöht ist. Betrachtet man die tabellarische Zusammenstellung von Parallel-Versuchen an 35 Thieren, wie sie unter meiner Leitung von Dr. Ettinger¹ angestellt worden sind, aufmerksam, so sieht man, dass bei dem Vergleich von Muskeln, deren Blut möglichst aus den Gefässen ausgestreift worden, gegenüber denen, in welchen möglichst viel Blut in den Gefässen zurückgehalten worden: die Reizbarkeit der blutleeren in den zwei am Weitesten auseinander liegenden Zeitabschnitten von ihrer dazwischen erlangten Vergrösserung so weit herabsinkt, dass sie kleiner ausfällt als bei den damit verglichenen bluthaltigen. Diese beiden Zeitpunkte liegen aber 1) noch sehr nahe dem Moment der Amputation, nämlich circa 1 bis 7 Stunden darnach, 2) sehr entfernt davon, zwischen der 24. und 48. Stunde darnach, also sehr nahe dem Eintritte der exquisiten Todtenstarre. Untersucht man die andere Tabelle (§. VIII), auf welcher die Unterschiede in der Reizbarkeit von Muskeln untersucht sind, deren einer bis zum Versuch unter den normalen Kreislaufverhältnissen gestanden hatte, während der andere seiner Circulation verlustig und von Blut entleert gleich lange liegen geblieben war, so sieht man für jene die Reizbarkeit erhöht, mit Ausnahme derjenigen, welche innerhalb der ersten 7 Stunden nach der Amputation zur Untersuchung gekommen waren (hievon ist unter 15 Fällen nur eine Ausnahme erkennbar). Die Vorgänge bei dem ersten Beginn der Todtenstarre können also sogar die Reizbarkeit über das durch die normalen Lebensbedingungen bestimmte Mass steigern. Dass nur im Anfang der beginnenden Starre und nicht später in noch höherem Grad das Anwachsen der Reizbarkeit bei dem amputirten Schenkel gegenüber demjenigen beobachtet werden kann, welcher im Zusammenhang mit dem Organismus verblieben war, während sich im Ganzen bei den anderen Muskeln die Reizbarkeit lange Zeit hinaus relativ vergrösserte,

(1) Relationen zwischen Blut und Erregbarkeit der Muskeln. Inauguraldissertation. München 1860.

um erst sehr spät und rasch zu sinken, hat in Folgendem seinen Grund: Bei den letzteren, welche gleichzeitig amputirt, aber mit ungleichen Mengen Blut erfüllt liegen blieben, schritt der Tod vom Beginn der Amputation an je mehr und mehr fort, und zwar in beiden, aber nur mit ungleicher Geschwindigkeit. Bei den anderen starb nur der amputirte ab, der andere verblieb unter seinen gewöhnlichen Lebensbedingungen. Im amputirten kann das aus anderen Gründen sich steigernde Reizvermögen die Oberhand nur anfänglich behalten, während es sehr bald durch den Verlust einer sehr grossen Menge von Lebensbedingungen, unter welchen der nicht amputirte verbleibt, so weit sinken muss, dass es bald wieder kleiner ausfällt als im nicht amputirten Schenkel. Wir hätten also für das Mass der Reizbarkeit eine gewisse Summe von Bedingungen, welche während des Lebens bestehen; sie sei A . Diese Summe verkleinert sich immer mehr, und ist eine Zeit nach der Amputation $A - n$; während dem treten neue Bedingungen auf, welche die Reizbarkeit erhöhen; sie mögen B heissen; es kann dann in einem gewissen Moment nach der Amputation das Mass der Reizbarkeit $A - n + B$ grösser sein als A . Bleibt aber im nicht amputirten Schenkel A gleich, so kann in einer späteren Zeit bei dem amputirten Schenkel das Mass der Reizbarkeit $A - ny + B^x$ trotz der beträchtlichsten Steigerung von B doch im Ganzen kleiner sein, weil mit der Zeit zugleich immer weitere Ursachen zur Verkleinerung der anfänglichen Lebensbedingungen hinzukommen, und dieser Abzug von den anderweitigen, die Reizbarkeit an sich erhöhenden Ursachen nicht mehr gedeckt werden kann.

Wenn also Vergrösserung der Elasticität, d. h. Abnahme der Dehnbarkeit mit Zunahme der Reizbarkeit eine lange Zeit Hand in Hand geht, so kann jene nicht von einem Coagulum abhängen, welches durch seine Einbettung im übrigen Muskelgeweb dadurch allein eine Verminderung der Dehnbarkeit hervorriefe. Nahe liegt es dagegen, anzunehmen, dass der der Coagulation vorausgehende Process der Säurebildung Veranlassung zu den Aenderungen der Eigenschaften im amputirten Schenkel gibt. Dies führte zur

zweiten Reihe von Versuchen

an unserem Apparat, durch welche eine künstliche Aenderung des Elasticitätsmasses durch chemische Mittel herbeigeführt werden sollte. Ich habe zu dem Ende die Muskeln frisch geschlachteter Thiere in gleiche

Volumina destillirten Wassers gelegt, welchem bestimmte Mengen von alkalischen oder sauren Flüssigkeiten beigemengt waren, und sie darin gleiche Zeiten liegen lassen. Bei jedem Parallelversuch wurde immer der eine Gastrocnemius in das destillirte und der andere Gastrocnemius desselben Thieres in die saure oder alkalische Flüssigkeit gelegt. Ich theile vorzugsweise nur die Schlussreihe der Versuche mit, bei welchen alle störenden Nebenumstände als vollkommen beseitigt betrachtet werden dürfen.

1. Versuch.

Der eine Gastrocnemius liegt in destillirtem Wasser, welchem so viel Milchsäure beigesetzt ist, dass empfindliches Lakmuspapier eben die saure Reaction anzeigt; der andere Gastrocnemius liegt in destillirtem Wasser, mit so viel Natron versetzt, dass Curcumapapier eben noch alkalische Reaction anzeigt. Nach 15 Stunden kommen beide Präparate in den Apparat.

Indem nach und nach immer mehr Gewichte von der Waagschale entfernt werden, ergeben sich folgende Differenzen bei der Senkung des Balken-Lagers.

Senkung des Balkenlagers.	Differenz der Dehnung auf Seite des in der alkalischen Flüssigkeit gelegenen Muskels.
0,0132	+ 0,05
0,02	+ 0,15
0,046	+ 0,3
0,059	+ 0,7
0,66	+ 1,65
0,83	+ 2,1
1,54	+ 2,4
2	+ 3,0

2. Versuch.

Der eine Gastrocnemius wird vom frisch amputirten Schenkel genommen; die Gefäße des andern sind mit verdünnter Kochsalzlösung injicirt, dem auf 100 Cub. Cent. so viel Säure zugesetzt ist, dass dadurch 0,025 Milligr. Ca neutralisirt werden.

Senkung des Balkens. Differenz der Dehnung auf Seite des im sauren
Wasser gelegenen Muskels.

0,0165	+ 0,05
0,047	+ 0,09
0,66	+ 0,25
0,78	+ 0,3
0,82	+ 0,5
0,98	+ 0,4
2,6	+ 0,6

3. Versuch.

Der eine Gastrocnemius liegt in destillirtem Wasser, der andere in Wasser, dessen beigefügte Säure 0,279 Milligramm Ca neutralisirt.

Senkung des Balkens. Differenz der Dehnung auf Seite des im
reinen Wasser gelegenen Muskels.

0,0165	0
0,095	+ 0,05
0,683	+ 0,05
0,73	+ 0,05
1,376	0
3,93	+ 0,4

4. Versuch.

Der eine Gastrocnemius liegt in destillirtem Wasser, der andere in Wasser, dessen zugesetzte Säure 1,1176 Milligr. Ca neutralisirt.

Senkung des Balkens. Differenz auf Seite des im reinen Wasser ge-
legenen Muskels.

0,013	0
0,079	+ 0,05
0,62	+ 0,1
0,699	+ 0,22
0,386	+ 0,3
3,93	+ 0,8

5. Versuch.

Der eine Gastrocnemius liegt in destillirtem Wasser, der andere in Wasser von einem Säuregehalt, dass dadurch 1,745 Milligr. Ca neutralisirt werden.

Senkung des Balkens.	Differenz auf Seite des in reinem Wasser gelegenen Muskels.
0,02	+ 0,05
0,073	+ 0,1
0,0924	+ 0,15
0,746	+ 0,17
0,838	+ 0,27
3,933	+ 0,6

6. Versuch.

Der eine Gastrocnemius liegt in destillirtem Wasser, der andere in Wasser, dessen Säure-Zusatz 4,36 Milligr. Ca neutralisirt.

Senkung des Balkens.	Differenz auf Seite des im sauren Wasser gelegenen Muskels.
0,0264	0
0,086	0
0,693	+ 0,1
0,745	+ 0,2
1,359	+ 0,1
3,933	+ 0,3

7. Versuch.

Der eine Gastrocnemius liegt in destillirtem Wasser, der andere in Wasser, dessen Säure-Gehalt 10,058 Ca neutralisirt.

Senkung des Balkens.	Differenz auf Seite des im sauren Wasser gelegenen Muskels.
0,026	+ 0,09
0,0792	+ 0,2
0,158	+ 0,5
0,739	+ 0,75
1,432	+ 1,55
3,900	+ 4,05

Bei dieser ganzen Versuchsreihe hatte jedes Paar von Muskeln, welche miteinander verglichen wurden, 14 Stunden in den Flüssigkeiten gelegen. Dabei zeigt sich also, dass schon sehr geringe Mengen alkalischer Flüssigkeit den Muskel dehnbarer machen als einen solchen, welcher mit einer sehr schwach sauren durchtränkt ist. Bringt man eine sehr schwach saure Flüssigkeit mit dem Muskelgewebe in Contact,

so sieht man seine Dehnbarkeit vergrössert; je mehr man aber Säure zusetzt, desto grösser wird in gleichen Zeiten die Resistenz, bis die Wirkung der Säure mit ihrer weiter wachsenden Menge sich umkehrt, und bei längerem Verweilen darin der Muskel an Dehnbarkeit denjenigen übertrifft, welcher die gleich lange Zeit in reinem Wasser gelegen hatte.

Diese messenden Versuche sind für den Gesamtmuskel eigentlich nur eine Bestätigung von dem, was jeder Chemiker oder Mikroskopiker weiss. Minima von Säuren können die Muskelfaser bis zur Lösung erweichen, grössere Mengen machen sie momentan härter, und längeres Verweilen in etwas stärker sauren Flüssigkeiten rufen eine Art Maceration hervor, in Folge dessen sie wieder ihre Resistenz einbüssen.

Da wir nun in dem allmählich todtenstarr werdenden Froschmuskel sehr bequem das langsame Anwachsen der freien Säure verfolgen können, da wir durch künstlichen Zusatz von Säure zu dem Muskel in wachsendem Mengenverhältniss ebenfalls wie dort den doppelten Wechsel der Dehnbarkeit verfolgen können, so dürfte als ausgemacht betrachtet werden, dass die Säure es ist, welche die physikalischen Eigenschaften der elastischen Muskelbestandtheile in der erwähnten Weise bei der Entwicklung der Todtenstarre verändert, wenn es gelingt, zu zeigen, dass das Coagulum als Solches dabei nur eine untergeordnete Rolle spielt. Ehe ich jedoch zu diesen Versuchen übergehe, will ich nicht unterlassen, zu zeigen, wodurch sonst noch der Einfluss der Säurebildung innerhalb des thätigen Muskels selbst dargethan werden kann. Man erinnere sich, dass wir die Giltigkeit unserer Schlussfolgerung immer davon abhängig gemacht haben, dass, so lange der abgeschnittene Muskel noch reizbar ist, keine irgendwie nennenswerthe Menge von Coagulum ausgeschieden sein kann.

Was Weber auf mechanischem, ich auf akustischem Weg nachgewiesen, dass der Muskel während seiner Contraction weicher wird, ist auch jüngst wieder durch die Untersuchungen von Wundt bestätigt worden. Wenn der Muskel weicher wird, während er contrahirt ist, und wenn er nur so lange weicher wäre, als er contrahirt bleibt, so könnte dieses Phänomen sehr manigfacher Deutung unterliegen. Wenn er aber über die Zeit seiner Contraction hinaus noch dehnbarer gefunden wird als vorher, so darf man mit Recht an den bei der Contraction zu Stande kommenden Bildungsprocess von freier Säure denken, und im Zusammenhalt mit den oben mitgetheilten Versuchen schliessen,

dass auch hier die Minima von Säure, welche sich im Tetanus besonders wegen der gehemmten Circulation auch beim lebenden Thier anhäufen können, zur Erzeugung des genannten Phänomens beitragen; denn jede Erklärung desselben aus einfachen Molekularwirkungen zwischen den Atomen des elastischen Muskelkörpers, wie sie auch Wundt als undenkbar hingestellt hat, scheint mir äusserst gewagt.

Da Wundt schon nachgewiesen hat, dass nach dem Tetanisiren noch eine vergrösserte Dehnbarkeit zurückbleibt, so habe ich mir die Mühe erspart, die Ergebnisse meiner Versuche an dem beschriebenen Apparat weiter zu reduciren und die Feinheit meines Instrumentes nur benützt, um zu sehen, ob schon nach sehr kurz dauerndem Tetanus die Differenz noch zu bemerken ist. Dies ist in der That der Fall, und ich gebe einige Beobachtungen beispielsweise, aber nur nach den Grad-Ablesungen am Differenzialhebel.

1. Versuch.

Zwei Gastrocnemii eines frisch geschlachteten Thieres werden in ihre Gehäuse am Apparat gebracht.

Nachdem 40 Grm. der balancirenden Gewichte von der Waagschale entfernt worden, zeigt der Fühlhebel am Gradbogen $1 = 0,1$ Millim.

Jetzt wird der eine Muskel ein paar Augenblicke tetanisirt, und etwa nach 2—3 Minuten der Dehnungsversuch wiederholt.

Von der Waagschale entfernte Gewichte.	Angaben des Fühlhebels.
0 Grm.	0
40 „	+ 2
70 „	+ 12
75 „	+ 18,5

Die Muskeln werden jetzt gewechselt, der Balken auf's Neue horizontal eingestellt, die Dehnung wiederholt.

Von der Waagschale entfernte Gewichte.	Angaben des Fühlhebels.
0 Grm.	0
50 „	— 1
200 „	— 10

Es zeigt sich also der vorher tetanisirte Muskel dehnbarer.

2. Versuch.

Zwei Gastrocnemii eines frisch geschlachteten Frosches kommen in ihre Gehäuse im Apparat.

Von der Waagschale entfernte Gewichte.	Angaben des Fühlhebels.
0 Grm.	0
10 „	0
20 „	0
30 „	0
Nach dem Tetanisiren des einen Muskels	
10 Grm.	0
20 „	0
40 „	1,5
70 „	1,5
90 „	7,5
200 „	10,5

Wiedrum war der tetanisirte Muskel der dehnbarere.

3. Versuch.

Zwei Gastrocnemii eines frisch geschlachteten Thieres kommen in den Apparat.

Von der Waagschale entfernte Gewichte.	Angaben des Fühlhebels.
0 Grm.	0
20 „	0
Der eine Muskel wird kurze Zeit tetanisirt	
0 Grm	0
20 „	11
40 „	12
70 „	12
90 „	12
200 „	6

In diesem Fall war nach dem Tetanisiren eine bleibende Verkürzung eingetreten, so dass der Fühlhebel statt auf 0 auf 11 stand. Es wurde derselbe gewaltsam bis auf 0 herabgedrückt, und dadurch der Balken vor der neuen Dehnungsreihe horizontal gestellt; aber trotzdem zeigte sich darnach der tetanisirte Muskel noch dehnbarer als der nicht tetanisirte.

Diese Beispiele mögen genügen, um auch hierdurch zu zeigen, dass noch lange, ehe alle Reizbarkeit erschöpft ist, und schon nach kurzem Tetanisiren eine vergrösserte Dehnbarkeit zurückbleibt; ich würde damit unmittelbar die bekannte Thatsache in Verbindung bringen, dass die Muskeln von Thieren, welche mit Strychnin vergiftet worden sind,

so ausserordentlich weich und brüchig sind, dass sie sich zu einem schwer abfiltrirbaren Brei in der Reibschale verwandeln, wenn ich nicht daran denken müsste, dass hierbei eine längere Wirkung grösserer Mengen von Säure einen Zustand der Maceration hervorrufen könnte, wodurch also mehr ein Analogon mit dem letzten als mit dem ersten Stadium jenes Processes entstünde, in dessen Mitte die eigentliche Starre liegt. Doch enthalte ich mich hierbei eines Urtheils, da ich die physikalischen Eigenschaften von Muskeln solcher Thiere, welche an Strychnin-Krämpfen zu Grunde gegangen sind, noch nicht genauer untersucht habe.

Vergleicht man endlich den stark gereizten Muskel mit dem gleichnamigen desselben Thieres, welchen kein Reiz vorher getroffen hatte, macht in beiden die darin enthaltene Blutmenge möglichst gleich, was am besten durch gleichzeitiges Umschnüren beider Oberschenkel geschieht, wenn man unmittelbar darauf jeden Schenkel für sich nochmal in eine Ligetur nimmt, und oberhalb derselben abschneidet, reizt dann den einen durch starke Inductionsströme und legt beide gleich lange in den feuchten Raum, so findet man, dass die Dehnbarkeit des gereizten Muskels rascher abgenommen hat als in dem anderen.

Alle diese Veränderungen der elastischen Eigenschaften können nur dann mit Sicherheit auf Ursachen zurückgeführt werden, welche den künstlich eingeführten und nicht bloss darin vorausgesetzten gleichen, wenn wir im Muskel selbst das Wachsen der freien Säure verfolgen können, und wenn es gelingt, für eine andere als möglich zu denkende Ursache die Unwirksamkeit nachzuweisen.

Aus den chemischen Untersuchungen des ausgepressten Muskelsaftes, wie der feuchten Muskelquerschnitte, hat man erfahren, dass man nach vorausgegangener Ruhe des Muskels neutrale oder alkalische Reaction erhält, welche der sauren Platz macht, wenn der Muskel vorher gereizt worden, und die Bedingungen verringert oder ausgeschlossen wurden, welche die Säure im Moment ihres Freiwerdens gleich wieder abzustumpfen im Stande sind. Während der Entwicklung der Todtenstarre wird der Muskel auch nach vorausgegangener Ruhe nach und nach sauer. Mit Hilfe des Lakmuspapieres lässt sich aber der Fortschritt der Säurebildung nicht verfolgen, so lange noch irgend eine Spur überschüssigen freien Alkalis nebenbei vorhanden ist, welches die Säure sofort bei ihrer Bildung in Beschlag nimmt. Quantitative Versuche am ausgepressten Saft gestatten wenigstens keine unmittelbare

Anwendung auf den Muskel, wie er gewesen, ehe er ausgepresst wurde, weil dabei weder der Einfluss der Zeit, noch der anderer Umstände eliminirt werden kann. Um den Fortschritt der Säurebildung im Muskel selbst zu ermitteln, benütze ich die von mir entdeckte Thatsache, dass die Temperaturgrenze für die Coagulation mit der Menge der bei der Erwärmung frei werdenden Säure herabrückt. Sie rückt natürlich auch herab, wenn in einem Muskel die Menge des freien Alkalis verhältnissmässig weniger vorherrscht als in einem zweiten, damit verglichenen. Da sich nun ferner der Moment der Coagulation an dem unversehrten Muskel durch eine sehr rasch eintretende Verkürzung erkennbar macht, so lässt sich die graphische Methode benützen, den Gang der Längenänderung während der Temperatur-Steigerung unmittelbar zu verfolgen.

Ich will so kurz als möglich den Apparat beschreiben, dessen ich mich dabei bedient habe, da seine Construction von der des gewöhnlichen Kymographion abweicht. Ein Uhrwerk setzt nämlich zwei gegeneinander geklemmte Walzen in Bewegung, welche sich jedoch nur mit ihren oberen und unteren Mantelflächen berühren. In einer Vertikalebene mit ihnen befinden sich zwei jenen gleiche Cylinder, in einem Abstand von c. 4 Zoll davon entfernt. In der Mitte der Entfernung dieser zwei Paare von Walzen, wovon das eine nicht vom Uhrwerk getrieben wird, dreht sich ebenfalls unabhängig vom Uhrwerk zwischen Spitzen eine fünfte, oben und unten mit einem kleinen, scheibenförmigen Vorsprung versehene Walze. Wird über diese Walze weg ein Papierstreifen genau von der Höhe der Walze, zwischen den Vorsprüngen gelegt, nachdem er zugleich zwischen die vier anderen Walzen geklemmt ist, so zieht die vom Uhrwerk abhängige Drehung der einen Walze den Papierstreifen mit gleichförmiger Geschwindigkeit fort, wie bei unseren Drucktelegraphen. Es ist natürlich bei dem Streifen-Kymographion eine sehr grosse Sorgfalt auf den Gang des Uhrwerkes und die genau cylindrische Form der Walzen verwendet, so dass der Papierrand genau in einer horizontalen Linie fortrückt. Mit dem Uhrwerk dieses Instrumentes ist, nebenbei bemerkt, ein Hipp'sches Chronoskop verbunden, dessen Zeigerwerk den Gang sehr genau controliren lässt. Die Pinsel schreiben immer auf dem Theil des vorüber wandernden Papierstreifens, welcher der mittleren Walze prall anliegt. In dem endlosen Papier hat man ein Mittel, sehr grosse Strecken benützen zu können, und zugleich greifen die Curven nie übereinander. Eine grosse Bequemlichkeit liegt ferner darin, dass man sehr schnell fast ohne alle Unterbrechung des Versuches einen frischen Streifen nachschieben kann.

Vor diesem compendiösen, kaum etwas mehr als einen Cubus von 1¹/₂ Decimeter Seite Raum einnehmenden Apparat befinden sich lange Hebel aufgestellt, deren Kniee in Universalgelenken beweglich, eine vollkommene Geradföhrung der schreibenden Pinsel und der am entgegengesetzten Ende angreifenden Kräfte gestatten. Alle Bewegungen geschehen entweder zwischen Spitzen oder zwischen in Spitzen laufenden Frictions-Rollen. Der Ausschlag der wirkenden Kräfte kann je nach Bedarf verkleinert oder vergrössert werden, so dass für alle Bewegungen die niedrige Schreibfläche ausreicht. Zugleich bleiben die Hebelarme bei jeder Differenz ihrer Länge gegenseitig balancirt. Solche Hebelwerke stehen zwei vor dem Apparat, wodurch es möglich wird, zwei verschiedene, aber zeitlich zusammenfallende Bewegungsvorgänge in zwei Curven aufzeichnen zu lassen.

So weit wird die Einrichtung jetzt wohl verständlich geworden sein, um sich einen Begriff von den zunächst zu beschreibenden Versuchen machen zu können.

Unsere Aufgabe ist also jetzt, den Gang der Längenänderung verschiedener Muskeln untereinander zu vergleichen, während die Temperatur derselben allmählich erhöht wird. Zu dem Ende befindet sich, vor Wasserverlust vollkommen geschützt, der Muskel in einem Calorimeter-Raum, welcher mit zwei grossen Wasserbehältern in Verbindung steht. Der eine enthält kaltes, der andere heisses Wasser. Durch Hähne wird der Zufluss zum Calorimeter geregelt, dessen Thermometer in der Höhe des Muskels, und diesen fast berührend, aufgestellt ist. Der Muskel hängt frei herab, und steht durch Hacken, deren oberster seine Sehne durchbohrt, mit dem einen Hebel in Verbindung. Der andere Hebel wird mit der Hand regiert. Während nämlich jener die Curve der Längenänderung auf dem vorübergezogenen Papierstreifen schreibt, berührt der Beobachter des Thermometers, so oft die Temperatur um 1 Grad Cels. gestiegen ist, den zweiten Hebel, wodurch eine kurze, senkrechte Linie den Gang der sonst horizontalen, und zugleich als Abscissenaxe dienenden Linie unterbricht. Nach jedem 5. Grad wird ein etwas längerer, nach jedem 10. Grad ein noch längerer Strich gezogen. Hat man dann den ersten oder letzten Temperaturgrad notirt, so orientirt man sich über die Bedeutung jedes einzelnen Striches ohne alle Irrung sehr leicht, selbst wenn hie und da einmal einer derselben zu ziehen vergessen worden sein sollte.

Auf die Geschwindigkeit, mit welcher man die Temperatur steigen

lässt, hat man grosse Sorgfalt zu verwenden, damit sie bei den vergleichenden Versuchen so wenig als möglich wechselt. Denn es ist begreiflich, dass wenn der Thermometer nicht in dem Muskel eingebettet ist, was man nicht ausführen kann, seine Angaben den wirklichen Temperaturzunahmen der Muskelsubstanz immer, wenn auch nur um einige Secunden voran eilen. Lässt man die Wärme rasch steigen, so gewinnen diese Thermometer-Angaben einen grösseren Vorsprung als bei langsamerem Ansteigen, und man setzt sich dadurch Täuschungen aus, welche sich nur durch sorgsame Auswahl der gewonnenen Curven beseitigen lassen. Es werden nämlich für die Vergleichung alle die Curven verworfen, bei denen die Temperatur bis zum entscheidenden Wendepunkt nicht mit der gleichen Geschwindigkeit gestiegen ist.

Im Nachstehenden sollen nur einige dieser brauchbaren Versuche mitgetheilt werden.

1. Parallel-Versuch.

Der Gastrocnemius eines frisch geschlachteten Thieres verkürzte sich bei 45° Cels. um 0,91 Millim.

Der zweite Gastrocnemius desselben Thieres nach 18 Stunden bei 42° Cels. um 0,91 Millim.

Die Verkürzung hatte bei 44,5° Cels. bereits eine Höhe von 6,6 Millim. erreicht.

Die Temperaturgrenze für die Verkürzung sinkt also während der Entwicklung der Todtenstarre, wie die der Coagulation des Muskelsaftes mit der Vermehrung der Säure.

Die Vermehrung der Säure während der Entwicklung der Starre muss also auch bei dem sonst ganz unversehrten Muskel als bewiesen angesehen werden.

2. Parallel-Versuch.

Der Gastrocnemius eines frisch geschlachteten Thieres fängt bei 39,5° Cels. an, sich rasch zu verkürzen, der andere, welcher 15 Stunden gelegen hatte, bei 34,5°.

In allen diesen Fällen betrug das am Muskel hängende Gewicht nur 10 Grm.

In einer anderen Reihe von Versuchen wurde der Muskel bleibend mit 200 Grm. belastet.

Ich theile davon einen Parallelversuch mit, bei welchem für den Muskel, dessen Verkürzung bei dem höheren Temperaturgrad zu erwar-

ten stand, dies auch eintrat, trotzdem, dass man dabei die Geschwindigkeit ihrer Zunahme verkleinerte.

Folgendes waren die Ergebnisse des

3. Parallel-Versuches.

Für den Gastrocnemius 19 Stunden nach dem Schlachten.

Für den Gastrocnemius unmittelbar nach dem Schlachten.

A.		B.
Zeit in Minuten.	Temperatur-Aenderung	Temperatur-Aenderung.
1—2	16°—16,5°	15°—15°
2—3	16,5°—25,5°	15°—16,5°
3—4	25,5°—30°	16,5°—21,5°
4—5	30°—39°	21,5°—30°
5—6	39°—45,5°	30°—34,8°
6—7	45,5°—53,8°	34,8°—40,6°
7—8	53,8°—59°	40,6°—45,5°
8—9	59°—60,5°	45,5°—52,5°
9—10	60,5°—61,5°	52,5°—62°
10—11	61,5°—62,3°	62°—70°

Dabei zeigten die Curven der Längen Aenderung folgende Verschiedenheiten :

1) für A.

Nachdem die Curve von 1' 20" bis 1' 53" ganz gerade verlaufen war und die elastische Nachwirkung aufgehört hatte, begann eine weitere Dehnung, welche sich vom 19. Grad an bis zum 40. Grad steigerte. Nach 4' 40" trat bei 40° der Wendepunkt der Curve, d. h. beginnende Verkürzung ein. Bei 48° war die durch 200 Grm. anfänglich bewirkte Verlängerung vollkommen compensirt. Bei 55° beginnt eine langsam fortschreitende Dehnung.

2) für B.

Der Muskel verlängerte sich unausgesetzt weiter bis zum 42. Grad. Dann begann eine langsame Verkürzung, welche sich bei 44,5° plötzlich steigerte. Vom 61. Grad an trat wieder rasche Dehnung ein, und diese wuchs fortwährend. Durch das Maximum der Verkürzung wird die anfängliche Dehnung des Muskels durch die 200 Grm. kaum zur Hälfte compensirt.

Das Resultat darf also für sicher gestellt erachtet werden, dass die Verkürzung einige Zeit nach dem Tod bei niedrigeren Temperaturen eintritt, als unmittelbar darauf; ferner ergiebt sich aber, dass unmittelbar nach dem Tod dehnende Gewichte durch die Mithilfe der Wärme einen grösseren Einfluss auf die anfängliche Verlängerung ausüben als in späteren Stadien. Endlich zeigt sich, dass das Maass der Verkürzung und ihre Kraft ebenfalls in den späteren Stadien grösser ist als in den früheren.

Noch erkennt man aber aus diesen Versuchen nicht, welcher Factor die Veranlassung für die gesteigerte Elasticität, d. h. Widerstandskraft abgiebt. Denn es sind in den Versuchen die Einflüsse: erstens der Säure, zweitens des Coagulums, drittens der Wärme noch nicht von einander isolirt.

Um zunächst den Einfluss der Säure von dem des Coagulums als addirendes Glied zu den Bedingungen für grössere Resistenz von einander zu trennen, und gleichzeitig den Einfluss der Wärme zu eliminiren, habe ich folgendes Verfahren eingeschlagen.

Ich liess einen Gastrocnemius bei der Temperatur von 15° im Calorimeterraum ein Gewicht von 100 Grm. tragen, und wartete die elastische Nachwirkung ab. Dann wurde das Gewicht entfernt, wieder aufgelegt, wieder entfernt, u. s. w.; aber jedesmal abgewartet, bis die eingetretene Längen-Änderung constant geworden war. Sofort wurde der Calorimeterraum rasch so weit erwärmt, dass es dabei sicher zu keiner Coagulation und also auch zu keiner Verkürzung kam; dann wurde die Belastung mit 100 Grm. wie vorher mehrmal wiederholt. Einige Beispiele der Versuche mögen genügen.

Ich habe in den Tabellen ohne weitere Reduction die Messungen der Ordinaten für die Maxima der Dehnung stehen gelassen; sie wären alle mit 0,15 zu multipliciren, wenn man sie für das Maass der Dehnung in Millimeter ausgedrückt, berechnen wollte.

Bei 15° Cels.

I. Dehnung mit 100 Grm.

Von 0 auf 21,5 — zurück auf 14,5.

II. Dehnung mit 100 Grm.

Von 14,5 auf 21,5 — zurück auf 16,5.

III. Dehnung mit 100 Grm.

Von 16,5 auf 21,5 — zurück auf 17,5.

Die Temperatur änderte sich hierauf im Verlauf von 3,8 Minuten im Calorimeterraum wie folgt:

Minute	Grad Celsius
1	37
1,5	35
2	34
2,3	36
2,8	38
3	35
3,5	35
3,8	36
4	39
4,8	35.

Hieraus berechnet sich die mittlere Temperatur zu $36,5^{\circ}$ Cels. Sie hat dabei keinen Augenblick eine Höhe erreicht, bei welcher Coagulation eingetreten sein könnte. Der Muskel hatte sich auch nicht im Geringsten verkürzt.

Nachdem sich der Muskel 3,8 Minuten in dieser Temperatur befunden hatte, so ergaben die neu vorgenommenen Dehnungen bei 15° Cels. folgende Resultate:

I. Dehnung mit 100 Grm.

Von 0 auf 19,5 — zurück auf 14,1.

II. Dehnung mit 100 Grm.

Von 14,1 auf 19, 1 — zurück auf 14,8.

III. Dehnung mit 100 Grm.

Von 14,8 auf 19,5 — zurück auf 14.

Der Muskel ist also durch die vorausgegangene Erwärmung weniger dehnbar geworden; zugleich ist seine Elasticität jetzt im Ganzen etwas vollkommener als vorher.

Bei einem anderen Gastrocnemius waren die Ergebnisse eines ähnlichen Versuches folgende:

1) bei 15° Cels. vor der Erwärmung

I. Dehnung mit 100 Grm.

von 0 auf 25,3 — zurück auf 12,2.

II. Dehnung

von 12,2 auf 25,3 — zurück auf 14,7.

III. Dehnung

von 14,7 auf 27 — zurück auf 14.

IV. Dehnung

von 14 auf 27,5 — zurück auf 14.

V. Dehnung

von 14 auf 27,5 — zurück auf 15.

VI. Dehnung

von 15 auf 27,5 — zurück auf 15,8.

Die Temperatur änderte sich hierauf im Verlauf von 4 Minuten im Calorimeterraum wie folgt:

Minute	Grade Celsius
1	40°
1,5	39°
2	40°
4	40°
5	40°

Hieraus berechnet sich die mittlere Temperatur 39,5°. Auch dabei war während des Erwärmens am Muskel keine plötzliche Verkürzung wahrgenommen.

Nachdem der Muskel sehr rasch wieder abgekühlt worden war, wurde die zweite Reihe von Dehnungen mit ihm vorgenommen. Es ergaben sich folgende Resultate:

I. Dehnung mit 100 Grm.

von 0 auf 21,1 — zurück auf 8,3.

II. Dehnung

von 8,3 auf 21,4 — zurück auf 8.

III Dehnung

von 8 auf 20 — zurück auf 8.

IV. Dehnung

von 8 auf 20 — zurück auf 8.

V. Dehnung

von 8 auf 21,4 — zurück auf 8,5.

Jetzt wurde auf's Neue der Calorimeterraum rasch erwärmt, und nahm in der Zeit folgende Temperaturen an:

Minute	Grad Celsius
1	53°
2,5	55°
3	47°

Es trat eine plötzliche Verkürzung ein, und der Muskel wurde sofort aus dem Raum gebracht und rasch abgekühlt. Die mittlere Temperatur, in welcher sich der Muskel diesmal drei Minuten befunden hatte, betrug 51° Cels. Nachdem er rasch wieder abgekühlt worden, ergaben die Dehnungsversuche folgende Resultate:

I. Dehnung mit 100 Grm.

von 0 auf 32,2 — zurück auf 20,5.

II. Dehnung

von 20,5 auf 32,2 — zurück auf 22,5.

III. Dehnung

von 22,5 auf 36,3 — zurück auf 24,7.

IV. Dehnung

von 24,7 auf 38 — zurück auf 27,3.

Der Calorimeterraum wird wieder rasch erwärmt und zwar:

in der Minute	Grad Celsius
1	55°
2	55°
3	54°

Nachdem der Muskel also 3 Minuten in einer Temperatur von $54,5^{\circ}$ Cels. zugebracht, und sich dabei ruckweise stark verkürzt hatte, darauf sehr rasch abgekühlt worden war, ergaben sich bei 15° folgende Dehnungswerthe:

I. Dehnung

von 0 auf 7,5 — zurück auf 0.

II. Dehnung

von 0 auf 7,5 — zurück auf 1.

III. Dehnung

von 1 auf 8,2 — zurück auf 1.

IV. Dehnung

von 1 auf 8,2 — zurück auf 4,8.

V. Dehnung

von 4,8 auf 9 — zurück auf 3.

VI. Dehnung

von 3 auf 9 — zurück auf 3,5.

VII. Dehnung

von 3,5 auf 10 — zurück auf 3,5.

VIII. Dehnung

von 3,5 auf 10,9 — zurück auf 5.

Bei diesem Muskel bewirkte also ebenfalls wieder die Erwärmung bis vor die Coagulations- und Verkürzungs-Grenze (39) eine Verminderung der Dehnbarkeit; dabei wurde er in viel vollkommenerem Grade elastisch. Durch den Aufenthalt in einer Temperatur von 51° wurde er sehr viel weicher und höchst unvollkommen elastisch; seine Dehnbarkeit nahm mit jeder neuen Belastung zu; er wurde im Ganzen also weicher, teigartig. Nach dem Aufenthalt in einer Temperatur von 54° wurde er im Ganzen wieder weniger dehnbar und vollkommener elastisch; bei jeder neuen Belastung wurde er aber gegenüber der vorausgegangenen wieder ruckweise dehnbarer und zugleich, je öfter er belastet worden, um so unvollkommener elastisch. Dies deutet offenbar auf innere Cohäsionstrennungen, welche bei jeder Belastung stattfinden; woraus folgt, dass der Muskel im Ganzen brüchiger, spröder geworden ist.

Die ganze Versuchsreihe zeigt auf's Unzweideutigste, dass die Vermehrung der Resistenz, also die Grösse der Elasticität, durch einen Vorgang gesteigert werden kann, bei welchem es noch zu keiner Coagulation gekommen ist, dass also auch bei der exquisiten Todtenstarre diese Veränderung der Elasticität nicht ausschliesslich durch das Coagulum bedingt sein kann.

War nun in diesen Experimenten der Einfluss der Temperatur in so weit beseitigt, als die Unterschiede der Dehnbarkeit immer bei den gleichen Wärmegraden (15°) aufgesucht wurden, so konnte man doch noch denken, dass an jenen die Nachwirkungen der vorausgegangenen Temperaturerhöhung theilweise Schuld trügen. Es war also schliesslich der Versuch zu machen, den isolirten Einfluss der Wärme kennen zu lernen und zu sehen, wie dieser sich ändert, wenn neben ihm her der Process der Säurebildung und Coagulation abläuft.

Hiebei habe ich an der Hand meiner früheren chemischen Untersuchungen folgenden Weg eingeschlagen. Ich wusste, dass nach der Erwärmung des Saftes bis 70° fast die ganze Menge des Muskel-Eiweiss coagulirt wird, und dass unmittelbar darauf nur sehr langsam, bei geringeren Temperaturgraden kaum nachweisbar, eine weitere Vermehrung der freien Säure auftritt. War also ein Muskel bis zu dieser Temperatur erwärmt und dann vollständig abgekühlt worden, so konnte an einem solchen Präparat beobachtet werden, welchen Einfluss die Temperatur für sich auf die Widerstandskraft der Faser ausübt. Da es sich nur um den Gang der Curve im Allgemeinen dabei handelte, und nicht um den absoluten Werth ihrer Ordinaten, so konnte es auch gleich-

giltig sein, dass sich die Fasern jedenfalls durch die starke Erwärmung vorher verändert hatten; aber sie waren doch dabei weder ihrer Dehnbarkeit, noch Elasticität verlustig gegangen.

Ich führe auch hier nur ein Beispiel von vielen an.

Zeit in Sekunden	Ordinate	Steigerung der Temperatur	Temperatur
0	0,9	0°	14°
30	1,3	0,5°	14,5°
60	1,8	0,5°	15°
90	2,2	9°	24°
120	2,8	13°	37°
150	3,5	12°	49°
180	5,6	8,5°	57°
210	9	4,5°	61,9°
240	11	2,3°	64,2°

Bei 63° erfolgte eine plötzliche Reckung. Als ausnahmsloses Gesetz findet man in solchen Fällen, dass der Muskel durch das angehängte Gewicht von 100 Grm. in der Wärme immer länger und länger wird, und nie mehr nach beendigem Coagulationsprocess eine Längenabnahme erfolgt, wie dies bei dem frischen Muskel der Fall ist. Der Muskel wird durch den isolirten Einfluss der Wärme dehnenden Gewichten gegenüber immer nachgiebiger, seine Elasticität wird immer kleiner, und schliesslich kommt es zu plötzlichen Continuitäts-Trennungen in seinem Innern.

Vergleicht man mit der eben geschilderten Curve alle möglichen anderen Curven, welche man von frischen Muskeln unter den gleichen Umständen schreiben lässt, so zeigt es sich klar, dass das Coagulum als solches am wenigsten zur Vergrösserung der Elasticität beitragen kann. Ich will nur ein Beispiel anführen:

Versuch an dem Gastrocnemius eines frisch geschlachteten Thieres. Der Muskel ist mit 200 Grm. belastet und wird in 10 Minuten 50 Sekunden von 15° auf 74° Cels. erwärmt. Der Gang der dabei entstandenen Curve ist folgender, wobei + die Erhebung über die Abscissenaxe in Folge der Dehnung, — dagegen die Senkung unter die Abscissenaxe als Folge der Verkürzung bezeichnet. 20,3 ist die Verlängerung durch 200 Grm., das Niveau der Abscisse.

Zeit	Temperatur	Ordinate
0'	15°	0
0' 10'	15°	0
0' 30"	15°	+ 2
0' 50"		+ 2,2
1'		+ 2,3
1' 20"		+ 2,4
1' 30"		+ 2,5
1' 50"		+ 2,9
1' 58"	16°	
2'	17°	+ 3,4
2' 10"	18°	+ 3,5
2' 20"	19°	
2' 30"	19,5°	+ 3,8
2' 40"	20°	
2' 50"	21°	+ 4
3'	22°	
3' 10"	24°	
3' 20"	24,5°	+ 4,3
3' 25"	25°	
bis 4'	29,6°	+ 5
4' 30"	33,5°	+ 5,4
4' 40"	34°	+ 6
5'	34,7°	+ 6
6'	39,5°	+ 6
6, 5"	40°	+ 5,8
10"	40,5°	+ 5,5
20"	41°	+ 5,4
30"	42°	+ 5,2
48"	43°	+ 5
7'	44°	+ 2,5
10"	45°	+ 2,3
20"	46°	+ 1,5
30"	48,5°	0
40"	49°	— 1,4
60"	51°	— 3
8'	52°	— 5
10"	53°	— 6,2

Der Muskel verlängert sich langsam unter dem combinirten Einfluss von Wärme, Gewicht u. Minimalwerthen frei werdender Säure. Somit wirken alle drei Factoren in gleichem Sinne.

Der Muskel verkürzt sich trotz der Minimalwerthe von Coagulum, welches dabei anfänglich ausgeschieden wird, und trotz der Wärme in Folge der weiter fortschreitenden Säurebildung.

Der Muskel verkürzt sich weiter trotz der steigenden Wärme unter dem Einfluss von fortschrei-

Zeit	Temperatur	Ordinate	
8' 20"	55°	— 7,5	} tender Säurebildung, vielleicht auch der fortschreitenden Coagulation.
30"	58°	— 7,5	
40"	60°	— 6,2	
50"	61°	— 6	
9'	62°	— 5,2	} Der Muskel verlängert sich wieder unter dem Einfluss der steigenden Wärme, der Maceration seiner Fasern im sauren Saft, und trotz der ihrem Culminationspunkt entgegenrückenden Coagulation.
20"	63°	— 4,4	
30"	65°	— 1	
40"	67,5°	0	
50"	69°	+ 0,1	
10' 0"	70°	+ 1	
10"	71°	+ 1,7	
20"	71,5°	+ 2,5	
30"	72°	+ 2,6	
40"	73°	+ 3,5	
50"	74°	+ 4,5	

Man sieht hieraus, dass das Maximum der Längenabnahme, also die Zeit der grössten Widerstandskraft gegen das angehängte Gewicht, trotz der Gegenwirkung der Wärme dem Moment angehört, in welchem entweder noch kein Coagulum, oder nur eine sehr geringe Menge desselben ausgeschieden ist. In der Zeit aber, in welcher sich das Coagulum mit wachsender Geschwindigkeit ausscheidet, und endlich das Maximum erreicht hat, wird der dehnende Einfluss der Wärme am wenigsten compensirt, was doch gerade dann am Ehesten geschehen müsste, wenn das ausgeschiedene Coagulum als widerstandleistende Masse dehnenden Gewichten gegenüber figuriren sollte.

In der Wärme geschieht die Ausscheidung des Coagulums bei Untersuchung des ausgepressten Saftes noch am Ehesten in compakteren Flocken; auch lässt sich die fein suspendirte Ausscheidung, wie sie nach längerer Zeit in der gewöhnlichen Temperatur gebildet worden, durch etwas höhere Temperatur in grössere Flocken zusammenballen. Trotz dem aber kann diesen Flocken kein irgendwie so grosses Mass innerer Cohärenz zugeschrieben werden, dass man sich daraus jene eminente Gliedersteifigkeit entstanden denken könnte. Was ein solches Coagulum charakterisirt, ist äusserste Brüchigkeit, keineswegs aber innere Steifigkeit. Auch das gelatinöse Gerinsel, wie es sich auf Aetherzusatz oder nach längerem Stehen im Muskelsaft bildet, ist bei grösster Concentration doch nichts weniger als irgend wie resistent. Das Fleisch,

welches wir essen, ist weich, die Todtenstarre in ihm gelöst, aber es ist eine kaum nachweisbare Spur von Coagulum darin wieder aufgelöst worden.

Allen diesen Gründen gegen die Annahme, als hinge die Steifigkeit des starren Muskels von dem widerstandleistenden Coagulum ab, lässt sich einer beifügen, welcher auf dem Versuch beruht, die Elasticität des Muskels in den weitesten Grenzen zu ändern, ohne die Menge des darin ausgeschiedenen Coagulum zu gleicher Zeit mit zu verändern.

In Chlorcalciumlösung wird das Gewicht des ausgefällten Körpers nicht im Geringsten verändert. Hat man Muskeln 24 Stunden in destillirtem Wasser liegen lassen, so sind sie sehr aufgequollen, hart und wenig dehnbar. Legt man solche Muskeln 6 Stunden in zerflossenes neutrales Chlorcalcium, so erhält man Körper, welche an Elasticität mit einem Kautschukstreifen wetteifern können. Was nach der Quellung die Muskeln so steif gemacht hatte, ist grösstentheils das aufgenommene Wasser; wird ihnen dieses wieder entzogen, und tritt an seine Stelle eine verdünnte Chlorcalciumlösung ein, so ändert sich unbeschadet der constant bleibenden Menge des Coagulums die Elasticität des ganzen Muskels in so eminentem Grad. Entschiede über die Steifigkeit des Muskels wesentlich das Coagulum durch seine physikalische Eigenschaft, so müsste der Muskel auch nach der Behandlung mit Chlorcalcium einen hohen Grad von Resistenz behaupten, wovon gerade das Gegentheil eintritt.

So ist nun also vielleicht die Ansicht begründet, dass die Todtenstarre Folge irgend eines Reizes, etwa der Säure ist, welche auf die Muskelfaser so wirkt, dass sie sich verkürzt, wie sie sich am lebenden Thier, wenn auch nur vorübergehend nach ähnlicher Reizung contrahirt? Ist also die Todtenstarre etwa doch eine idiomuskuläre, nur sehr langsam entwickelte und lang bestehende Contraction?

Die Eigenschaft einer noch reaktionsfähigen, lebendigen Muskelsubstanz erkennen wir aus drei Dingen: aus ihrer Verkürzung, aus der negativen Stromschwankung, aus der Verminderung ihrer Elasticität. Was die Verkürzung der Muskeln während der Entwicklung der Todtenstarre anbetrifft, so weiss man allerdings, dass in Folge davon bei den menschlichen Leichen der herabhängende Unterkiefer oft wieder hinaufgezogen, einzelne Finger gebogen werden u. dgl., gleichwohl muss behauptet werden, dass sich die Todtenstarre nicht nothwendig und unter allen Umständen mit gleichzeitiger Verkürzung des Muskels zu entwickeln braucht.

Ich habe hierüber besondere Versuche an dem Gastrocnemius des Frosches angestellt.

Die Schreibfläche des Atwood'schen Myographion² wurde durch ein Uhrwerk in 23 Stunden um ihre Länge emporgezogen. Darauf schrieb unter Vermittlung eines den Ausschlag fünfmal vergrößernden Zeichenhebels der im feuchten Raum befindliche Muskel seine Längenänderung auf. Ich hatte ihn nur mit 12 Grm. beschwert; konnte also sicher darauf rechnen, dass er, wenn er sich überhaupt zu verkürzen strebt, diese kleine Last zu überwinden im Stande sein werde. Das getödtete Thier, von welchem der Muskel genommen war, blieb im feuchten Raum. Ich liess den Versuch Abends beginnen, als Niemand mehr in der Nähe des Laboratoriums ab- und zuing, und konnte beobachten, welche Bewegung der Zeichen-Hebel während der Nacht ausgeführt hatte. Dabei zeigte sich, dass sich zwischen der zweiten und fünften Stunde jedesmal der Muskel ein klein wenig (c. $\frac{1}{5}$ Millim.) plötzlich verlängerte, in der Verlängerung, wenn auch nur sehr wenig bis zur eilften Stunde zunahm, von da ab an seine jetzt gewonnene Länge behauptete, ohne sich nur im Geringsten zu verkürzen. Inzwischen war die übrige Muskulatur des Thieres im höchsten Grad todtenstarr geworden.

Das zweite Merkmal eines lebendig verkürzten Muskels (wenn wir diesen Ausdruck gebrauchen dürfen) liegt in der seine Contraction begleitenden und meist nachweisbar kürzere oder längere Zeit überdauernden Verminderung der Elasticität. Diese Verminderung zeigt der Muskel bald nach seiner Trennung vom Körper allerdings, also in den ersten Entwicklungsstadien der Starre, wie wir auch aus dem zuletzt mitgetheilten Versuch wieder ersehen; allein gerade dann, wenn der Höhepunkt der Starre eingetreten ist, findet das Gegentheil davon statt.

Was die negative Stromschwankung anbelangt, so lässt sich allerdings zeigen, dass auf der Höhe der Starre der ursprüngliche Strom oft beträchtlich vermindert ist, ja durch den Einfluss der parelektronischen Schicht umgekehrte Zeichen hat, allein es fragt sich dabei sehr, ob diese Verminderung der Stromstärke die gleiche Bedeutung mit der negativen Stromschwankung tetanisirter Muskeln habe. Um diese Versuche ausführen zu können, habe ich folgenden Weg eingeschlagen. Die Platte des Pflüger'schen Trägers nicht polarisirbarer Elektroden ist zweimal durchbohrt, und an diesen Stellen mit zwei geschlitzten Mes-

(2) Dessen Beschreibung in der Fortsetzung dieses Sitzungsberichtes.

singröhren versehen, in welchen sich Glasröhren von 8 Millim. Durchmesser auf- und abschieben lassen. Die Glasröhren sind unten mit thierischer Blase geschlossen, oben offen und mit schwefelsaurer Zinklösung gefüllt, in welcher nach oben vorragende sogenannte Verreiber (der Zeichner), mit derselben Lösung getränkt, stecken. Die Kegel dieser Verreiber sind mit einem Baumwollenfaden umwickelt, welcher mit frischem, aus zerflossenem Schnee gewonnenen Eierweiss getränkt ist. Diese Fäden sind mit einer Akupunkturadel an zwei Stellen vorsichtig zwischen die Muskelbündel hineingeschoben und gehen in ganz kurzen Bögen vom Muskel zu den Verreibern. Die aus der Platte des Trägers nach unten vorragenden, mit Membranen geschlossenen Glasröhren tauchen in amalgamirte, mit schwefelsaurer Zinklösung gefüllte Zinkgefässe, deren Klemmen die Multiplicatordrähte aufnehmen, während der ganze Apparat in der feuchten Kammer steht. Je nachdem man eine günstigere oder ungünstigere Wahl in den Applicationsstellen der Fäden trifft, sind natürlich die Ablenkungen absolut grösser oder kleiner. Ich will auch hier wieder nur ein Beispiel aus den Versuchsprotokollen herausgreifen. Das Thier war um 4^h 50' geschlachtet. Die folgende Tabelle gibt über die Veränderung der Ablenkung im Lauf der Zeit Rechenschaft.

	Zeit.	Ablenkung.
den 18. September	4 ^h 55' Nachmittags	67° östl.
den 18. September	7 ^h 15 Abends	55° östl.
den 19. September	8 ^h 5' Morgens	27° östl.
den 19. September	11 ^h 26' Mittags	25° östl.
den 19. September	3 ^h 3' Nachmittags	23° östl.
den 19. September	6 ^h 23' Abends	20° östl.
den 20. September	8 ^h 55' Morgens	13° östl.

Vergleicht man damit die Absterbungcurve eines isolirten Gastrocnemius, so sieht man, dass die Reizbarkeit anfangs ausserordentlich langsam sinkt, und dann plötzlich sehr steil abfällt; da man nun die Entwicklung der Todtenstarre mit einem bestimmten Grad ihrer Höhe zeitlich an die Reizlosigkeit des Muskels gebunden sieht, so steht zu erwarten, dass unmittelbar vor diesem Stadium, weil in demselben die Reizbarkeit so plötzlich sinkt, sie selbst mit entsprechender Geschwindigkeit anwächst. In jener Zeit müsste also auch mit ähnlicher Schnelligkeit die Stromstärke plötzlich heruntersinken, wenn die Vorgänge bei der Todtenstarre auf eine idiomuskuläre Zuckung zurückführbar sein

sollten. Davon findet sich aber keine Spur, sondern die Stromstärke verringert sich vom ersten Beginn der Trennung des Muskels an mit abnehmender Geschwindigkeit.

Alle Veränderungen am absterbenden Muskel können also, in soferne sie schliesslich zur exquisiten Todtenstarre führen, nun und nimmermehr mit einem sogenannt lebendigen, idiomuskulären Vorgang verglichen werden.

Ist denn überhaupt Verkürzung und Elasticitätsänderung eines Körpers in Folge veränderter Umstände, in welche wir ihn bringen, nothwendig eine Lebensäusserung? Das wird wohl Niemand behaupten wollen. Warum sollte der Muskel davon eine Ausnahme machen? Bloss desswegen, weil wir solche Aenderungen in gewissen Momenten bei ihm wahrnehmen, wenn er gleichzeitig in den Kreis der Lebenserscheinungen des ganzen Thieres eingeschlossen ist? Aendert ja doch auch der Nerv, oder eine Sehne ihre Länge und Widerstandskraft in weiten Grenzen, wenn wir diesen Geweben die Gelegenheit geben, sich mit verschiedenen Flüssigkeiten zu tränken, obwohl sie nie während des Lebens sich verkürzt haben, wie die Muskeln. Jeder Mikroskopiker weiss, wie manchfache Formveränderungen die verschiedenen Gewebe unter dem Einfluss verschiedener Reagentien eingehen, ohne dass sie etwa auf Wasseraufnahme oder Abgabe allein zurückgeführt werden könnten. Wodurch diess bewerkstelligt wird, bleibt vielleicht noch lange räthselhaft; wissen wir nicht einmal, wie ein fester Körper in den Zustand der Lösung übergeht.

Man weiss, dass die Muskelfasern durch sehr verdünnte Säuren bis zur Lösung erweicht werden können, man weiss, dass sie in weniger verdünnter Säure rigider werden, dass sie bei geeigneten Mischungsverhältnissen schrumpfen, d. h. also sich verkürzen, man weiss, dass die saure Reaction des Muskels während der Entwicklung der Todtenstarre langsam sich einstellt und steigert, dass die Erwärmung des Muskelsaftes rasch die Säurebildung steigert; man weiss ferner, dass je nach der Menge der Säure, welche man von dem Muskel auf künstlichem Weg durch Imbibition hat aufnehmen lassen, die Dehnbarkeit wächst, dann abnimmt, dann wieder zunimmt; man sieht sich ausserdem vergebens nach irgend einem anderen Agens um, welches eine ähnliche successive Aenderung in dem vom Körper getrennten Muskel herbeiführen könnte, nachdem erwiesen ist, dass der Charakter und die Reihenfolge dieser Aenderungen schon vor der Ausscheidung eines Coagulum zu

Tage tritt, so dass man auf dem Weg der direkten Schlussfolgerung wie auf dem *per exclusionem* zu demselben Resultat gelangt.

Doch will ich nicht unterlassen noch eines Experimentes Erwähnung zu thun, welches uns davon überzeugen kann, dass Säurebildung und Aenderung der Elasticität unmittelbar Hand in Hand gehen. Man injicire von der Aorta aus einen Frosch, zuerst mit verdünnter Kochsalzlösung, wobei keine Zuckungen in der Muskulatur auftreten; dann umschnüre man den einen Schenkel mit einer Ligatur und amputire; hierauf fülle man die Injectionsspritze mit destillirtem Wasser, und treibe dieses durch die Gefässe des nicht amputirten Schenkels, bis in dessen Muskulatur kleine Convulsionen auftreten; sofort amputire man auch diesen. Jetzt wird man finden, dass beide noch reizbar sind, dass der mit Wasser injicirte weniger dehnbar ist, dass die Temperatur, bei welcher der mit Wasser injicirte sich plötzlich zu verkürzen anfängt, 7 bis 8° Cels. höher liegt als die, bei welcher das Gleiche am anderen Schenkel eintritt.

Wie die Verdünnung des Muskelsaftes mit Wasser den Säurebildungs-Process ausserhalb des Muskels steigert, so geschieht dasselbe hier im Muskel, und wird in beiden Fällen durch die gleiche Methode erkannt. Der Muskel, in welchem auf diese Weise die Säuremenge vergrössert worden, verhält sich gerade so, wie einer, in welchem wir dieselbe durch beliebig andere Mittel auf ähnliche Höhe getrieben haben.

Nach all dem wird es jetzt gerechtfertigt erscheinen, wenn ich die Resultate meiner so vielfach variirten Untersuchungen in Folgendem zusammenfasse, wie es bereits in einer vorläufigen Anzeige derselben geschehen ist.

Unter Muskelstarre versteht man einen derartig veränderten Zustand des frischen und lebendigen Muskels, in welchem seine natürliche Weichheit auf längere Zeit geringer geworden ist. Damit hat man ganz allgemein und gestützt auf die einfachsten manuellen Untersuchungsmethoden diesen Zustand charakterisirt. Diese Starre tritt bei den meisten Leichen freiwillig ein und heisst dann Todtenstarre. Sie kann sofort herbeigeführt werden durch Erwärmung des Muskels bis zu gewissen Temperaturgraden und heisst dann Wärmestarre, oder nach einem kürzeren Aufenthalt in Wasser und heisst dann Wasserstarre. Nun ist von Brücke, Kühne und mir gezeigt worden, dass die Ausbildung der Starre im Zusammenhang mit einem Gerinnungsvorgang stehe. Damit war aber

die ganze schon länger angeregte Streitfrage über die letzten Ursachen, zunächst der Todtenstarre noch nicht entschieden. Ich will kurz den Standpunkt der entgegengesetzten Ansichten in zwei Sätzen zusammenfassen: A. Die Todtenstarre ist der Ausdruck der letzten Lebensthätigkeit der Muskelfaser, eine idiomuskuläre Bewegungsform (Schiff). B. Die Todtenstarre hat nichts mit den Lebenserscheinungen zu thun, sondern verdankt ihre Entstehung der Ausscheidung eines spontan gerinnenden Stoffes (Brücke). Auf der ersten Ansicht ruht, wenn auch nur der Schein einer vitalistischen Anschauung; die zweite steht ihr als rein mechanische gegenüber. Die erste Annahme lässt das Agens, welches starr macht, ganz unbezeichnet oder setzt stillschweigend und ganz allgemein die Summe von Bedingungen als nachwirkend voraus, welche die Thätigkeitsäusserungen des Muskels möglich machen; die andere begnügt sich, das anfänglich bloss vermuthete, später wirklich im Muskel nachgewiesene Coagulum, als solches zu bezeichnen, was den Muskel starr macht. Die Coexistenz von Starre und Coagulum kann für sich noch nicht darüber entscheiden, ob das Eine vom Anderen abhängt; diess musste erst bewiesen sein, und davon nahmen meine Untersuchungen ihren Ausgang.

Physikalisch kennzeichnet sich die Starre am Gesamtmuskel durch Veränderung seiner Elasticität. Er ist durch die gleichen Gewichte weniger dehnbar und nach gleichem Längenzuwachs durch die Dehnung weniger fähig die ursprüngliche Länge wieder anzunehmen, wenn die Ursachen der Dehnung entfernt worden sind. Das heisst also: seine Elasticität ist grösser und vollkommener geworden, als sie im frischen Muskel war. Der Muskel besteht aus wirklich elastischen und aus nicht elastischen weichen Gewebmassen. Die Wirkung dehnender Gewichte wird also immer von der vereinigten Widerstandsfähigkeit beider abhängen und nur diese können wir messen. Die Widerstandsfähigkeit des starren Muskels gegenüber der des frischen kann also geändert sein: durch die Zwischenlagerung eines vorher flüssigen, jetzt erstarrten, geronnenen Stoffes, ohne dass sich die des elastischen Gewebes verändert hat, oder durch die Veränderung der elastischen Muskelfaser für sich, oder durch beides zugleich.

So viel steht fest: spontan kann sich an der Faser die ursprüngliche Elasticität nicht ändern, sondern wenn diess geschieht, so müssen wieder entferntere Ursachen da sein, welche die Aenderung herbeiführen; mit der Bezeichnung „idiomuskulärer Akt“ ist also an sich auch noch nichts erklärt. Im Leben findet sich eine Anzahl von Bedingungen,

welche das Elasticitätsmass des lebendigen, aber ruhenden Muskels beherrschen; und dieses Mass ändert sich während des Lebens mit der Aenderung der Bedingungen, durch welche die Contraction herbeigeführt wird, und es ändert sich nach dem Aufhören des Lebens nicht nur ein - sondern dreimal ehe die riechbare Verwesung des Muskels eintritt in Folge der fortwährenden Aenderungen in den äusseren Verhältnissen, von welchen eben die jeweilige innere Constitution und somit auch die Elasticität der Faser abhängt. Denn die Functionsfähigkeit und die Elasticität der Faser ist wesentlich von der Natur des Muskelsaftes abhängig. Die Elasticität der Faser kann willkürlich in einem alle Voraussetzungen übertreffenden Mass bei gleichbleibenden Mengen des geronnenen Stoffes geändert werden, so zwar, dass man sofort erkennt: das Coagulum, als solches, kann weder durch seine Menge, noch durch seine eigene Cohärenz die Elasticität des Gesamtmuskels in dem hohen Grad ändern, als wir an dem exquisit todtenstarren Muskel wahrnehmen. Ebenso zeigt sich in den bei weitaus meisten Fällen die Elasticität wieder vermindert, der Muskel also wieder weich zu einer Zeit, wo das Coagulum noch nicht durch freies Ammoniak gelöst sein kann. Das Fleisch, welches wir essen, reagirt noch stark sauer und ist nicht mehr starr; es enthält noch genug coagulirten Stoffes in sich, wie wir an der hellrothen Farbe des Durchschnittes erkennen; ja dessen Menge kann noch grösser in diesem Stadium sein, als zur Zeit der ausgeprägten Todtenstarre.

Die Veränderung der Elasticität des starren Gesamtmuskels muss also zum grössten Theil von der Veränderung der Elasticität seiner Faser herrühren. Das Mittel zu diesen Aenderungen ist in dem Säuregehalt des Muskelsaftes gelegen, welcher je nach seiner Grösse verschiedene und entgegengesetzte Elasticitätsgrade herbeizuführen vermag.

Meine chemischen Untersuchungen hatten gelehrt, dass der Muskelsaft, vermöge seiner Zusammensetzung, im höchsten Grad die Neigung hat, unter Einfluss des ozonisirten Sauerstoffes, in saure Gährung überzugehen. Das Freiwerden der Säure wird aber durch den Strom des alkalischen Blutes verhindert, so lange bei regelmässigem Kreislauf der Muskel ruht. Die Alkalescenz des Muskelsaftes in diesem Zustand bedingt die kleinere und vollkommnere Elasticität der Faser. Wird die Neutralisirung der sich bildenden Säure verhindert, z. B. durch Unterbindung der Gefässe, oder wird die Säurebildung beschleunigt, wie durch vorübergehendes Tetanisiren durch geringe Wärmegrade, oder

geschieht beides zugleich, wie bei etwas längerem Tetanisiren, so muss dadurch die Elasticität der Faser eine Aenderung erfahren, welche sich in einer grösseren Dehnbarkeit während der Contraction und im allerersten Stadium der Todtenstarre äussert, und es geschieht diess durch die Minima der freien Säure, welche bekanntlich die Cohäsion der Faser bis zur Lösung verkleinern kann. Bei grösseren Mengen von Säuren, wie sie plötzlich in Temperaturen über 40° Cels. oder langsamer angehäuft in der exquisiten Todtenstarre angetroffen werden, wird die Faser rigide, die Elasticität also grösser. So wie durch beginnende Ammoniakentwicklung die Säure wieder abgestumpft wird, aber auch schon früher durch längere Maceration der Faser in der verdünnten Säure des Muskelsaftes, nimmt die Dehnbarkeit wieder zu, die Starre löst sich.

Keinesfalls stimmt der Zeitpunkt der eintretenden Erstarrung, noch die physikalische Beschaffenheit des Coagulum, noch dessen Menge in dem gewöhnlichen todtenstarrten Muskel mit dem Phänomen der äussersten Gliedersteifigkeit; denn zur Zeit, in welcher erwiesenermassen Coagulum im Muskel sich findet, ist er unwiederherstellbar getödtet; zur Zeit, wo er bedeutend starrer ist, als der gleichnamige Muskel desselben Thieres, in welchem noch mehr Blut vorhanden ist, ist er reizbarer als der Letztere. Coagulum und Starre kann also nicht zusammenfallen, wenn, wie erwiesen, Coagulation und Reizlosigkeit zeitlich zusammenfällt.

Aus Allem ersehen wir: Die Erscheinungen der Todtenstarre in ihren verschiedenen Stadien sind vorwaltend abhängig von der chemischen Beschaffenheit der Muskelflüssigkeit, deren Plus- oder Minusgehalt an Säure innerhalb bestimmter Grenzen verschiedene und einander entgegengesetzte Grade der Resistenz der Faser zu erzeugen vermag.

Die Todtenstarre ist das unvermeidliche Endglied eines Vorganges, welcher während des ganzen Lebens dauert, und dessen letzte Folgewirkung nur durch die Summe der normalen Lebensbedingungen verhütet wird. Näher rücken diese Wirkungen heran bei jeder Contraction, und können sich auf der Höhe des Tetanus bereits während des Lebens vollkommen entwickeln. Dann geht die Contraction unmittelbar in Lähmung, die Lähmung, bei fortgesetztem Tetanisiren, unmittelbar in Starre über. Unvermeidlich sind diese Wirkungen bei absolut höheren Temperaturgraden des Blutes (42 — 47° Cels.) und bei Entziehung der Blutzufuhr. Man hat aber die früheren Stadien der Starre, d. h. ihre Vorläufer streng von den späteren zu trennen, nicht als verschiedene

Vorgänge, sondern als verschiedene Wirkungen eines und desselben Vorganges: der Säurebildung. Geringste Mengen freier Säure machen die Faser bis zum Zerfallen weich, wie bei heftiger elektrischer Tetanisirung; grössere Mengen resistent, wie auf dem Höhepunkt der gewöhnlichen Todtenstarre, oder in der Wärmestarre. Längere Einwirkung der Säure macht die Faser wieder weich durch Maceration, wie bei der Verdauung des Fleisches, bei der Lösung der Starre vor der eigentlichen Fäulniss. Immerhin mag das ausgeschiedene Coagulum zu einer Aenderung der Elasticität des Gesamtmuskels beitragen, aber es kann deren Werth nicht allein bestimmen. Das Coagulum verhält sich vielmehr bloss wie ein Zuwachs zu den im Muskel auch ausserdem befindlichen, wenig resistenten Massen.

Somit erscheint die Todtenstarre als das Endglied eines während des Lebens vorbereiteten Vorganges, kann für sich aber nicht als ein vitaler Akt angesehen werden, zu welchem ja der Ueberzeugung Aller nach eben die ganze Summe der Lebensbedingungen gehört. Sie dagegen verdankt ihre Entstehung gerade dem Wegfall einer Reihe solcher Bedingungen. Es verhält sich damit gerade so, wie mit der Bildung von Ammoniak, Kohlensäure und Wasser, in welche Substanzen die stickstoffhaltigen Theile unseres Körpers das ganze Leben hindurch zu zerfallen drohen, und zerfallen, wenn die Mittel weggenommen sind, welche verhüten, dass es im lebendigen Organismus zur Bildung eben dieser Endglieder der chemischen Stoffmetamorphose kommt.

Es ist also allerdings der Vorgang der Gerinnung das, was die Todtenstarre herbeiführt; aber nicht das Gerinsel macht den Muskel starr, sondern eine bestimmte Säuremenge, welche dabei frei wird, verändert die Elasticität der Faser. Diese wird dadurch aber nicht zu einer solchen Art von Contraction angeregt, wie sie etwa während des Lebens durch einen beliebigen Reiz erzeugt werden kann, sondern zu einer davon ganz verschiedenen und von anderen Umständen abhängigen Elasticitätsänderung. Denn es verkürzt sich nicht nothwendig jeder Muskel, während er erstarrt, sondern kann in sehr verschiedenen Graden seiner ihm sonst gegebenen Länge starr werden und zeigt die gleichen Aenderungen seiner Elasticität auch in den spätesten Zeiten nach dem Verschwinden aller und jeder Reizbarkeit unter Anwendung der gleichen Mittel, welche während der Entwicklung, Akme und Lösung der Starre, den jeweiligen Elasticitätsgrad bedingt hatten.
