

Über den Einfluss der Temperaturänderungen auf Zahl, Dauer und Stärke der Herzschläge.

Von

Dr. E. Cyon.

(Mit 1 Tafel u. 8 Holzschnitten.)

Die Folgen, welche die Wärmeänderung für die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln nach sich zieht, sind schon wiederholt der Gegenstand eingehenderer Untersuchungen gewesen, namentlich haben sich *Eckhard* *), *Rosenthal* **), *Harless* ***) , *Schelske* †) und *AfanasiEFF* ††) Verdienste um vorliegenden Gegenstand erworben. Die Angaben der genannten Beobachter stimmen in vielen Punkten überein und ich glaube nicht fehl zu gehen, wenn ich das Resultat der bisherigen Studien in den Worten von *Rosenthal* †††) wiedergegeben finde, mit welchen er über die unter seiner Leitung entstandene Abhandlung von *AfanasiEFF* referirt.

»Erwärmung des Nerven steigert die Erregbarkeit, je frischer der Nerv ist, desto deutlicher ist diese Steigerung und desto länger hält sie an. Je höher die Temperatur ist, desto kürzere Zeit hält die Steigerung an. Stets folgt auf sie ein starkes Sinken, welches um so stärker ist, je höher die Temperatur; zuweilen wird es von einer zweiten geringfügigen Steigerung unterbrochen. Bei Temperaturen von 50° C. und darüber ist die erste Steigerung oft gar nicht mehr zu constatiren, Erwärmung über 65° R. vernichtet die Erregbarkeit fast augenblicklich.

*) Zeitschrift für rationelle Medicin 10. Bd. 1850.

**) Allgem. medicinische Centralzeitung 1859.

***) Zeitschrift für rationelle Medicin 8. Bd. 1859.

†) Über die Veränderungen der Erregbarkeit durch die Wärme. Heidelberg 1860.

††) *Reicherl's* und *du Bois' Archiv* 1865.

†††) Centralblatt für medicin. Wissenschaft 1866.

»Bei der plötzlichen Erwärmung von 35° auf 40° C. treten clonische Zuckungen, bei 40° bis 45° C. meist tetanische Zuckungen auf; sie können bis zu 1 Minute Dauer haben. Bei höheren Temperaturen sind die Zuckungen nicht constant und dauern nur kurze Zeit. Allmähliche Erwärmung bringt niemals Zuckungen hervor. — Abkühlung des erwärmten Nerven auf die Zimmertemperatur kann zuweilen die gesunkene oder ganz verloren gegangene Erregbarkeit wieder herstellen. Bei 40° C. ist dies vollkommen möglich, nach höheren Temperaturen um so besser, je früher die Abkühlung eintritt. Bei Temperaturen von 50° bis 65° C. kommt es vor, dass der absolut unerregbar gewordene Nerv seine Erregbarkeit nach längerer Abkühlung wieder erlangt, wenngleich nur in geringem Grade. — Die Abkühlung des Nerven verlängert die Dauer der Erregbarkeit; bis zu 0° bewirkt die Abkühlung ein Herabsetzen der Erregbarkeit, welche dann sehr lange constant bleibt. — Geschieht die Abkühlung schnell, so tritt zunächst Erhöhung der Erregbarkeit ein, welche allmählig in Verminderung übergeht, um so schneller, je niedriger die Temperatur ist. Unter 0° bis -4° C. fehlt die Erhöhung, die Erregbarkeit sinkt sofort auf ein Minimum, auf welchem sie sich sehr lange constant erhält und von welchem sie bei Erwärmung wieder ansteigen kann. Unter -4° bis -8° C. treten clonische Zuckungen auf, welche zwei Minuten dauern können. Die Erregbarkeit ist dann stark gesunken und erhält sich sehr lange constant. — Aus alle dem folgt, dass die Dauer der Erregbarkeit stets um so geringer wird, je höher die Temperatur, der Grad der Erregbarkeit dagegen um so grösser. Der natürliche Verlauf des Absterbens, das Ansteigen und nachherige Absinken wird durch Erwärmung abgekürzt, durch Erkältung verlängert«.

Harless lenkt auch noch die Aufmerksamkeit darauf, dass sich die optischen und elektrischen Eigenschaften des Nerven gleichzeitig mit der Reizbarkeit ändern, und ebenso weist er nach, dass die Erwärmung in trockner Luft von andern Folgen begleitet ist, als die in feuchter. Ich darf wohl die der ersteren übergeben, da sie offenbar, wie auch *Harless* angiebt, von dem Wasserverlust des Nerven herrühren. — *Schelske* hat nicht allein die Temperatur des Nerven, sondern auch die des Muskels geändert und die vom Muskel erhaltenen Zuckungen auf das Myographion aufzeichnen lassen. Bei längerer Einwirkung einer

Temperatur von 0° auf den Nerven wird die Zuckung niedriger und gedehnter; dasselbe geschieht, wenn der Nerv längere Zeit einer Temperatur von 36° C. ausgesetzt war. Bevor jedoch dieses eintritt, zeigt einige Minuten hindurch die Curve eine Steigerung ihrer Ordinaten.

Von dem Einfluss, welchen die Temperaturänderung auf das Herz ausübt, handeln *Calliburces* *) und *Schelske* **). Ersterer stellt fest, dass das Herz innerhalb des Thieres und auch ausgeschnitten durch Erhöhung der Temperatur zu rascheren Schlägen veranlasst wird, auch spricht er beiläufig davon, dass sich das Herz in höherer Temperatur anders zusammenziehe, als in niederer.

Schelske erweiterte diese Erfahrungen durch eine grössere Zahl wichtiger Thatsachen. Die erste derselben besteht darin, dass die automatischen Bewegungen des Herzens durch Temperaturen unter 0° und solche, die zwischen 36° und 40° C. liegen, in einen Scheintod gerathen, aus welchem sie durch Zurückführung in die Normaltemperatur wieder erweckt werden können. Und da er ferner zeigt, dass ein von der höheren Temperatur stillgestelltes Herz durch elektrische Reize in Zuckungen versetzt werden kann, so schliesst er folgerichtig, dass das Herz darun ruht, weil die automatischen Erreger oder, wie er sagt, die Ganglien als Centralstellen der rhythmischen Bewegung gelähmt wurden. Wenn aber die Lähmung eingetreten, so müsste nach der gegenwärtig herrschenden Ansicht über die Hemmungswirkung des nervus vagus dieser Nerv in ein anderes Verhältniss zum Herzen kommen, da die in ihm auftretenden Erregungen nicht mehr mit denen der Ganglien interferiren könnten. In Folge dieser Betrachtung prüfte er den n. vagus und fand, dass eine Reizung desselben am erwärmten Herzen Zuckungen hervorrufe, während sie am normal temperirten Stillstand bedingt hatte. Beiläufig fügt er noch hinzu, dass ein mit Curare vergiftetes Herz durch Reizung des n. vagus wieder zur Bewegung veranlasst werden könne, wenn es (nahe vor seinem natürlichen Absterben) zur Ruhe gekommen sei.

An die Arbeit von *Schelske* schliesst sich die meine an. Aus mehrfachen Gründen ist es der Mühe werth, die Änderun-

*) Claude Bernard système nerveux II. Bd. 392.

**) l. c. p. 17.

gen, welche der Herzschlag mit der variablen Temperatur erleidet, noch genauer zu verfolgen, als es bisher geschehen. Zu dem Ende brachte ich, nach dem Rath des Herrn Prof. [?]Ludwig, mit den Gefässen des ausgeschnittenen Froschherzens einen gläsernen Kreislauf in Verbindung, in welchem ein kleines Quecksilbermanometer eingeschaltet war und füllte, um die Bewegungen des Herzens auf das Manometer zu übertragen, die Höhlen des Herzens und der Glasröhre mit Serum von Kaninchenblut; Herz und Kreislauf wurden alsdann in einen Raum gesetzt, der mit Leichtigkeit auf den gewünschten Temperaturgrad gebracht und beliebig lange darauf erhalten werden konnte. Der Apparat, zu dessen genauerer Beschreibung ich übergehe, ist in Fig. 4 zum Theil im Durchschnitt, zum Theil perspectivisch, und zwar in natürlicher Grösse abgebildet.

Das Manometer (*a* bis *f*) ist zum Theil aus einem Glasröhrchen, zum Theil aus einem Platinröhrchen hergestellt; das letztere, welches eine T-Form besitzt, ist in den dem Herzen zugewendeten Manometerschenkel eingelackt, und auf das freie Ende (*d*) dieses Metallröhrchens ist eine enge Kautschukröhre aufgesetzt. Diese kleine Einrichtung dient dazu, um das sehr enge Manometerrohr, soweit es kein Quecksilber enthält, mit Serum füllen und dann auch wieder verschliessen zu können. Diese Absicht wird erreicht, wenn man eine kleine mit Serum gefüllte Glasspritze in den Kautschuk einschiebt; ist durch dieses das Manometer gefüllt, so wird mit einer kleinen Klemme der Kautschuk geschlossen. Um die übrigen nothwendigen Eigenschaften des Manometers nicht zu beeinträchtigen, darf natürlich das Quecksilber nicht bis in das Platinrohr hineinreichen; also ist dafür zu sorgen, dass das in der Fortsetzung des Platins nach unten gelegene Glasstück lang genug ist, um die Hälfte des zum Versuch nothwendigen Quecksilbers zu beherbergen.

Auf die Maasse des Manometers und seine Leistungsfähigkeit komme ich später zurück.

Den zweiten Theil des Apparates nenne ich das Verbindungsstück, weil er die Herzhöhlen einerseits mit dem Manometer und andererseits mit dem gläsernen Kreislauf in Communication bringt. Das Röhrenwerk, aus dem er sich zusammengesetzt, ist theils in die Seitenwände und theils in den Boden des grössern Metallcylinders (*g h i k*) eingelöthet. — Dieses

Stück besteht zunächst aus zwei geraden Metallröhrchen, die parallel zu einander den Boden (tm) des Metallcylinders in einer Entfernung von etwa 12 Mm. durchbohren. Das eine derselben oo ist das kürzere, das andere pp ist nicht allein länger, sondern es gehen auch noch zwei Zweigröhrn aus ihm hervor. Die untere dieser Abzweigungen qrs läuft schräg ompor und durchsetzt bei r die Wand des Cylinders, so dass ihre freie Mündung ausserhalb desselben hervorrägt. Durch diese Öffnung kann ein feinstes Thermometer von Geissler so tief eingeschoben werden, dass sein Quecksilbergefäss bis zu q hinabreicht. Etwas höher als die eben beschriebene Röhre läuft ein zweites Röhrchen lu unter rechtem Winkel ab; dieses durchbohrt die Wand gi des Cylinders, auf seine freie Mündung u konnte mittelst Kautschuk das Manometerende f aufgestellt werden. An dem Ort, wo pp und ul zusammentreffen, ist ein T-förmiger durchbohrter Hahn eingeschaltet. Durch entsprechende Drehung dieses Letztern ist man im Stande, den untern Abschnitt der Röhre pp beliebig entweder mit dem obern Abschnitt der genannten Röhre, oder mit dem queren Stück lu in Verbindung zu setzen. — An das so eben beschriebene Verbindungsstück schliesst sich nach oben der gläserne Kreislauf an, der aus dem Glasbogen vwz besteht. Die freien Enden v und z desselben können mittelst Kautschukröhrchen durch die obere Lichtung (hg) des Cylinders auf die oberen Enden der Röhrchen o und p gesteckt werden.

An das untere Ende des Verbindungsstücks schliessen mittelst Kautschukröhren zwei Canülen, welche, wie man sieht, aus der linken Aorta und der vena cava inferior hervorkommen. Die beiden Canülen sind so gebogen, dass sie ohne Zerrung des Herzens auf die untern Enden von o und p gesteckt werden können. Ist das Herz auf diese Weise an das Verbindungsstück befestigt, so schiebt man über dasselbe den Cylinder $ABCD$. Die innere Höhle dieses Cylinders ist von doppelten Wänden umgeben, die durch einen Zwischenraum von einander getrennt sind. In diesen hinein münden die beiden Röhren E und F , so dass eine Flüssigkeit, welche durch F zwischen die beiden Wände des Cylinders eindringt, durch E wieder abfliessen kann. Die beiden Wände sind ausserdem an je zwei einander gegenüberliegenden Stellen ausgeschnitten, und in diese Fenster sind Glasscheiben mit Kautschukbändern befestigt. Durch diese letzteren kann man das Herz beobachten, wenn es in den Cylind-

der *ABCD* eingeschlossen ist, oder man kann nach Entfernung eines Fensters durch die Öffnung Reizungsdrähte zum Herzen führen. Der eben genannte Cylinder ist an seiner nach oben liegenden Mündung von einem breiten Metallrand umgeben, der an den Boden *tm* passt. Der Ring kann an diesem Boden durch ein paar Stifte *GG* befestigt werden. Ist auch dieses geschehen, so steckt man endlich die Metallfassung *HH* des Glaszylinders *IKLM* auf *hg*, in welche sie wasserdicht einpasst; alsdann verbindet man die Röhre *N*, die aus der Hülse des Verbindungsstücks hervorgeht, durch einen Kautschukschlauch mit der Röhre *F*. Eine Flüssigkeit, welche durch die Mündung *LK* in den Apparat eingeht, wird also zunächst durch das Glasrohr *IKLM*, dann durch das Verbindungsstück und endlich zwischen der Doppelwand des Cylinders fließen, in dessen innerem Hohlraum das Herz gelegen ist.

Um innerhalb des Apparates das Herz und seinen Inhalt auf die gewünschte Temperatur zu bringen, verfuhr ich auf verschiedene Weise, je nachdem ich beabsichtigte, tiefer oder höher als 0° zu gehen. Sollte die Abkühlung unter 0° sinken, so steckte ich ein besonders zu diesem Zweck mit einer Mischung von Eis und Kochsalz gefülltes Gefäß (*ABCD*) um das Herz und füllte in das Rohr *IKLM* Wasser, in welchem Eisstücke schwammen. Dem Hahn bei *l* wurde dann die Stellung gegeben, bei welcher der Kammerinhalt aus der Aorta durch den Glasbogen in die vena cava zum Vorhof zurückfließen musste. Die Flüssigkeit, welche im Glasrohr circularte, nahm in Folge ihres geringen Durchmessers sehr bald die Temperatur von 0° an, und da das Herz sich in einem Luftraum befand, dessen Temperatur von den eisigen Wänden, die es umschlossen, um mehrere Grade unter 0° erkältet wurde, so sank auch die Temperatur des Herzens alsbald tiefer als 0° . Für die rasche Abkühlung ist es sehr förderlich, dass die Wandungen der Herzkammer beim Frosch so äusserst dünn sind und somit dem Durchgang der Wärme einen geringen Widerstand entgegensetzen.

Die Herbeiführung von Temperaturen über 0° lässt sich viel bequemer ausführen und zwar mit Hilfe eines Wasserstromes. der durch ein Glasrohr in das Gefäß *IKLM* eingeleitet wird und der dann, indem das genannte Gefäß immer gefüllt bleibt, durch das Verbindungsstück nach *GNFD*, von da in den Zwischenraum des doppelwandigen Gefäßes *ABCD* und von hier

durch das Rohr *E* abfließt. Auf das Ausflussrohr *E* ist mittelst Kautschuk ein Glasrohr gebracht, dessen unteres Ende vermöge eines angesteckten Kautschukrohres und einer um dieses gelegten Klemme beliebig verengt werden kann. Durch gleichzeitige Regulirung des Zu- und Abflusses gelingt es, den Stand des Wassers innerhalb des Apparates während der Versuchsdauer nahezu gleich zu erhalten. Will man dem Wasser, das man durch den Apparat leitet, eine ganz bestimmte, bis auf den Grad genaue Temperatur geben, dann ist es nothwendig, dasselbe vorher in einem grössern Eimer auf den verlangten Grad zu mischen und dasselbe aus dem Gefäss in den Apparat einfließen zu lassen. Will man also der Reihe nach eine Anzahl von verschiedenen Wärmegraden auf das Herz wirken lassen, so ist man gezwungen zugleich mehrere der grössern Zuflussgefässe bereit zu halten. Diese Art von Vorbereitung zur Herbeiführung der gewünschten Temperatur habe ich aus mehrfachen Gründen nur selten angewendet. Statt dessen stellte ich gewöhnlich auf zwei Ständer, und zwar in einer Höhe von einigen Fuss über dem Apparat zwei grössere Wassergefässe auf, von denen das eine mit eiskaltem, das andere mit kochendem Wasser gefüllt war. Beide Gefässe waren mit Abflussröhren und je einem Hahn versehen und sie mündeten beide in ein Gabelrohr, dessen dritte Öffnung mit der Glasröhre in Verbindung stand, die in den obern Theil des Apparates eintauchte. Man sieht, dass auf diese Weise die verschieden erwärmten Flüssigkeiten zu einer solchen von mittlerer Temperatur gemischt werden konnten, und dass nach dem Verhältniss des Zuflusses von beiden Seiten die resultirende Temperatur beliebig höher oder niedriger gemacht werden konnte. Bei dieser Art zu mischen ist es nothwendig, durch ein Thermometer, welches man in das obere Glasgefäss (*I K L M*) einsteckt, die Temperatur in dem Letzteren zu controliren.

Wenn das Thermometer, welches bei *q* in dem Serum steckt, auf dem gewünschten Temperaturgrad angelangt ist, so dreht man mittelst eines Stäbchens den Hahn so um, dass die Herzhöhle mit dem Manometer communicirt, worauf das Aufschreiben der Curven beginnen kann. Bei der Einrichtung, welche der Zeichnung entsprechend mein Apparat besass, musste der Zeitraum, innerhalb dessen das Aufschreiben der Curven stattfand, öfter kürzer ausfallen, als ich gewünscht hätte. Dieses gilt namentlich für alle Beobachtungen, bei welchen die Temperatur

des Herzinhaltes höher steht, als die der äussern Luft. So wie dies der Fall, wird sich der kühlere Inhalt des horizontalen Manometerschenkels in das Herz hinabsenken und dessen Temperatur erniedrigen. Selbstverständlich wird diesem Übelstand durch eine kleine Abänderung des Apparates leicht abzuhelfen sein.

Statt des bis dahin beschriebenen complicirtern Erwärmungsapparates kann man auch einen viel einfachern anwenden. Sehr häufig habe ich die vena cava zugebunden, und nur in die Aorta ein gerades Röhrchen von mehreren Centim. Länge eingesetzt und dieses vermittelt eines Knies an das Manometer gebracht. Um das Herz hing ich alsdann ein cylindrisches unten geschlossenes Metallcylinderchen, welches gerade weit genug war, um das Herz nirgends zu berühren. Die obere Öffnung bedeckte ich mit einem Stück Pappe, das zum Behuf des Röhrendurchgangs mit einem Ausschnitt versehen war. Dadurch, dass ich den Metallcylinder in Eis oder in Wasser verschiedener Temperatur eintauchte, war ich im Stande auch das Herz beliebig zu erwärmen. Zu sehr raschen Temperaturänderungen eignet sich diese Einrichtung allerdings weniger. Sie hat auch den Nachtheil, dass man mit geringern Mengen von Serum arbeiten muss; in Folge dessen wird es nöthig den Herzinhalt öfter zu wechseln.

Die Art und Weise, wie das Serum in das Herz unter Vermeidung von Luftblasen einzubringen ist, wird keiner weitern Beschreibung bedürfen. Mit einer Spritze kann dieses auf verschiedene Weise geschehen. Über das Manometer, den Gebrauch des Serums und die Behandlung des Herzens muss ich dagegen noch Einiges mittheilen.

Manometer. Das Rohr desselben hat einen Durchmesser von 2,4 Mm. Bleibt man bei diesem Durchmesser stehen, wozu ich in Ermangelung eines gleichmässig weiten und noch enger gezwungen war, so muss man zu seiner Füllung mindestens 3 Gramm Quecksilber anwenden. Über diese Zahl bin ich nie gekommen. Zu ihrer Verwendung ist man der Excursionen des Herzschlags wegen gezwungen, denn diese nehmen bei einem grossen und kräftigen Herzen über 30 Mm. von der Länge meines Rohres ein, und erzeugen demnach einen Druck von über 60 Mm. Der aufgesetzte Schwimmer wog 0,9 Gramm: seine Führung an der Trommel wurde bewirkt durch einen Co-

confaden, der durch ein starkes Schrot gestreckt senkrecht vor dem parallel gestellten Manometerrohr und der Trommel herabhängt. Diese Führung, deren sich Prof. *Ludwig* seit mehreren Jahren bedient, erzeugt eine so geringe Reibung, dass der Schwimmer trotz seines geringen Gewichts beim Absteigen niemals hinter der Quecksilberoberfläche zurückbleibt. Um über die Leistungen des Manometers ins Klare zu kommen, stellte ich folgende Versuche an.

Zuerst bestimmte ich den Gang der Eigenschwingung. Die Reibung, welche in einem so engen Rohr stattfindet, ist begreiflich eine sehr beträchtliche. Dies drückte sich bei der Prüfung der Eigenschwingungen sogleich dadurch aus, dass das in Bewegung gesetzte Quecksilber nach zwei ganzen Schwingungen wieder zur Ruhe kommt, selbst wenn das Manometerrohr beiderseits vom Quecksilber nur Luft enthält. Bei der ebengenannten Füllung des Manometers lief eine ganze Schwingung in 0,49 bis 0,20 Secunden ab.

Nächst dem bestimmte ich die Zeit, welche das Quecksilber zur Ausgleichung eines Niveauunterschieds in beiden Röhrenschenkeln dann bedarf, wenn es diese, ohne dass eine Eigenschwingung eintritt, ausführt. Um das Quecksilber zu diesem Bewegungsmodus zu veranlassen, verfährt man folgendermassen: Nachdem das Quecksilber eingebracht war, füllte man das Stück desselben, welches nach dem Herzen hinsieht, mit Wasser; vor das freie Ende des wasserhaltigen Schenkels steckt man alsdann ein enges Kautschukrohr und legt um dieses eine Schraubeklemme, die auf einer festen Unterlage ruht. Mit Hilfe der Klemme ist man in den Stand gesetzt, die Lichtung des Kautschuks beliebig und sehr fein abgestuft verengern zu können. Die freie Mündung des Kautschuks wird dann durch ein ange-setztes kurzes Glasröhrchen in eine Schale unter Wasser getaucht. Nachdem der Apparat in dieser Weise hergerichtet ist, bringt man vom freien Ende des T-förmigen Stücks her einen Niveauunterschied des Quecksilbers in den beiden Schenkeln hervor, während man die Öffnung des unter Wasser tauchenden Glasröhrchens mit dem Finger gut schliesst; indess wird auch die Klemme so weit geöffnet, dass nur ein capillarer Spalt im Kautschukrohr übrig bleibt. Hierauf entfernt man, nachdem die Feder des Manometers an der Trommel angelegt wurde, ganz plötzlich den Finger von der Mündung des Glasröhrchens,

so dass die Ausgleichung des Spiegelunterschiedes beider Quecksilberkuppen erfolgen kann. Je nachdem die Klemme eingestellt war, vollführt nun das herabfallende Quecksilber entweder noch eine Eigenschwingung, oder es gleicht sich der Niveauunterschied ohne eine solche aus. Durch sorgfältiges Reguliren der Klemme kann man es nun alsbald dahin bringen, dass das Quecksilber mit einer Geschwindigkeit herabfällt, bei welcher keine Eigenschwingung mehr zu Stande kam, die aber, wäre sie um mehrere Hunderttheile einer Secunde vermehrt worden, noch zu einer Eigenschwingung geführt haben würde. Die Höhe, von welcher man das Quecksilber herabfallen lässt, mit anderen Worten, die Grösse des Niveauunterschiedes ist den vorliegenden Erfahrungen entsprechend von geringem Einfluss auf den genannten Zeitwerth. Um aber allen Einwendungen auszuweichen, habe ich den vorstehenden Versuch bei einem Spiegelunterschied ausgeführt, der nie weniger als 30 Mm. betrug. Die Zeit, welche zur Herstellung der Gleichgewichtslage ohne Eigenschwingung nothwendig war, betrug 0,34 Secunden.

Die Bedeutung, welche der eben ausgeführten Bestimmung zukommt, ist einleuchtend. Wenn das Quecksilber, während es mit dem Herzen in Verbindung steht, aus seiner Gleichgewichtslage oder in dieselbe langsamer aufsteigt oder absinkt, als 0,34 Secunden, so müssen ausserhalb des Manometers die Triebkräfte oder Widerstände so beschaffen gewesen sein, dass von ihnen die geringere Geschwindigkeit der Spiegeländerung abhängt. Wäre in der That eine plötzliche Änderung der Druckkräfte eingetreten, so hätte das Quecksilber weniger als 0,34 Secunden verbrauchen müssen, um von der höchsten zur niedrigsten Stellung oder umgekehrt überzugehen. So wie aber solche Anordnungen der Kräfte vorhanden sind, die eine grössere Ausgleichungszeit verlangen, so ist auch das Quecksilber am Ende jener Zeit auf dem Stande angelangt, der dem im Herzen vorhandenen Druck entspricht. Aus dieser Auseinandersetzung darf, wie ich glaube, gefolgert werden, dass das Manometer, welches ich angewendete, die Maxima und Minima der vom Herzen gelieferten Drücke richtig anzeigt, so lange die Zahl der Schläge 80 in der Minute nicht übersteigt, wobei noch vorausgesetzt wird, dass sich der Auf- und Niedergang einer Schlagcurve gleichmässig in die ganze Zeit theilt.

Zum weiteren Beweise, dass bei der eben angegebenen

Schlagzahl das Absinken und Aufsteigen des Quecksilbers mit Widerständen geschah, die vom Herzen ausgingen, kann ich noch die Thatsache vorführen, dass die auf die Trommel gezeichneten Drucklinien in diesen Fällen niemals Erhebungen und Senkungen in dem Abstände zeigten, wie sie der Periode der Eigenschwingung nach hätten sichtbar sein müssen, und doch hätten in diesem Fall auf ein Ab- und Aufsteigen mehrere solcher Eigenschwingungen eintreten müssen.

Aus dem Fehlen der Eigenschwingungen in dem absteigenden Curvenschenkel lässt sich schliessen, dass die diastolische Erweiterung des Herzens nicht plötzlich geschieht, und dass die Widerstände, welche die in das Herz zurücktretende Flüssigkeit zu überwinden hat, viel grösser sind als diejenigen, welche ihr in den Röhren des Manometers selbst entgegenstehen. Dieses gilt auch noch für das todte Herz, das man mit einer concentrirten Kochsalzlösung, die bekanntlich die Muskelstarre aufhebt, angefüllt hat. Um mich von dem Verhalten desselben zu überzeugen, unterband ich seine Venen und eine der Aorten, setzte in die andere eine Cantile und füllte dann mit Ausschluss von Luft das Herz und das Manometer bis zum Quecksilber mit Kochsalzlösung. Nachdem ich hierauf Herz und Manometer verbunden, erhöhte ich den Druck in diesem System um einige Millimeter über den Nulldruck, legte nun das Herz auf eine feste Unterlage, drückte plötzlich mit dem Finger auf dasselbe und entfernte darauf ebenso plötzlich denselben. Auf diese Weise erzeugte ich Schwankungen von 60 bis 70 Mm. Niveauunterschied des Quecksilbers. Die Zeit, innerhalb welcher der zeichnende Stift wieder auf das ursprüngliche Rohr herabsank, schwankte in den verschiedenen Fällen zwischen 1,3 und 1,6 Secunden. Die Zeit, welche die Ausgleichung der Niveaudifferenz im Manometer ohne das vorgelegte Herz bedurfte, ist also 7 bis 8 mal kürzer, eine Thatsache, die den obigen Ausspruch über das Verhältniss zwischen den Widerständen des Manometers und des Herzens vollkommen bekräftigt.

Nicht anders verhält es sich, wie wir sehen werden, mit dem aufsteigenden Schenkel einer Curve, welche durch einen Herzschlag veranlasst ist. Auch er steigt gewöhnlich viel langsamer auf, als es der Fall sein müsste, wenn das Herz das Maximum seines Drucks plötzlich annähme. Geschähe aber auch das Aufsteigen rascher, so würde man doch kein merkliches Übersteigen des

Quecksilbers über den wahren Druckwerth im Herzen zu fürchten haben. Denn die Trägheit des Quecksilbers wird an der Steifheit der contrahirten Herzwand einen ausreichenden Widerstand finden.

Aus alledem darf man wohl schliessen, dass die Curve, welche das Manometer zeichnet, sehr annähernd auch der Zeit nach congruent ist mit dem Gang der Drücke im Herzen.

Übersteigt dagegen die Schlagzahl des Herzens 80 in der Minute, oder liegen zwischen den seltnern Schlägen längere Pausen, so dass auf die Quecksilberbewegung weniger als $\frac{1}{30}$ Secunde kommt, so giebt der vom Manometer angezeigte Druck nicht mehr denjenigen richtig an, welcher im Herzen stattfand. War die Zahl der Herzschläge über diesen genannten Werth gestiegen, so wird der vom Manometer verzeichnete Minimaldruck höher als der im Herzen vorhandene sein, und umgekehrt verhält es sich mit dem Maximaldruck. Sind aber die einzelnen Acte der Herzbewegung rascher als in 0,34 Secunden vollendet, so muss es zu Eigenschwingungen kommen. In der That habe ich diese mehrmals am Ende der Diastolen wenn auch schwach, aber doch deutlich beobachtet. Den ausgeprägtesten Fall giebt einer der dieser Abhandlung eingedruckten Holzschnitte wieder.

Um einen Ausgangspunkt für die Ausmessung der Drücke zu gewinnen, verfuhr ich in der Art, dass ich vor der Verbindung des Manometers mit dem Herzen zuerst den Nullpunkt des Quecksilberstandes ausmittelte, wobei ich natürlich die Stellung berücksichtigte, welche das Herz nach seiner Verbindung mit dem Manometer einnahm. Zu dem letztern Ende brachte ich an dem horizontalen Manometerschenkel ein absteigendes Röhrchen an, welches möglichst genau bis zu der Tiefe herunterstieg, in welcher sich später die Spitze des Herzens befand. Nachdem die Linie des Nullpunktes auf die Trommel gezogen war, verband ich das Herz mit dem Manometer und füllte vom hervorstehenden Arm des Platinrohrs aus noch etwas Serum in das Herz. Diese Überfüllung, welche ich später noch rechtfertigen werde, bedingte eine elastische Spannung des Herzens, die in der Regel zwischen 5 bis 12 Mm. Quecksilber schwankt.

Serum. Um den Druck auf das Manometer zu übertragen, den das ausgeschnittene Herz bei seiner Zusammenziehung entwickelt, muss dasselbe mit einer Flüssigkeit gefüllt werden.

Selbstverständlich eignet sich zu diesem Ende nur eine solche, welche die Lebenseigenschaften des Herzens möglichst lange unversehrt erhält, also zunächst defibrinirtes Froschblut, da dieses voraussichtlich die Zusammensetzung der Muskel- und Nervenmasse nicht alterirt, und da es auch die durch die Bewegung entstandenen Verluste zu ersetzen und die Wirkungen der Zersetzungsproducte unschädlich zu machen vermag. Trotz alledem habe ich alsbald auf seine Hilfe verzichtet. Kleine Mengen desselben genügen nicht für einen stundenlangen Versuch, weil es innerhalb des schlagenden Herzens alsbald seine erfrischenden Eigenschaften verliert. Grössere Mengen sind aber schwierig zu gewinnen.

Da das ausgeschnittene blutleere Herz des Frosches bekanntlich noch lange schlägt, so scheint es fast, als ob es genüge, statt einer ernährenden eine indifferente Flüssigkeit anzuwenden, z. B. eine verdünnte Kochsalzlösung. Obwohl sie in einzelnen Fällen sich brauchbar erwies, so starben doch auch viele Herzen rascher, als es sonst gewöhnlich ist, in ihr ab. Nachdem sich Serum von Hundeblood fast als giftig erwiesen hatte, bin ich bei Serum aus Kaninchenblut stehen geblieben. Aus einem tödlichen Aderlass eines Kaninchens kann man die für zwei, drei und mehr Versuche genügende Serummengende gewinnen; zudem bleibt das Serum über mehrere Tage hinaus brauchbar, besonders wenn es in Eis gehalten wird.

Welche Rolle das Serum dem Herzen gegenüber spielt bedürfte einer eigenen Untersuchung. Keinesfalls ist es indifferent, ebenso wenig aber auch vermögend, unter allen Umständen einem matten Herzen zu einem kräftigen Schlag zu verhelfen. Wenn dagegen das ausgeschnittene Herz ursprünglich kräftig schlägt, so kann das Serum einer Ermüdung desselben lange Zeit hindurch vorbeugen. Diese Wirkung des Serums habe ich oft beobachtet. Ein Herz, das nach der Füllung mit Serum kräftige Schläge ausführt, büsst jedesmal nach einiger Zeit an seiner Schlagkraft ein: es kann aber diese letztere wieder auf ihr früheres Mass hergestellt werden, wenn der Inhalt des Herzens entleert und statt des alten, neues Serum eingefüllt wird.

Da demgemäss eine kleine Menge von Serum auch nur während kurzer Zeit die Lebenseigenschaften des Herzens erhalten kann, so wird es, vorausgesetzt, dass dieses andere Versuchsbedingungen gestatten, immer zweckmässig sein, möglichst

grosse Mengen von Serum in das Röhrenwerk zu bringen, welches mit dem ausgeschnittenen Herzen communicirt und dabei zugleich einen Strom in der Flüssigkeit einzuleiten, durch welchen der Herzhalt fortwährend mit dem übrigen Serum gemischt wird. Dieses wird sicher erreicht, wenn man das Serum in einem Kreis herumführt, der von der a. aorta zur ven. cava inf. und von da wieder zum Ventrikel geht; dieses habe ich in den meisten und namentlich in allen der Zeit nach spätern meiner Versuche gethan.

Ausser den erhaltenden hat das Serum auch sogenannte reizende Eigenschaften. Jedesmal, wenn in einem Herzen das verbrauchte durch neues Serum ersetzt wird, schlägt das Herz eine halbe bis einige Minuten hindurch sehr kräftig; nach Verfluss dieses Zeitraums der Aufregung pflegt ein zweiter zu folgen, der öfter eine bis zwei Stunden dauert. In diesem bleibt sich, insofern die übrigen Bedingungen unverändert sind, der Herzschlag nach Zahl und Umfang annähernd gleich, allmählig aber werden dann die Excursionen niedriger und ziehen sich mehr in die Länge. Tritt dies ein, so muss das alte durch frisches Serum ersetzt werden.

Die Behandlung des Herzens. Entweder wurde nur in einen Zweig der Aorta oder in diese und die untere Hohlvene ein Manometer eingesetzt. Will man die Wirkung des Ventrikels allein beobachten, so ist es nothwendig, die Canüle durch den bulbus aortae hindurch bis zu der Ventrikelmündung zu schieben; ohnedies sieht man in der gezeichneten Curve auch noch die Folgen von der Zusammenziehung der Aortazwiebel ausgeprägt. Für die Beobachtung der Leistungen, welche der Ventrikel hervorbringen vermag, ist es ganz gleichgiltig, ob man eine Canüle mit einem Zuflussrohr auch noch in die Vene eingebunden hat oder nicht. Während der Zusammenziehung der Herzkammer schliesst sich ihre Vorhofsmündung vollkommen ab, eine Thatsache, die man leicht dadurch feststellen kann, dass man das Herz mit zwei Manometern in Verbindung setzt, von denen der eine durch die Aorta mit der Kammer, der andere durch die untere Hohlvene mit dem Vorhof in Verbindung steht. Man sieht alsdann, dass während der Kammerbewegung das Vorhofsmannometer vollständig unbewegt bleibt, woraus unmittelbar der Schluss folgt, dass kein Theil des Herzhaltens zu jener Zeit in den Vorhof zurücktritt.

Die Anfüllung des Herzens mit Blutserum muss so weit getrieben werden, dass auch in der Diastole die Wandungen unter dem Druck von einigen Millimetern Quecksilber ruhen. Denn nur dadurch wird man es erreichen können, dass das Herz auch während seiner grösstmöglichen Zusammenziehung noch einige Tröpfchen von Flüssigkeit enthält. Diese Vorsichtsmassregel schien mir nothwendig, weil sonst der ganze Druck, den das Herz zu entwickeln vermag, nicht unter allen Umständen auf das Manometer übertragen werden kann.

Wenn das Serum, sei es durch Aufnahme von Zersetzungsproducten oder durch den Verlust einiger Bestandtheile, sein Vermögen eingebüsst hat, die Reizbarkeit von Nerv und Muskel zu erhalten, so muss man das Herz und den Apparat mit frischem Serum speisen. In sofern man nun das Herz nach der neuen Füllung zu Beobachtungen benutzen will, die mit denen der früheren vergleichbar sein sollen, muss dasselbe möglichst genau wieder auf dieselbe Ausdehnung in der Ruhe gebracht werden. Dieses kann nun auch mit Hilfe des Manometers geschehen, denn man hat ja nur nöthig, den Apparat so weit zu füllen, dass das Manometer in der Diastole einen ebenso grossen Spiegelunterschied seiner Schenkel darbietet wie früher.

Die Beobachtungen, deren Resultat ich mitzuthemen im Begriff bin, lassen eine grössere Zahl von Messungen zu, namentlich die des höchsten oder niedrigsten und des mittleren Werths des Drucks, welchen das Herz erzeugen, beziehungsweise ertragen kann, ferner die Zeiten der Pausen und diejenigen des Auf- und Abgangs zwischen dem Minimum und dem Maximum der Zusammenziehung. Die genannten Werthe sind veränderlich mit den natürlichen Besonderheiten des Herzens und denen des angewendeten Serums, ausserdem aber auch mit der Temperatur und anderen willkürlich veränderlichen Bedingungen. Um die Abhängigkeitsverhältnisse, welche zwischen diesen letztern und den zuerst genannten Werthen bestehen, aufzuklären, ist es nothwendig, sie der Reihe nach die eine als Function der anderen zusammenzustellen. Dieses Unternehmen führt zu einer grossen Zahl von Specialuntersuchungen, von denen ich nur diejenigen mittheile, welche zu Ergebnissen führten, die nicht allein constant, sondern auch, wie es scheint, wichtig für die Herzthätigkeit sind.

A. Allmähliche Änderung der Temperatur. Eine solche nehme ich an, wenn der Übergang von irgendeinem zu einem

anderen in der Nähe gelegenen Temperaturgrad mehrere Minuten in Anspruch nimmt. Auf dem Temperaturgrad, den man zu ertheilen wünschte, verweilt dann das Herz nur so lang, als nöthig war, um die gewünschte Beobachtung auszuführen. Auch hierzu waren in der Regel nur wenige Minuten nothwendig. Dem entsprechend geben meine Beobachtungen keinen Aufschluss über die Änderungen, welche durch ein nach halben bis ganzen Stunden andauerndes Verweilen des Herzens in Temperaturen, die von der Norm abweichen, erzeugt werden.

1. Änderung der Schlagzahl mit der Temperatur. Das Herz bewahrt seine Fähigkeit automatisch zu schlagen nur so lange, als es innerhalb gewisser Temperaturgrenzen verweilt. Es kommt zur Ruhe, wie dieses *Schelske* zuerst angegeben hat, wenn jene Grenzen nach unten oder oben überschritten worden sind. Die genaueren Gradzahlen, in welchen die automatische Schlagfähigkeit bewahrt wird, lassen sich jedoch allgemein nicht angeben. Einige Herzen hören bei 0° , andere bei -4°C . auf; noch unbestimmter ist die obere Grenze, sie variirt zwischen 30 und 40°C . Durchläuft das Herz das Temperaturintervall, welches zwischen den Grenzen der Ruhe liegt, so geht die Schlagzahl durch ein Maximum hindurch. Die Art, wie es dieses Maximum erreicht und wieder von ihm absinkt, zeigt in allen Fällen, die ich beobachtete, eine unverkennbare Gesetzmässigkeit. Eine schematische Darstellung von dem Gang der Erscheinungen habe ich in der folgenden Curve zu geben versucht; die Abscisse derselben hat man sich nach Graden der thermometrischen Scala getheilt zu denken. Und zwar liegen die niedern Temperaturgrade nach links hin. — Die Ordinaten zählen die Herzschläge in der Zeiteinheit.

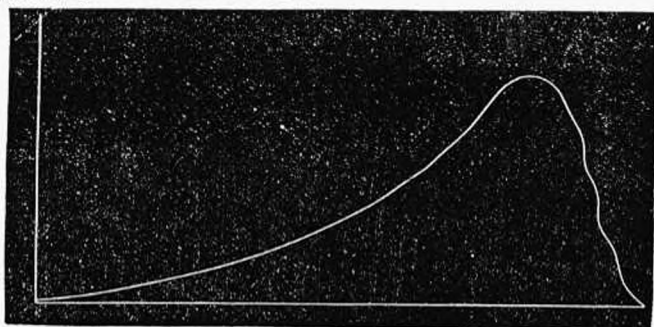


Fig. 4.

Diese Curve sagt aus, dass von der untern Grenztemperatur an die Schlagzahl erst sehr langsam, dann aber um so rascher für gleiche Temperaturintervalle wächst, je näher das Herz der Temperatur kommt, bei welcher die Schlagzahl ihr Maximum erreicht. Ist sie auf dem letztern angelangt, so sinkt bei noch weiterm Steigen der Temperatur die Schlagzahl einige Grade hindurch erst allmählig, dann aber so rasch, dass das Herz, wenn es nur noch um wenige Grade weiter erwärmt wird, schon vollkommen still steht. In den zwei bis drei Graden, die dem Stillstand vorausgehen, schlägt das Herz aber nicht allein langsam, sondern auch unregelmässig, so dass kaum eine Herzpause der andern an Dauer gleich kommt. Um das Bild der Erscheinungen zu vervollständigen, ist in Worten noch hinzuzufügen, dass ganz unmittelbar vor dem Stillstand sich die gesammte Ventrikelfaserung nicht mehr auf einmal zusammenzieht, sondern dass die Bewegung peristaltisch abläuft.

Die soeben gegebene Darstellung der Beziehung zwischen der Änderung von Temperatur und Schlagzahl war eine schematische. Dieser Ausdruck bereitet schon darauf vor, dass noch mancherlei Besonderheiten zum Vorschein kommen werden, sei es, dass man das schematische Bild mit den individuellen, oder dass man die letztern mit einander vergleicht.

Zuerst wollen wir bei dieser Specialbetrachtung die absoluten Zahlen der Schläge beachten, welche die Herzen auf ähnlichen Temperaturgraden darbieten. — In allen Fällen, die ich untersuchte, sind meist unter 45° , sicher aber unter 40° C. die Zahlen der Schläge nicht mehr wesentlich verschieden. Dieses folgt gleich daraus, weil dann die Zahl der Schläge überhaupt auf einen sehr geringen Werth herabsinkt. Dem gemäss muss die Abweichung zwischen den verschiedenen Herzen auch eine geringe sein. Ich gebe einige Beispiele.

Bei einer Temperatur von		21	20	19	18	14	12	10	7	6	5	4	3	2	1
40 Sekunden folgende Herzen	I	—	—	28	—	—	14	8	—	—	7	6	—	5	—
	II	17	—	—	—	—	—	—	5	—	—	3.5	—	2.7	—
	III	—	20	—	—	12.6	—	—	7.3	—	—	—	5.6	—	—
	IV	—	—	—	18	—	—	—	—	7	—	6.4	—	—	—
	V	—	—	17	—	—	—	—	3.4	—	2.2	—	—	—	0.3

Viel grössere Unterschiede treten hervor, wenn man die Zahlen von 18° aufwärts bis zur Temperatur des Maximums in verschiedenen Herzen vergleicht. Die Grenzfälle aus meinen Beobachtungen mögen hier Platz finden.

Bei einer Temperatur von		18	19	23	25	26	28	30	32	33	34	35
schlagend die Herzen in 40 Secunden	I	—	27	—	30	—	—	39	47	77	87	
	II	—	21	25	—	50	76	109	—	101	80	
	III	8.5	—	—	16	—	—	—	29	—	—	16.1

Nimmt man zunächst auf die Maximalzahl Rücksicht, welche die verschiedenen Herzen erreichen, so sieht man, dass *Calliburces* nicht alle möglichen Fälle vor Augen gehabt, als er behauptete, dass man das Herz eines Kaltblüters zur Schlagzahl eines Warmblüters durch die Steigerung der Temperatur emportreiben könne.

Die Unterschiede, welche die Curve der Schlagzahlen über die veränderliche Temperatur hinsichtlich des absoluten Werthes ihrer Ordinaten darbietet, mindern sich aber sehr beträchtlich, wenn man aus den proportionalen Zahlen (statt aus den absoluten) die Curve bildet. Nimmt man beispielsweise in der obigen Reihe die bei 18 und 19° vorhandene Schlagzahl als Einheit an, so ergiebt sich

Grade	18	19	23	25	26	28	30	32	33	34	35
Proportionale Schlagzahlen.	—	1	—	1.1	—	—	1.4	1.7	2.9	3.2	—
	—	1	1.2	—	2.4	3.6	5.2	—	4.8	3.8	—
	1	—	—	1.8	—	—	—	3.4	—	—	1.9

In dem Temperaturintervall, welches zwischen dem Maximum der Schlagzahl und dem Herzstillstand liegt, zeigt die Frequenz des Pulsschlags jedesmal sehr grosse Unregelmässigkeiten. Denn niemals sinkt die Zahl der Schläge von Grad zu Grad stetig ab, sondern es folgen auf die geringere Zahl eines niedern Grades immer auch wieder einmal höhere Zahlen auf einem höhern Grad, so dass das Absinken der Schlagzahl sich erst dann aber dann auch constant ergiebt, wenn man Temperaturunterschiede von mehreren Graden vergleicht.

Ausser der bis dahin beregten Verschiedenheit zeigen die

einzelnen Herzen, wie man schon nach den mitgetheilten Beispielen bemerkt haben dürfte, rücksichtlich der Änderung ihrer Schlagzahlen noch eine andere; sie besteht darin, dass das Maximum der Schlagzahlen nicht immer auf dieselbe Temperatur fällt. Das Aufsteigen zu demselben Wärmegrad bedingt für das eine Herz schon ein Sinken der Pulsfrequenz, während er die des andern noch zum Wachsen bringt; da, wie wir schon sahen, bei den verschiedenen Herzen auch der Stillstand in der Kälte und Wärme nicht auf demselben Temperaturgrad liegt, so könnte man nun den Schluss ziehen wollen, dass die Curve der Schlagzahlen bei den verschiedenen Herzen zwar im Allgemeinen dieselbe Gestalt behaupte, dass aber ihre Lage auf der Abscisse nicht im Voraus genau bestimmt werden könne, indem ihre Ordinaten bei dem einen Herzen sich früher über Null erhoben und auch auf Null herabsanken als bei einem andern.

Mancherlei Erfahrungen scheinen mir jedoch dafür zu sprechen, dass ein solcher Schluss voreilig ist. Als ich mir nämlich nach Anleitung meiner Beobachtungen die Curven der Schlagzahlen construirte, bemerkte ich mehrmals, dass die Grösse des proportionalen Zuwachses für dasselbe Temperaturintervall auch bei den Herzen nicht gleich war, bei welchen das Minimum der Schlagzahlen auf denselben Wärmegrad fiel. Dieses galt namentlich für den steilsten Theil der Curve, also für denjenigen ihrer Abschnitte, welcher den grössten Zuwachs an Schlägen für das gleiche Temperaturintervall aufweist. Dieser Ort des grössten Zuwachses scheint bei gleicher Lage des Curvengipfels über der Abscisse von dem letztern bald mehr und bald weniger weit abzustehen. Dieses würde aussagen, dass, wenn auch die beiden Temperaturgrade a und d auf zwei Herzen denselben Einfluss übten, dieses doch noch nicht in gleicher Weise geschähe von den Temperaturen b und c , welche zwischen den erstgenannten in der Mitte liegen. Trotzdem, dass dieses Verhalten unter meinen Beobachtungen öfter vorkommt, wage ich dennoch nicht, den eben ausgesprochenen Satz mit Sicherheit zu behaupten. Dazu sind meine Temperaturbestimmungen des oft raschen Wechsels wegen nicht immer genau genug, und zudem ist die Zahl der einzelnen Beobachtungen an demselben Herzen nicht gross genug, so dass die Temperaturen, an welchen eine Aufzeichnung der Pulse stattfand, meist zu weit aus einander liegen, um aus ihnen den genauern Gang der Curve abzuleiten.

Durch eine noch sorgfältigere Regulirung der willkürlichen Variablen, namentlich des Ansteigens der Temperatur, der Dauer ihrer Einwirkung auf gleichen Graden, des ursprünglichen Füllungsdruckes und der Zusammensetzung des Serums, wird, wie ich voraussehe, überhaupt noch manche Abweichung unter den einzelnen Beobachtungen wegzuschaffen sein; aber sicherlich werden auch dann noch die verschiedenen Herzen sich rücksichtlich ihrer Empfindlichkeit gegen die Wärme sehr verschieden verhalten. Dafür spricht der Umstand, dass ausnahmslos alle die Herzen, an welchen ich im Vorwinter Beobachtungen anstellte, schon in den mittlern, namentlich aber in den höhern Temperaturgraden viel rascher pulsirten, als diejenigen, welche mir im Januar oder Februar zu Gebote standen.

Es dürfte für künftige Untersuchungen eine lohnende Aufgabe sein zu erforschen, wodurch man im Stande ist, die individuellen Unterschiede der Empfänglichkeit für gleiche oder ähnliche Temperaturintervalle wegzuschaffen. Denn jedenfalls ist die Frage nach der Abhängigkeit der Pulsfrequenz von der Temperaturänderung von mehrfachem Interesse; von einem theoretischen, weil wir durch die hier vorliegende, so deutlich sichtbare Äusserung Aufschluss über die innern Eigenschaften der automatischen Erreger erhalten können, dann aber auch von einem praktischen, weil wir durch die den meinigen ähnlichen Beobachtungen in den Stand gesetzt werden, mit Sicherheit zu entscheiden, in wie weit die Ärzte recht haben, welche behaupten, dass im Fieber die steigende Temperatur an der Beschleunigung des Pulses schuld sei. — In der That lassen meine Beobachtungen keinen Zweifel darüber, dass die Erhöhung der Temperatur und zwar gerade in den Grenzen, in welchen sie beim Fieber eintritt, sehr geeignet ist, die Pulsfrequenz um ein Beträchtliches zu steigern.

2. Änderung des Umfangs der Zusammenziehung. Die Änderung, welche der Hohlraum des Herzens durch die Zusammenziehung erfährt, kann ohne Weiteres an dem wechselnden Stand des Quecksilbers im Manometer abgelesen werden, da sich ja das Herz nur in diesen entleeren kann. Bei der verwickelten Gestalt der Muskelfasern kann natürlich aus der Volumenveränderung der Herzhöhle kein Schluss auf den genaueren Umfang der Contraction, welche die Herzfasern eingehen, gemacht werden, jedenfalls aber kann auf das Mehr oder Weniger der Ver-

kürzung aus der Änderung des Herzinhaltes erschlossen werden, indem doch unzweifelhaft der bedeutenderen Verengung der Höhle auch eine stärkere Verkürzung der Muskeln entspricht.

Der folgenden Betrachtung sind nur solche Beispiele zu Grunde gelegt, bei denen unzweifelhaft die im Herzen selbst stattfindenden Maximal- und Minimaldrücke durch die Trägheit des Quecksilbers nicht entstellt worden waren. Die Mittel, die zu einer richtigen Auswahl zu Gebote stehen, stützen sich, wie schon oben angegeben, theils auf die bekannten Eigenschaften des angewendeten Manometers und theils auf die Gestalt der aufgeschriebenen Curven. — Bei der Auswahl der Beobachtungen muss ausserdem darauf Rücksicht genommen werden, dass man nicht die Erfolge der Ermüdung mit denen der Temperaturänderung zusammenwirft. Mit andern Worten, man darf nur solche Beobachtungen vergleichen, bei denen das Serum seine erhaltenden Eigenschaften noch nicht eingebüsst hat. Nach meinen Erfahrungen übt das Serum einen mächtigern Einfluss auf die Excursion, als auf die Zahl des Pulses. Nach frischer Füllung wird die Excursion gross; bleibt dann das Serum längere Zeit im schlagenden Herzen, so sinkt die Excursion bedeutend ab, und sie nimmt nach neuer Füllung wieder zu. — Das sichere Kennzeichen, dass nur die Änderung der Temperatur, nicht aber die des Serums die Excursion minderte, liegt darin, dass die Excursion, welche durch die Temperaturschwankung gemindert war, wieder auf ihren frühern Werth zurückkommt, wenn die ursprüngliche Temperatur wieder hergestellt wird. Beobachtungen, bei denen diese Vorsichtsmassregel angewendet wurde, besitze ich, aber leider nur in geringer Zahl.

Um die Beobachtungen an verschiedenen Herzen mit einander vergleichbar zu machen, habe ich mir auch hier die proportionalen Excursionen berechnet. Ich habe dabei wiederum in jedem einzelnen Beobachtungsobject den Umfang der Herzzusammenziehung, welcher bei 18 bis 20° C. stattfand, als die Einheit angesehen.

Aus den Beobachtungen, die ich diesem Verfahren unterworfen habe, leuchtet ein und dasselbe Gesetz hervor. Beschreibt man wiederum über die Abscisse der Temperaturen die Curve der Excursion, so zeigt diese ein Maximum und zwei Minima. Die letzteren liegen bei der oberen und unteren Grenztemperatur, also bei denjenigen, bei welchen das Herz zu schlagen

aufhört. Von der unteren Grenztemperatur steigt die Curve rasch aufwärts, so dass sie schon wenige Grade über Null das

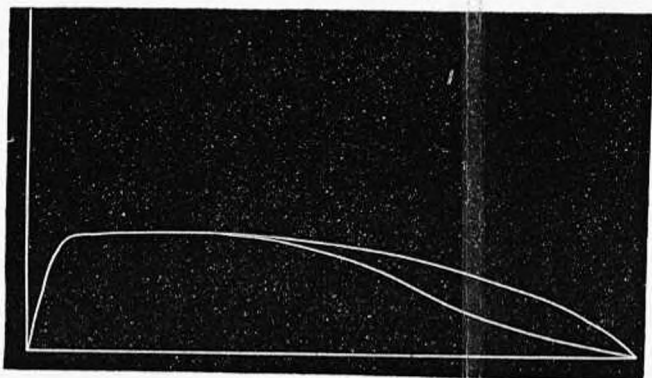


Fig. 2.

Maximum oder nahezu den Werth desselben erreicht; dann hält sie sich auf dieser Höhe nahezu gleichmässig bis gegen 15 oder 19° C., nur in seltenen Fällen pflegt sie schon früher etwa bei 10° C. abzusinken. Von 20° C. weiter aufwärts sinkt sie dann ununterbrochen bis zum Nullpunkt der höhern Temperatur auf die Abscisse herunter. Neben der Übereinstimmung, welche die verschiedenen Beobachtungen darbieten, zeigen sich auch Abweichungen. Auf den Theil derselben, welche auf den aufsteigenden Curvenschenkel fallen, habe ich schon aufmerksam gemacht. Der absteigende Schenkel zeigt sich namentlich darin verschieden, dass entweder unmittelbar vom höchsten Punkt an ein sehr rasches Absinken stattfindet, welches auf höhern Temperaturstufen sich in ein sehr allmähliges umsetzt; dieses Verhalten ist in dem Curvenschenkel der Fig. 2 dargestellt, welcher der Abscisse näher liegt. — In andern Fällen nimmt dagegen bis nahe zu 30° die Excursion nur sehr allmählig ab und sinkt erst jenseits des genannten Grades rascher der Abscisse zu, ebenso wie dieses durch den höhern Curvenschenkel der angezogenen Figur ausgedrückt ist.

Bevor ich auf die absoluten Werthe, welche den Excursionen zukommen, eingehe, muss ich noch eines besonderen Verhaltens gedenken, welches das Herz während der Temperaturgrade darbietet, die der oberen Grenzwärme unmittelbar vorangehen. Wenn das Herz auf dem genannten Wärmegrad

angelangt ist, so sieht man dasselbe noch in lebhaften Contractionen begriffen, trotzdem aber treibt es keine Spur seines Inhalts in das Manometer hinein. Eine genauere Beachtung der Herzcontraction lässt alsbald erkennen, dass diese Erscheinung in einer peristaltischen Zusammenziehung des Muskelfleisches begründet sei, die von der Vorhofsgrenze gegen die Spitze fortschreitet. Bei einer solchen Art der Zusammenziehung kann natürlich der Herzinhalt keinen äussern Druck überwinden, da die nicht zusammengezogenen Theile der Herzwand sich um so viel ausdehnen werden, als sich die zusammengezogenen verengen. Abgesehen von anderen scheint mir diese Beobachtung darum besonders bemerkenswerth, weil sie darthut, dass der Druck, welchen die zusammengezogenen Bündel des Ventrikels auf die nicht zusammengezogenen ausüben, keineswegs als ein Reiz für die letzteren aufgefasst werden darf.

Vergleicht man den absoluten Werth der Excursion in den verschiedenen Herzen bei demselben Temperaturgrad, so wird man finden, dass derselbe ausserordentlich verschieden ausfällt. Da sich diese Thatsache bei dem grossen Spielraum, welcher der Nerven- und Muskelreizbarkeit zukommt, von selbst versteht, so halte ich es für überflüssig, sie durch Zahlenbeispiele zu belegen.

3. Über das Verhältniss zwischen dem Umfang und der Zahl der Schläge. Aus dem Bisherigen ergiebt sich, dass unter Umständen mit der steigenden Temperatur die Zahl der Schläge wächst und der Umfang derselben abnimmt. Diese Thatsache fordert dazu auf, zu untersuchen, ob etwa ein bestimmtes Verhältniss zwischen der Länge der Pausen und der Stärke des Schlags aufgefunden werden könne. Bei dieser Untersuchung darf man natürlich nur die verschiedenen Stärken und Zahlen der Schläge eines und desselben Herzens mit einander vergleichen, weil, wie ich schon hervorgehoben, die genannten Dinge bei verschiedenen Herzen sehr ungleichwerthig ausfallen und noch mehr, weil die Änderungen, welche die Stärken mit der steigenden Schlagzahl erfahren, sich in jedem einzelnen Fall verschieden gestalten.

Vergleicht man die Curve der proportionalen Schlagstärken und der proportionalen Schlagzahlen eines und desselben Herzens mit einander, so bemerkt man sogleich, dass von Null an bis zu einer gewissen Temperaturgrenze die Schlagzahl stetig

anwächst, während der Umfang der Zusammenziehung sich unverändert erhält. In diesen Grenzen besteht also keine Abhängigkeit beider Grössen von einander. In dem Temperaturintervall, welches auf das eben erwähnte folgt, wachsen die Schlagzahlen, und die Umfänge der Zusammenziehung nehmen ab und zwar so lange, bis das Maximum der Pulszahlen erreicht wurde. Ist endlich die Temperatur überschritten, bei welcher das Herz das Maximum seiner Schlagzahlen erreicht hat, so sinkt von nun ab die Schlagzahl gleichzeitig mit dem Umfang desselben so lange, bis beide Null werden. Diese Erfahrungen zeigen unzweideutig, dass das Verhältniss zwischen der Intensität der Schläge und der Länge der Pausen nicht aus einem einzigen Princip erklärt werden kann. Um den Anhängern der Meinung zu genügen, dass die Länge der Pausen im geraden Verhältniss zur Intensität der Schläge stehe, müsste man die Erscheinungen, welche sich bei den höheren und niederen Temperaturen zeigen, auf besondere Gründe zurückführen, beispielsweise auf folgende: Nähme man an, es könne der Umfang ein bestimmtes Maximum nicht überschreiten, wie langsam sich auch die Schläge einander folgen mögen, und setzte man voraus, dass dieses Maximum schon etwa bei 40 bis 45° C. erreicht wäre, so würde sich nun erklären, warum von da ab gegen Nullgrad trotz der Verminderung der Schlagzahl keine Steigerung der Zusammenziehung eintreten könnte. — Um aber zu erklären, weshalb jenseits des Maximums der Pulsfrequenz diese letzteren gleichzeitig mit dem Umfang der Schläge sinken, könnte man die Erfahrung herbeiziehen, wonach das Verhältniss zwischen der Dauer und dem Umfang der Schläge bei jedem dem Versuch unterworfenen Herzen ein eigenthümliches, von allen anderen verschiedenes ist. Diese Thatsache deutet darauf hin, dass durch die jeweilige Anordnung der Kräfte, welche in den Herzmassen gegeben sind, das Verhältniss der Zahl zu den Intensitäten der Schläge geregelt werde. Wenn also an einem und demselben Herzen sich plötzlich das bisher bestandene Verhältniss zwischen den zuletzt genannten Grössen ändert, so würde man annehmen müssen, dass dieses auch mit der Anordnung der erregenden Herzkkräfte geschehen sei.

Auf unseren Fall angewendet, würde demnach das nahezu auf die obere Grenztemperatur erwärmte Herz mit einer Anordnung der Kräfte begabt sein, die nicht mehr verglichen werden

könnte mit derjenigen, welche das Herz in den tiefer stehenden Temperaturgraden besitzt. — Aber selbst wenn man nur die Erscheinungen in Betracht zieht, welche zwischen 10 bis 15° C. einerseits und derjenigen für die maximale Schlagzahl andererseits vorkommen, so finden sich auch hier häufig genug zahlreiche Unregelmässigkeiten. So begegnet man unter Andern Doppelschlägen; die beiden Erhebungen, welche zu einem Doppelschlag gehören, sind gleich gross und folgen einander sehr rasch, während zwischen je zwei Doppelschlägen eine lange Pause liegt. In einem solchen Fall hat also die lange Pause, welche der ersten Erhebung des Doppelschlages vorausging, nicht mehr erzielt, als die kurze, welche vor der zweiten Erhebung liegt. In nicht minderem Widerspruch mit der obigen Hypothese steht die andere oft vorkommende Erscheinung, in welcher ein kräftiger Schlag mit einem schwachen regelmässig abwechselt, ohne dass dieses auch mit den Zeiten der Fall wäre, welche zur Vollendung der kleinen und grossen Schläge nothwendig sind, denn häufig vollendet sich der Schlag niederer Intensität in ganz oder nahezu in derselben Zeit, in welcher der stärkere abläuft. Hiernach scheint es mir unzweifelhaft, dass trotz des allerdings öfteren Zusammentreffens von häufigen und kleinen oder seltenen und grossen Schlägen kein nothwendiger Zusammenhang besteht zwischen der Dauer der Pause und dem Umfang der Zusammenziehung. Ich komme später noch einmal auf diesen Gegenstand zurück.

4. Über den Verlauf der Herzcontraction. Die Gestalt der Curve, welche während des Ablaufs einer Herzcontraction vom Manometer aufgezeichnet wird, ist für verschiedene Herzen durchaus nicht immer dieselbe, selbst wenn die Temperatur gleich oder nahezu gleich war. Die gegenübstehenden Holzschnitte geben die hauptsächlichsten der Typen wieder, die sich mir bei mittlerer Temperatur dargeboten haben. Man erkennt in den Abbildungen folgende Combinationen: Rasches Aufsteigen und fast momentanes Absinken, so dass die Eigenschwingung des Quecksilbers erscheint; rasches Aufsteigen und Absinken mit tetanisch gehaltenem Gipfel; rasches Aufsteigen mit plötzlichem Übergang in die Diastole, die sich allmählig vollendet; langsames Aufsteigen, allmählicher Übergang in die Diastole und langsam vollendetes Absinken.

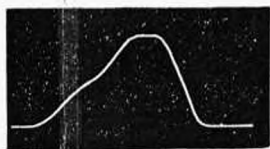
Ob die Ursache der Verschiedenartigkeiten in Eigenthüm-

lichkeiten der reizenden Apparate oder in denen der Nerven und Muskeln gelegen ist, würde sogleich entschieden sein,

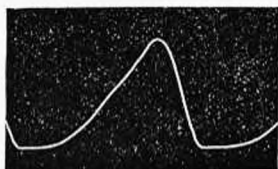
Fig. 3*).



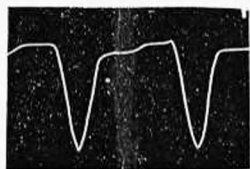
a.



b.



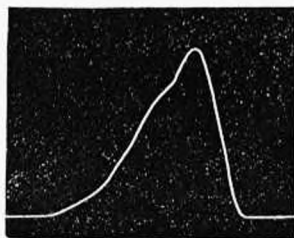
c.



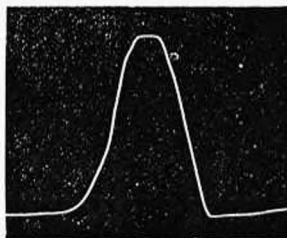
d.



e.



f.



g.



h.

wenn sich nachweisen liesse, dass die Herzbewegung das Analogon einer Zuckung wäre, mit anderen Worten, dass ein einziger

*) Die Figuren sind in natürlicher Grösse; das Verhältniss zwischen Zeit und Längeneinheit der Abscisse ist an allen nahezu gleich; *b* und *c* sind von demselben Herzen zu verschiedener Zeit geliefert; dasselbe gilt von *d* und *e*, der tetanische, gebrochene Gipfel in *d* legt sich in *e* zu zwei deutlich gesonderten Erhebungen aus einander, die durch ein tetanisches Zwischenstück getrennt sind.

momentaner Reiz den Ablauf der Herzcontraction veranlasste. In diesem Fall würde offenbar die Art des Ablaufs nur von den Zuständen der Nerven und Muskeln bedingt sein. Die Gründe, welche sich für die Auffassung der Herzcontraction als Zuckung beibringen lassen, erscheinen mir allerdings nicht unerheblich, namentlich gilt dies für alle diejenigen Herzschläge, welche ich die regelmässigen nennen möchte, für die nämlich, bei welchen die Curve der Herzcontraction dieselbe Form besitzt, welche auch der Zuckung eines Skelettmuskels zukommt. Zwischen beiden besteht nur der schon von *Marey* hervorgehobene Unterschied, dass die Zuckung der gewöhnlichen quergestreiften Muskeln in sehr viel kürzerer Zeit vorübergeht, als die des Herzmuskels. Dieser Unterschied bietet aber der Zurückführung beider Bewegungen auf dieselbe Art des Reizes darum keine unüberwindliche Schwierigkeit, weil bekanntlich die Herzmuskeln einen specifischen Bau besitzen.

Gründe, welche für die Auffassung des Herzschlags als Zuckung sprechen, giebt es mehrere. — Der erste derselben ist aus der Erregung abgeleitet, welche, wie *Czermak* zeigte, das schlagende Herz in dem Nerv des aufgelegten Froschschenkels inducirt. Aus einer genauern Beobachtung des zeitlichen Verlaufs dieser inducirten Bewegung erfuhr *Marey* *), dass sie eine einfache Zuckung sei. Wäre, so schliesst der genannte Gelehrte, die Herzcontraction ein Tetanus, so müsste auch die inducirte Bewegung einen tetanischen Charakter besitzen, da ausnahmslos die Art der primären und der secundären Muskelcontraction einander entsprächen. — Noch überzeugender als der eben hingestellte scheint ein anderer Versuch für die Richtigkeit der discutirten Hypothese zu sprechen. Wenn nämlich durch einen momentanen elektrischen Schlag das Herz gereizt wird, welches durch erhöhte Temperatur zum Stillstand gebracht wurde, so führt dieses eine Bewegung aus, welche sich gerade so verhält, wie diejenigen, die durch den normalen innern Reiz hervorgebracht werden, also kann ein momentaner Reiz einen Herzschlag hervorrufen. Eine dauernde Reizung des Herzens, das in der Wärme still steht, ruft dagegen einen Tetanus hervor, also kann ein normaler Herzschlag nicht von einer tetanischen Reizung bedingt sein. — Für die Abhängigkeit des Ab-

*) Journal de l'anatomie et de la physiologie 1866. 403.

laufs der Zuckung von den Eigenschaften des Muskels und nicht des Reizes spricht die häufig vorhandene Erscheinung, dass das Herz aus der Verkürzung in die Erschlaffung nach demselben Modus übergeht, nach welchem es in die Verkürzung aufgestiegen war. Dieses Verhalten ist namentlich sehr auffällig ausgeprägt, wenn die Contractionscurve zum Ansteigen auf ihr Maximum eine lange Zeit verbraucht. Da man schwerlich geneigt sein wird, auch noch während der Erschlaffung die Anwesenheit von Reizen anzunehmen, so wird man den Grund für den langsamen Ablauf des auf- und absteigenden Schenkels vor Allem in der Schwebbeweglichkeit der Muskelmassen suchen dürfen. — Die letztere Anschauung gewinnt um so mehr an Wahrscheinlichkeit, weil sich die Ablaufszeiten einer ganzen Herzbewegung unter denselben Umständen verkürzen und verlängern, unter denen dieses auch im Nervenmuskelpräparat geschieht, welches dem Froschschenkel entnommen ist.

Man darf jedoch nicht verkennen, dass sich am Herzen Bedingungen und Erscheinungen finden, welche mit der eben entwickelten Vorstellung schwieriger in Übereinstimmung zu bringen sind. So ist unter Andern die Herzcontraction ein Vorgang, an dem sich viele einzelne Ganglien, Nervenfasern und zahlreiche langgestreckte Muskelröhren betheiligen, welche, wie das schon angeführte Beispiel der peristaltischen Herzcontraction zeigt, nicht nothwendig auf einmal in Erregung gerathen müssen. — Wenn durch die Schwierigkeit, eine so grosse Zahl getrennter Stücke absolut gleichzeitig zu erregen, schon ein Bedenken gegen die Deutung der Herzcontraction als Zuckung liegt, so bieten, wie es mir scheint, eine noch grössere die Fälle, bei welchen das Herz, nachdem es auf das Maximum der Zusammenziehung gelangte, einige Zeit in Tetanus verharrte; ein solcher abgestutzter Gipfel, wie ihn in Fig. 3 d darbietet, erweckt dem Beschauer wohl sogleich die Vorstellung, als ob hier ein tetanisirender Reiz auf das Herz gewirkt habe. Freilich ist es auch möglich, dass dieses tetanische Verharren in der Contraction von der besonderen Reizbarkeit des Muskels selbst abhängig ist.

Bisher habe ich nur den Ablauf der Contractionscurve bei verschiedenen Herzen, die unter nahezu gleichen Temperaturen standen, ins Auge gefasst. Die Form der genannten Curve ändert sich jedoch auch an demselben Herzen mit der variablen

Temperatur. Die folgenden Holzschnitte lassen erkennen, dass sich im Allgemeinen mit der abnehmenden Temperatur die auf- und absteigenden Curvenschenkel mehr und mehr in die Länge ziehen. Wie sehr sich aber auch die Wirkung der Temperatur ausprägt, immerhin macht sich auch die Eigenthümlichkeit des einzelnen Herzens selbst geltend, wie eine Vergleichung der vorgelegten Beispiele 4, 5, 6, 7 darthut. — Mit der Vorführung dieser Figuren verbinde ich zugleich die Absicht, dem Leser beispielsweise eine Vorstellung von der thatsächlichen Grundlage dieser Abhandlung zu geben.

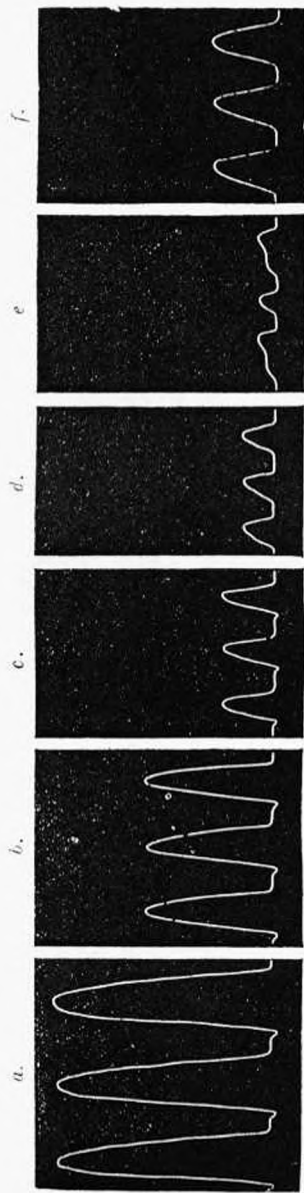


Fig. 4.

a. Das Herz mit frischem Serum gefüllt, am Ende der Diastole eine kleine Eigenschwingung, bei 19° C. — *b.* Mit derselben Füllung eine Stunde später, bei 49° C. — *c.* Nach allmählichem Erwärmen auf 24° C. — *d.* Ebenso auf 34°. — *e.* Ebenso auf 39°, das Maximum der Schlagzahlen ist schon überschritten; die Pulse werden unregelmässig; dieses deutet auf die beginnende Unregelmässigkeit der Zusammenziehung der Faser. — *f.* Allmähliche Abkühlung auf 19°. Die Schläge haben wieder dieselbe Dauer wie in *b.* Die beträchtlich geringere Excursion deutet darauf hin, dass das Serum seine erhaltenden Eigenschaften verloren hat.

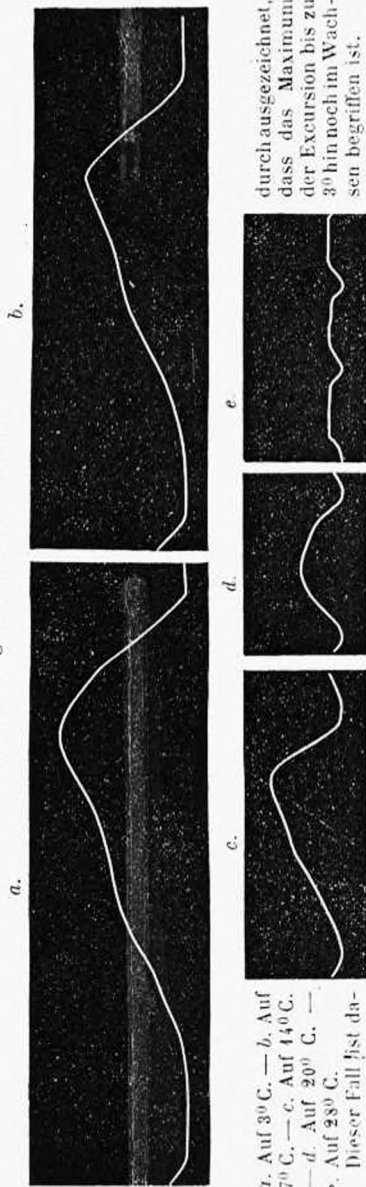


Fig. 5.

a. Auf 30° C. — *b.* Auf 70° C. — *c.* Auf 44° C. — *d.* Auf 20° C. — *e.* Auf 28° C.

Dieser Fall fist da-

durchausgezeichnet, dass das Maximum der Excursion bis zu 30° hin noch im Wach-

sen begriffen ist.

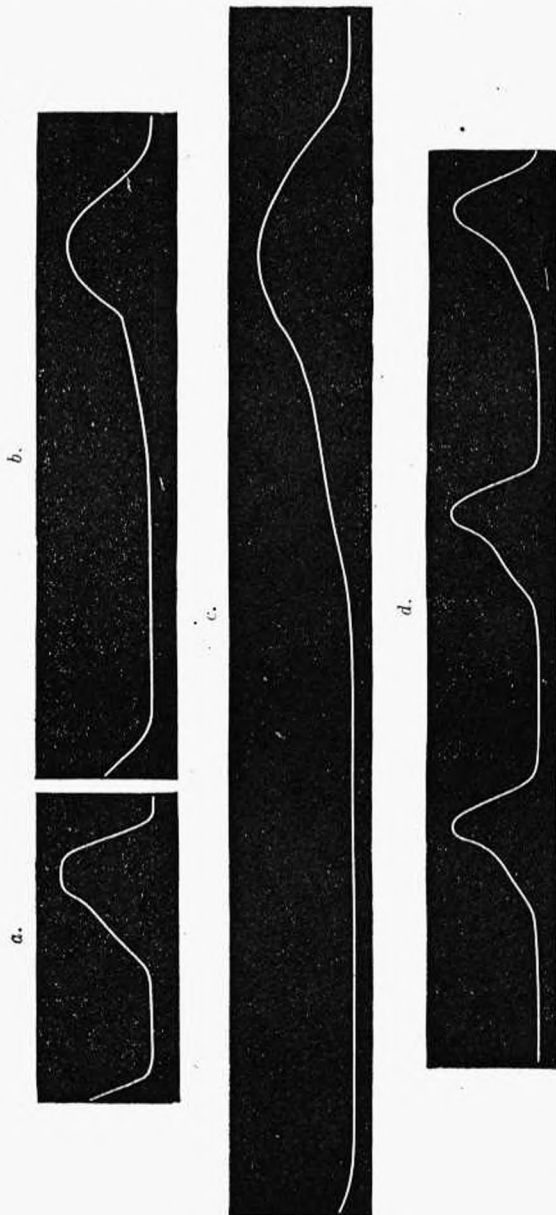


Fig. 6.

a. Auf 24° C. Allmähliges Abkühlen. — b. Auf 70° C. — c. Auf 20° C. Die Dauer der Pulse nimmt zu, ihre Excursion ist unverändert. — d. Allmähliges Wiedererwärmen auf 24° . Die Excursion ist die frühere. Die Frequenz ist etwas geringer als sie vor der Abkühlung bei 24° C. war.

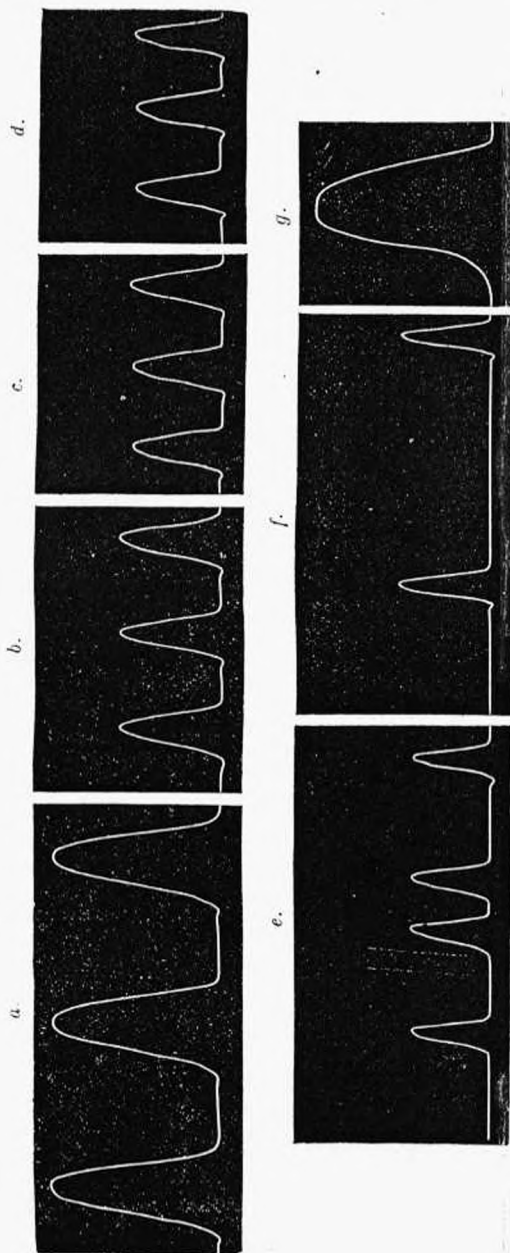


Fig. 7.

a Erwärmung auf 18° C., *b* zu 26° , *c* zu 30° , *d* zu 33° , *e* zu 34° , *f* zu 35° , *g* Wiederabkühlen auf 18° .

Diese Reihe zeigt das Verhalten, dass jenseits des Maximums der Schlagzahlen der Herzstillstand durch allmähliche Vergrößerung der Pausen erfolgt, während die Grösse der Excursion unverändert bleibt. — Der beim Wiederabkühlen auf 18° erfolgende Schlag ist abermals langsamer, als er bei derselben Temperatur vor dem Erwärmen war. Die Excursion ist gleich der frühern.

Bei einer Vergleichung des zeitlichen Verlaufs der Schläge, welche von den verschiedenen temperirten Herzen ausgehen, schien es mir noch von Belang zu ermitteln, wie lange während der Zeiteinheit das Herz in der Contraction bleibt. Denn wenn das Herz in gleicher Zeit eine sehr ungleiche Zahl von Schlägen ausführt, so kann der Antheil jener Zeit, welchen es auf seine Zusammenziehung verwendet, in allen Fällen ungleich, er konnte aber auch in allen gleich sein; dieses Letztere müsste namentlich der Fall sein, wenn die Contractionszeit des einzelnen Schlags in dem Masse abgenommen, in welchem die Zahl der Schläge zugenommen. — Das Interesse, welches sich an die Beantwortung der vorgelegten Frage knüpft; liegt, wie mir scheint, darin, dass die Zeit, während welcher die Zusammenziehung besteht, einer der Factoren ist, nach denen einerseits die Anstrengung des Muskels und unter Umständen auch andererseits die Grösse (oder Zahl) des oder der Reize gemessen wird, welche die Zusammenziehung veranlassen. — Die Grundlagen für die anzustellende Vergleichung sind nun folgendermassen zu gewinnen. Von alle den Curven, welche ein Herz bei verschiedenen Temperaturgraden aufgeschrieben, nimmt man ein je gleich langes Stück; man misst dann auf jedem einzelnen dieser Stücke die Contractionsdauer aller einzelnen Herzschläge und vereinigt darauf diese separaten Werthe zu einer Summe.

Geht man zur Ausführung dieses einfachen Plans über, so erhebt sich zunächst die Vorfrage, was unter Contractionsdauer zu verstehen sei. So lange die Faserung noch nicht wieder die Länge erreicht hat, welche ihr bei Beginn der Contraction zukam, kann sie vielleicht noch als contrahirt angesehen werden; wollte man diese Anschauung acceptiren, so würde man die ganze Dauer der eigentlichen Herzbewegung (auf- und absteigenden Schenkel der Schlagcurve) zu messen haben. Statt dessen habe ich es vorgezogen, nur die Dauer der Systole im engern Wortsinn zu Grunde zu legen, also die Zeit, welche zur Vollendung des aufsteigenden Schenkels einer Schlagcurve nöthig ist. Denn in dieser Zeit, in welcher das Contractionsbestreben der Faser im Übergewicht ist, bestimmt dieses letztere ebenso wie der sie veranlassende Reiz wesentlich die Form.

Da die Messung vorzugsweise in der Absicht unternommen

wurde, um eine Vergleichung der Reize anstellen zu können, auch unter der Voraussetzung, dass statt eines momentanen ein tetanischer Reiz den Herzschlag veranlasste, so habe ich zu derselben nur die Beobachtungen verwendet, bei welchen systolische und diastolische Schenkel der Schlagcurve unmittelbar ineinander übergehen, also die ausgeschlossen, bei welchen ein tetanischer Gipfel vorhanden war. Dieses rechtfertigt sich darum, weil man, wie schon oben bemerkt wurde, im Zweifel sein kann, ob das tetanische Stück nicht etwa der besondern öfters vorkommenden Eigenthümlichkeit des Muskels zugeschrieben werden kann, auf einen momentanen Reiz mit einer tetanischen Contraction zu antworten.

Die wenigen Messungen, die ich nach Einführung dieser Beschränkung ausführen konnte, haben ergeben, dass in den Grenzen von 0 bis 48° C. die Summe der Systolendauern in der Zeiteinheit sich annähernd immer gleich blieb. Dieses Resultat sagt also aus, dass die Dauer der einzelnen Systolen in dem Maße zugenommen, in welchem ihre Zahl in der Zeiteinheit abgenommen hat. — In dem Temperaturintervall von 18 bis 34° C. verhielt sich die Sache nur in einem Fall ähnlich, in mehreren andern nahm dagegen die Summe der Systolendauer mit der steigenden Temperatur ab, und zwar in einem Fall so weit, dass der Antheil, welcher den sämtlichen Systolen während der Zeiteinheit zukam, bei 34° nur die Hälfte von dem betrug, welchen sie bei 18° besaßen. Hier war also die Zeit, welche die Vollendung einer Systole verbraucht, doppelt so stark gesunken, als die Zahl der Schläge in der Zeiteinheit gewachsen war.

5. Über die Arbeit, welche das Herz in der Zeiteinheit für den Blutstrom bei verschiedenen Temperaturen leisten kann. — Da der Druck, unter welchem die Flüssigkeit nach Beendigung der Systole durch das Manometer gegeben ist, und da aus den bekannten Dimensionen des Letztern und dem specifischen Gewicht des Serums das absolute Gewicht der mit jedem Schlag ausgetriebenen Masse berechnet werden kann, so geben meine Beobachtungen auch unmittelbar einen Aufschluss über den Nutzwert des Herzens für den Blutstrom. Weil es für unsere Zwecke genügt, die proportionalen Änderungen des Nutzwertes bei verschiedenen Temperaturen zu ermitteln, so habe ich statt seines vollen Wertes nur das Quadrat aus der Höhe genommen, um welche das Quecksilber nach vollendeter Systole über seinen

diastolischen Stand emporgestiegen war; die Berichtigung hierfür lässt sich leicht darthun. — Das Volumen der ausgetriebenen Flüssigkeit ist gegeben durch die Menge von Quecksilber, welche aus dem herzseitigen Schenkel des Manometers in den entgegengesetzten gedrängt wurde. Da immer dasselbe Manometer und für jedes einzelne Herz dasselbe Serum gebraucht wurde, so kann man, so lange es sich um proportionale Werthe handelt, statt der wahren Gewichte der ausgetriebenen Flüssigkeitssäulen nur ihre Höhe (h) setzen. Der ausgeworfene Herzinhalt ist aber vermöge der Einrichtung des Manometers auf verschiedene Höhen gehoben, namentlich aber auf alle diejenigen, welche zwischen Null und $2h$ gelegen sind; da er auf die genannten Hubhöhen gleichmässig vertheilt ist, so ist die mittlere Hubhöhe gleich h und demnach h^2 dem Nutzwert eines Herzschlages proportional. Um hieraus die Herzarbeit in der Zeiteinheit zu berechnen, muss h^2 mit der Zahl der Herzschläge in dieser multiplicirt werden.

Aus den Thatsachen, die schon über die Änderung der Schläge nach Zahl und Umfang in verschiedenen Temperaturen mitgetheilt worden, geht ohne weiteres hervor, dass jedes Herz nur bei einem ganz bestimmten Temperaturgrad dem Blutstrom die grössten Dienste zu leisten vermag, denn der Werth desselben muss bei niederen Temperaturen geringer sein, als bei den mittleren, da sich durch die Abkühlung die Zahl der Schläge mindert, ohne dass ihr Umfang zunimmt. Ebenso wenig kann jenseits des Maximums der Schlagzahlen der Nutzeffect grösser sein, als in den Mittelgraden der Wärme, weil hier die Frequenz und die Excursion der Pulse beträchtlich abgenommen haben. Nach den Auswerthungen, welche ich auf Grundlage meiner Beobachtungen vorgenommen, liegt der maximale Nutzeffect zwischen 18 und 26° C. Beispielsweise füge ich die folgenden Zahlenangaben bei.

Temperatur.	h. in Mm.	Zahl der Schläge in 40 Secunden.	Proportionalwerth des Nutzeffects in 40 Secunden.
19° C.	4.0	27	432
25	3.3	30	327
30	2.5	34	211
32	1.9	47	169
33	1.3	77	430
34	0.5	87	22
19° C.	7.7	21	1246
(19	8.3	19	1218)
23	8.8	25	1985
26	7.8	50	3040
28	6.2	76	2888
30	3.5	109	1334
18° C.	2.3	8.5	4581
25	5.7	16.1	536
	u. s. w. abnehmend.		
18° C.	20.9	15	6552
26	13.3	26.2	4688
30	11.4	31.5	4095

6. Über die Summe der Reize, welche in der Zeiteinheit von den automatischen Erregern bei veränderlicher Temperatur ausgehen. — Als ein relatives Mass für die Summe der Reize kann im Allgemeinen die Grösse und Dauer der Muskelverkürzung gelten, vorausgesetzt, dass die Reize, welche verglichen werden sollen, auf gleich reizbare und gleich belastete Muskeln gewirkt haben.

Bestehen die zu vergleichenden Muskelbewegungen aus einfachen Zuckungen, das heisst aus Bewegungen, welche durch einen einzigen, sehr kurz dauernden Reiz hervorgerufen wurden, so wird die ungleiche Hübhöhe nur auf die ungleiche Stärke der Reize zu beziehen sein; nach A. Fick*) ist in diesem Falle die

*) Untersuchungen über elektrische Nervenreizung 1864. S. 4 u. f.

Grösse der geleisteten Arbeit der des Reizes direct proportional.

Etwas verwickelter werden die Beziehungen, wenn durch eine rasch aufeinander folgende Reihe von Einzelreizen eine tetanische Zusammenziehung hervorgebracht wird, denn hier kann dem bekannten Summirungsgesetz von *Helmholtz* zufolge durch wenige, aber stärkere Reize derselbe Verkürzungsgrad erzeugt werden, als durch zahlreichere, aber schwächere. Zwei gleich starke Zusammenziehungen, welche durch die beiden eben erwähnten Modificationen der Reizung erzeugt worden sind, werden darum keineswegs auf eine gleiche Summe von veranlassenden Reizen schliessen lassen, und zwar um so weniger, weil sich, wie *A. Fick**) gezeigt hat, bei der tetanischen Reizung noch zwei andere Regeln geltend machen. Die erste derselben lautet nach ihm: Wenn man einen kleinen Reiz öfter hintereinander wirken lässt, so erreicht die Zusammenziehung des Muskels eine Grenze, welche bei fernerer Wiederholung dieses Reizes nicht überschritten wird; lässt man aber nun einen grössern Reiz wiederholt einwirken, so zieht sich der Muskel noch mehr zusammen. Der zweite Erfahrungssatz, welchen *Fick* aufgestellt hat, sagt aus, dass die Contraction, welche der folgende gleich grosse Reiz hervorbringt, jedesmal kleiner ist, als die, welche der vorhergehende hervorgebracht hatte. Die letztere Angabe ist von *Marey***) bestätigt worden. Dem entsprechend wird man bei der tetanischen Zusammenziehung ausser der Grösse der Contraction auch noch die Dauer derselben zu berücksichtigen haben, ein Umstand, aus dem unmittelbar hervorgeht, dass der Werth der mechanischen Arbeit nicht mehr als Mass für die Grösse der Reizung angesehen werden darf. Ohne Widerspruch zu fürchten glaube ich aber annehmen zu dürfen, dass einer tetanischen Contraction von längerer Dauer und grösserem Umfang auch eine grössere Summe von Reizen entspricht.

Bei dem Versuch, diese Regeln auf die Zusammenziehung des Herzens anzuwenden, stossen wir zunächst auf die Schwierigkeit, dass wir die wahre Verkürzung der Herzfaser nicht anzugeben vermögen, weil unsere Messungen nur den Antheil des

*) Zur vergleichenden Physiologie der irritablen Substanzen 1863. 48.

**) Journal de l'anatomie et de la physiologie 1866. 403.

Inhalts feststellen, welcher durch die Systole ausgetrieben wurde. Statt des genauern Ausdrucks wird man sich also auf die Angabe beschränken müssen, dass einem grössern Volumen an ausgestossener Flüssigkeit auch eine grössere Zusammenziehung der Herzmuskeln entspreche. Bei der bekannten Beziehung zwischen Volumen und Umfang wird man noch hinzufügen können, dass die Contraction rascher als die ausgestossene Menge wachsen muss. Ausser dieser Ungenauigkeit haftet auf unserm Versuch, die Summe der Reizgrösse für die verschiedenen Herzcontractionen zu finden, noch eine andere Schwierigkeit. Diese besteht darin, dass der Herzmuskel und seine Nerven mit der Temperatur zugleich ihre Reizbarkeit ändern.

Unter Berücksichtigung aller dieser Umstände dürfte man auf folgendes Wenige beschränkt sein. — Es bleibt unbestimmt, wie sich die Reizwerthe ändern, wenn die Temperatur unter 18° C. herabsinkt. Indem sich die Temperatur nach dieser Richtung hin bewegt, nimmt allerdings die vom Herzen geleistete Arbeit ab, und die Summe der Systolendauer nimmt nicht zu; zugleich aber mindert sich die Reizbarkeit von Muskel und Nerv sehr bedeutend. Demnach können zur Herbeiführung dieser geringern Effecte in der niedern Temperatur grössere Reize wirksam gewesen sein, als es ihrer zur Erzeugung einer grössern und anhaltendern Zusammenziehung bei höhern Temperaturen bedurft hätte.

Anders verhalten sich die Dinge von der mittlern Temperatur aufwärts. Hier nimmt die Reizbarkeit der Nerven und Muskeln zu, und ausserdem wird die Dauer und der Umfang der einzelnen Contractionen geringer. Wäre also die Summe der Reize, welche in der Zeiteinheit auf den Herzmuskel wirkte, derjenigen gleich, die bei 18 bis 26° C. auf ihn wirkt, so müsste die von dem Herzen ausgehende Arbeit jedenfalls grösser werden. Nun tritt aber gerade das Umgekehrte ein, denn wir sahen, dass in der Regel schon von 18° an aufwärts nicht allein die Arbeit, sondern auch die Summe der Systolendauer in der Zeiteinheit vermindert wurde. Daraus muss man schliessen, dass dieses auch mit den in jenem Zeitraum entwickelten Reizen der Fall sei. Auf die Gültigkeit dieses Schlusses hat es keinen Einfluss, ob man annimmt, dass sich das Herz in Folge einer momentanen oder einer tetanischen Reizung contrahire.

7. Über das Anpassen der Zahlen der Reize in der Zeitein-

heit an den Zustand der Muskelbeweglichkeit. Bekanntlich braucht jeder quergestreifte Muskel, wenn er stark abgekühlt ist und von einem momentanen Reiz getroffen wird, eine lange Zeit, um seine Zuckungen zu vollenden. Die grosse Dauer der Zuckungen muss also, da sie nicht von der Dauer des Reizes bedingt ist, von irgendwelchen Eigenschaften des Nerven und Muskels abhängig sein. Unter diesen spielt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung, welche durch die Kälte bedeutend herabgedrückt wird, unzweifelhaft eine wichtige Rolle; dass sie aber nicht allein in Betracht kommt, geht daraus hervor, weil der kalte Muskel sich nicht allein langsamer zusammenzieht, sondern weil er sich auch langsamer wieder ausdehnt. Ganz ähnlich wie alle andern quergestreiften verhält sich nun auch der Herzmuskel, was zu verschiedenen Malen in dieser Abhandlung schon hervorgehoben wurde, ebenso wie das umgekehrte Verhalten des erwärmten Herzens. Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaft der Nerven- und Muskelmasse erscheint es nun bemerkenswerth, dass sich die Zahl der natürlichen Herzreize in der Zeiteinheit der Zeit anpasst, welche das Herz zum Ablauf einer Zuckung verbraucht. Würde das Herz in der niedern Temperatur so häufig gereizt wie in der höhern, so würde es in Tetanus verharren, eine Contractionsweise, welche den Effect des Herzens für den Blutstrom ebenso sehr beeinträchtigen würde, wie dies geschehen müsste, wenn bei höherer Temperatur die rasch ablaufenden Schläge seltener aufeinander folgten.

Zur Erklärung des Zusammenhanges zwischen den Eigenschaften der Muskel- und Nervenmasse einerseits und der reizenden Werkzeuge andererseits könnte man annehmen wollen, es bestehe eine Rückwirkung der Nerven und Muskeln auf den Erreger, so dass der Letztere erst dann wieder in Action kommen könne, nachdem die Zuckung abgelaufen sei.

Gegen diese Unterstellung sprechen jedoch häufig zu beobachtende Thatsachen. So kommt es unter andern vor, dass ein zweiter Reiz eher auf einen ersten folgt, als der im ersten Reiz entsprechende Schlag abgelaufen ist, und ebenso findet sich, dass, wenn bei niedern Temperaturen die Zahl der Schläge auf 3 bis 4 in der Minute herabgesunken ist, eine lange Pause zwischen je 2 aufeinander folgenden Schlägen eintritt.

Nach der Abweisung des eben hingestellten Zusammenhanges bleibt, wie mir scheint, keine andere Deutung der Er-

scheinung übrig, als die, dass Erreger, Nerven und Muskeln in gleichmässiger Weise von der Temperatur beeinflusst werden. Wir hätten damit nur ein bemerkenswerthes Beispiel mehr, dass die Lebensbedingungen für die Nerven und ihre natürlichen Erreger einander sehr nahe stehen. Die Bedingungen, welche die Beweglichkeit der Nerven- und Muskelmoleküle herabsetzen oder erhöhen, wirken demnach in gleicher Weise auf die erregenden Werkzeuge.

8. Über die mit der Wärme geänderte Ausdehnbarkeit des Herzmuskels. — Misst man den Abstand des niedrigsten Punktes, welchen das Herz während der Pause erreicht, von einer willkürlichen Geraden oder von dem Nullpunkt des Manometerstandes, so macht man die Beobachtung, dass dieser Abstand in verschiedenen Temperaturen einen ungleichen Werth besitzt, mit andern Worten: das Herz dehnt sich während der Pause ungleich weit aus. Diese Dehnung der Faser ist offenbar nicht in allen Fällen auf denselben Grund zurückzuführen. Ich glaube in Übereinstimmung mit den Thatsachen zu sein, wenn ich annehme, dass einestheils bei unveränderter Elasticität die Ursache der ungleichen Ausdehnung gegeben sei durch die verschiedene Dauer der Pause oder, was dasselbe sagt, durch die ungleiche Zeit, während welcher das Herz dem ausdehnenden Druck Folge leisten kann. Wir wissen aus den Erfahrungen *Wundt's*, dass die Muskelsubstanz durch ein an sie gehängtes Gewicht nur äusserst langsam ausgedehnt wird, und darum lässt sich mit Bestimmtheit sagen, dass selbst bei einer mässig raschen Schlagfolge, z. B. bei 15—20 Schlägen in der Minute, dem Herzmuskel nicht die genügende Zeit zur Erreichung seiner Gleichgewichtslage gegönnt ward; um so mehr dürfte dieses gelten, wenn die Schläge häutiger und zugleich kräftig sind, weil dann der Muskel auch noch die nach dem Maximum der Contraction zurückbleibenden Widerstände zu überwinden hat. Mit dem Vorstehenden stimmt es nun, dass jedesmal die Ausdehnung des Herzens während der Diastole geringer ist, wenn sich kräftige Schläge rascher folgen, dass sie dagegen grösser wird, wenn schwache und seltene Schläge auftreten.

Mit Hilfe dieses eben entwickelten Grundsatzes lassen sich jedoch nicht alle hier einschlagenden Erscheinungen erläutern; aus diesem Grunde bin ich geneigt anzunehmen, dass sich auch die Elasticität der Herzmuskulatur mit dem Übergange in ver-

schiedene Temperaturen ändert. Wenn sich das Herz dem Wärmegrade nähert, in welchem es das Maximum seiner Schlagzahl erreicht, so pflegt in der Regel die Ausdehnung merklich zuzunehmen. Wenn unter diesen Umständen der Umfang der Contraction ein sehr geringer geworden ist, so kann man die Schuld der grössern Ausdehnung auf die verminderte Contraction schieben, vermöge welcher die in der vorausgegangenen Pause erzielte Ausdehnung nicht wieder vollständig ausgeglichen wird. Dieser Erklärungsgrund reicht aber nicht aus, wenn, wie es öfter der Fall, zu der genannten Zeit der Umfang der Zusammenziehung noch ein bedeutenderer ist im Verhältniss zu derjenigen, die während der Normaltemperatur besteht. So habe ich unter Andern gesehen, dass das Herz bei 35 Schlägen in 40 Secunden und einer Excursion von 6,5 Mm. während der Diastole einen um 10 Mm. tiefern Stand der Quecksilbersäule erreichte, als er ihm bei der Temperatur von 20° zukam.

Noch überzeugender für die Änderung der Elasticität mit der Temperatur ist das Verhalten des Herzens während der beiden Stillstände durch hohe und niedere Temperaturen. Verharrt das Herz mehrere Minuten hindurch bei höherer Temperatur im Stillstand, so sinkt das Quecksilber in der Regel um mehrere Millimeter tiefer als zu der Zeit, wo dasselbe Herz durch niedere Temperatur in dem Stillstande verbleibt.

Es scheint mir nicht überflüssig hinzuzusetzen, dass ich diesen Gegensatz auch dann gefunden habe, wenn beim Zurückführen des Herzens aus den abweichenden in die normalen Wärmegrade wieder dieselbe Ausdehnung während der Pause eintrat, die es vor der Erwärmung und der Abkühlung besessen hatte. Diese Controle schliesst den Verdacht aus, als ob sich während des Versuchs aus irgend welchem Grunde der Inhalt des Herzens gemindert habe.

B. Wirkungen der plötzlichen Temperaturänderung auf den Herzschlag. Nachdem ich, soweit es auf Grundlage meiner Beobachtungen möglich war, die Änderungen des Herzschlags mit der allmählig veränderten Temperatur erörtert habe, werde ich jetzt zu der Beschreibung der Erscheinungen übergehen, welche sich efinden, wenn man das Herz so rasch als möglich von höhern zu niedern Wärmegraden bringt. Nach den Erfahrungen von *Rosenthal* am gewöhnlichen quergestreiften Muskel und seinen zugehörigen Nerven musste es sehr wahrscheinlich

werden, dass auch das Herz auf plötzliche Temperaturveränderungen ganz anders reagire als auf allmähliche. Diesen Erwartungen haben die Thatsachen vollkommen entsprochen. — 1. Kommt das Herz, welches bisher bei einer Temperatur von 20° bis 22° schlug, plötzlich mit Serum und Luft von 0° in Berührung, so sinken die Excursionen, die Bewegungen werden wurmförmig, und das Herz dehnt sich allmählig bedeutender aus, als dieses beim allmählichen Übergang in die niedere Temperatur zu geschehen pflegt. Verweilt nun das Herz einige Minuten in der niedern Temperatur, so wird der Umfang der Herzbewegungen wieder grösser, so dass sich das Herz so verhält, als ob es allmählig abgekühlt wird. — 2. Wenn ein Herz, das längere Zeit auf oder unter 0° gehalten wurde, plötzlich mit Serum und Luft von 40° berührt wird, so führt es eine Reihe von so rasch auf einander folgenden Schlägen aus, dass es schliesslich in einen Tetanus verfällt; dieser Tetanus kommt dadurch zu Stande, dass der jedesmal folgende Reiz früher erscheint, bevor die dem Vorhergehenden entsprechende Zuckung wieder abgelaufen ist. Die auf einander folgenden Zuckungen bringen ganz dasselbe Bild hervor, welches ein Muskel bietet, der in Tetanus versetzt wurde, durch momentane Reize, die in kürzern Zeiträumen auf einander folgten. Dieser Tetanus hält am Herzen höchstens 15 bis 30 Secunden an. Bleibt von nun an das Herz noch der höhern Temperatur ausgesetzt, so durchläuft dasselbe in $1\frac{1}{2}$ bis 2 Minuten alle diejenigen Schlagarten, welche es bei allmählicher Erwärmung darzubieten pflegt. — 3. Wieder anders ist die Erscheinung, welche sich darbietet, wenn das Herz von der Normaltemperatur aus plötzlich mit Serum und Luft von 40° umspült wird. Statt dass die Schläge, wie es bei allmählicher Erwärmung der Fall, sogleich häufiger und kürzer ausfallen, werden sie nun gross und selten. Die Form der Curven, welche das Manometer anschreibt, gleicht ganz derjenigen, die man durch Reizung des Vagus bei der Normaltemperatur erhält. Die einzelnen Schläge laufen nämlich viel rascher ab, als diejenigen, welche das abgekühlte Herz ausführt, und sie sind durch grosse Pausen von einander getrennt. Diese Art zu schlagen erhält sich 1 bis 2 Minuten hin. Ist diese Zeit verflossen und bleibt alsdann das Herz noch in der hohen Temperatur, so durchläuft es wiederum die Bewegungsarten, welche uns von der allmählichen Erwärmung her bekannt sind. In dem 8. Holzschnitt

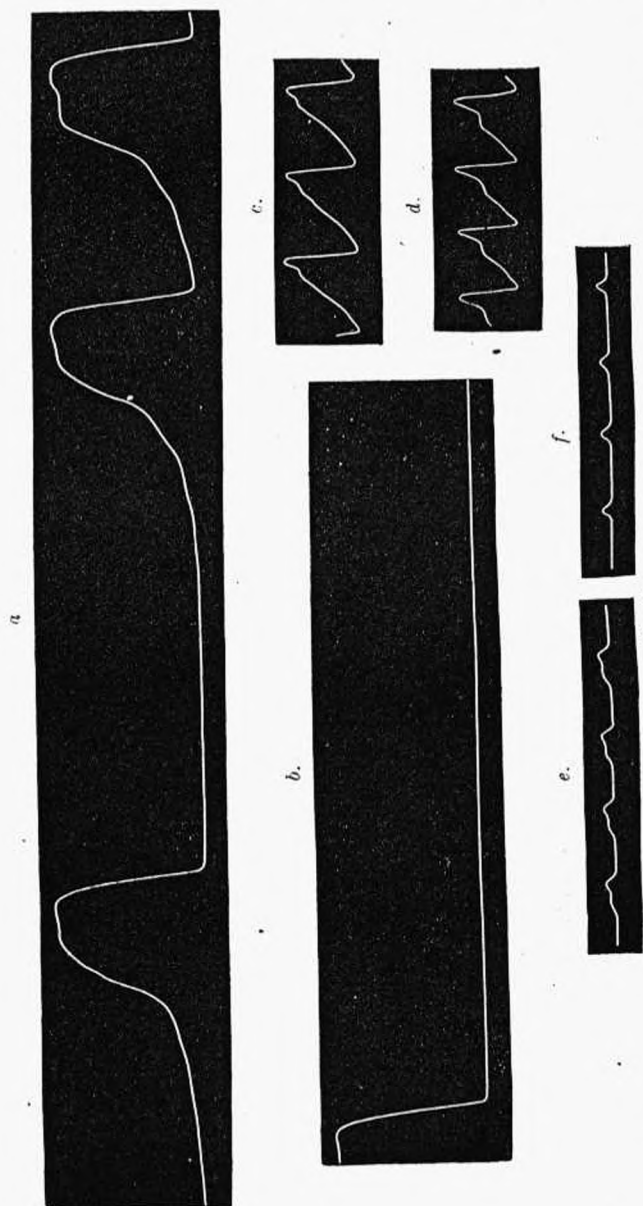


Fig. 8.

Plötzliche Erwärmung von 20° auf 40° C. — *a*. Während der beiden ersten (rechts) noch normalen Schläge Erwärmung, alsbald eine lange Pause, der ein den früheren gleicher Schlag folgt. — *b* setzt sich unmittelbar an *a* an. — Die übrigen Ab-
 bildungen geben der Reihe nach das Verhalten des Herzschlags während fortdauernder Erwärmung.

habe ich die Erscheinung wiedergegeben. — 4. Von der bisher gegebenen Beschreibung weicht das Verhalten eines Herzens ab, dessen Höhle mit einem Serum erfüllt war, welches auf einen Kubikcentimeter $1\frac{1}{2}$ bis 2 Mgr. Curare enthält. Ein auf diese Weise vergiftetes Herz verhält sich bei allmählicher Erwärmung gerade so wie das unvergiftete; bei plötzlicher Erwärmung von 20° auf 40° aber benimmt es sich in so fern anders als ein unvergiftetes, als es die grossen und seltenen Schläge desselben unterlässt. Gleich vom ersten Beginn der Erwärmung an werden die Schläge allmählig kleiner und häufiger, wie dieses beim unvergifteten Herzen erst nach dem Ablauf der grossen Schläge geschah.

C. Vergleichung der beobachteten Thatsachen mit den gegenwärtigen Vorstellungen über die Einrichtung der Erregungsapparate des Herzens. — Wie sich die Wärme in die molekularen Bewegungen einmischt, deren Resultat der rhythmische Herzreiz ist, kann gegenwärtig noch nicht der Gegenstand der theoretischen Betrachtung werden. Diese Erkenntniss zwingt uns jedoch noch nicht zu einem Verzicht auf jede Art von theoretischer Betrachtung, da uns statt eines Hingehens auf die letzten Ursachen immer noch das auf die entferntern übrig bleibt. Unbestreitbar besteht doch die Möglichkeit, dass die molekularen Vorgänge, welche an der Herzerregung theilgenommen sind, sich gruppenweis zusammen ordnen, so dass der Erregungsvorgang als eine Resultirende dieser Gruppen zu betrachten wäre. Auf die Einrichtung und Verbindung dieser Gruppen können wir aber schliessen durch eine genauere Beobachtung der Herzbewegung und der Umstände, unter denen sich dieselbe ändert. In der That haben nun die Auslegungen der bis dahin gewonnenen Erfahrungen zu einer Hypothese im angedeuteten Sinne geführt.

Die Annahme, auf welche ich eben anspielte, behauptet in Übereinstimmung mit den besten Beobachtungen, dass der Erregungsapparat des Herzens aus zwei Stücken zusammengesetzt sei; das eine derselben soll die Summe der zur Verwendung kommenden Reize entwickeln, das andere (das regulirende oder hemmende) soll den rhythmischen Übergang der Reize auf die motorischen Nerven bewirken. Diese beiden Theile sind reizbar, es können also in Folge eines äussern Reizes auf sie Kräfte aus ihnen ausgelöst werden. — Den hemmenden Theil denkt sich ferner die gegenwärtig herrschende Hypothese nach Art eines

elastischen Widerstandes eingerichtet. Dieser letztere kann nun zwar mit veränderten Umständen von einem sehr ungleichen Werth sein; wenn aber die Bedingungen, unter denen das Herz lebt, sich gleich bleiben, - so soll dieses auch mit dem Widerstand der Fall sein. Diese Vorstellung schliesst also insbesondere die Annahme aus, dass das regulatorische Stück sich mit den verschiedenen Phasen der Herzbewegung oscillatorisch ändere. — Das reizentwickelnde Stück soll so beschaffen sein, dass es ununterbrochen erregende Kräfte in Freiheit setzt. Diese können aber nicht in demselben Moment, in welchem sie entstanden sind, auf den motorischen Nerven überspringen, denn hieran hindert sie der elastische Widerstand des Regulators; erst dann, wenn die Erregungsursachen in Folge ihres stetigen Anwachsens eine bestimmte Spannung erhalten haben, sind sie im Stande, den elastischen Widerstand zu durchbrechen. Ist dieses letztere aber einmal geschehen, so geht auch sogleich nahezu der ganze Vorrath der angesammelten Erregung in den Nerven über. Erhebt sich alsdann der nur zeitweilig niedergedrückte Widerstand von Neuem, so ist die Summe der jetzt vorhandenen Reizkräfte nicht gross genug, um sogleich wieder einen Durchbruch veranlassen zu können, sondern es kann dieses nur geschehen, nachdem sich abermals die erregenden Kräfte summirt haben. Fügen wir hinzu, dass auch die Summe der in der Zeiteinheit entwickelten Reize mit verschiedenen Umständen ungleich gross werden kann und ferner, dass die Hemmung und der Reiz durch dieselben Bedingungen in nicht gleicher Weise afficirbar sind, so liegt es auf der Hand, dass die vorliegende Hypothese geeignet sein muss, eine sehr grosse Zahl von Erscheinungen zu umfassen.

So weit ich jedoch einsehe, kann man unter strenger Anwendung derselben nur das Zustandekommen regelmässig wiederkehrender und gleich grosser Herzschläge erklären, vorausgesetzt natürlich, dass in dem betrachteten Zeitraum die Lebensbedingungen des Herzens nicht verändert sind. Nun ist es mir aber im Verlauf meiner Untersuchung oft begegnet, dass entweder gleich starke Schläge von ganz ungleich grossen Pausen unterbrochen waren, oder dass in mehr oder weniger regelmässigem Wechsel schwächere und stärkere Schläge, und zwar so auf einander folgten, dass jeder derselben zur Vollendung aller seiner Acte gleich viel Zeit bedurfte. Diese Erfahrungen, welche

sich selbstverständlich auf Zeiten beziehen, in denen, so weit ersichtlich, die äussern Lebensbedingungen des Herzens vollkommen unverändert blieben, scheinen mir unvereinbar mit der Annahme eines constanten Widerstandes im regulatorischen Apparate. Dieser Punkt wird also künftig eine genauere Beachtung fordern.

4. Allmählig veränderte Temperatur. — Der Reihenfolge entsprechend, in der ich meine Beobachtungen mitgeteilt habe, will ich auch zuerst versuchen, wie weit sich die Erfolge der allmählig veränderten Temperatur mit Hilfe der obigen Hypothese erklären lassen. — Wenn das Herz von der mittlern Temperatur aus bis zu 0° und darunter abgekühlt wird, so muss innerhalb des Temperaturintervalles, in welchem die Zahl der Schläge, nicht aber ihr Umfang, vermindert wurde, die Kraft des Hemmungsorganes gewachsen sein. Dieses ergibt sich daraus, weil der Umfang des einzelnen Schlags nicht kleiner geworden, trotzdem dass in Folge der niedern Temperatur die Reizbarkeit des Nerven und des Muskels herabgesetzt ist; also muss der Reiz ein stärkerer geworden sein. Nach der Summationshypothese der Reize ist dieses nur möglich, wenn die Grösse des Widerstandes für den Übergang derselben auf die Nerven gestiegen ist. Eine Bestätigung für diese Annahme scheint durch das Seltenerwerden der Schläge gegeben zu sein. Ob, wie nicht unwahrscheinlich, auch die Summe der in der Zeiteinheit freigewordenen Reize durch die Abkühlung vermindert wird, lässt sich aus schon früher angeführten Gründen (pag. 292) nicht angeben. — Der so eben aufgestellte Erklärungsgrund für die Erscheinungsweise des Herzschlags in dem augenblicklich betrachteten Temperaturintervall scheint auf den ersten Blick in Widerspruch zu stehen mit den Ergebnissen, welche die elektrische Reizung des Herzens in jener Zeit hervorruft. Setzt man nämlich bei mittlerer Temperatur zwei feine um 4 Mm. von einander abstehende Drahtspitzen an den durch das Serum ausgedehnten sinus venosus und schickt durch die Drähte einige Inductionsschläge, so steht das Herz lange Zeit hindurch still. Führt man denselben Versuch an dem Herzen aus, welches nahezu bis auf 0° abgekühlt, aber noch im Schlagen begriffen ist, so verlängert man hierdurch wohl die Pausen, aber nicht so beträchtlich, als es bei mittleren Temperaturen geschehen kann. Ist das Herz bei noch weiterer Abkühlung in einen voll-

kommenen Stillstand gerathen, so ruft nun umgekehrt die elektrische Reizung am sinus venosus einzelne Schläge des ganzen Herzens hervor. Aus diesen Thatsachen scheint allerdings zu folgen, dass die Reizbarkeit des regulatorischen Apparates gesunken ist. Damit ist aber immer noch die Annahme vereinbar, dass der Widerstand gross geblieben, welchen das Hemmungsorgan dem Übergang der Reize auf die Nerven entgegensetzt.

Auf Grundlage meiner Beobachtungen bleibt es unentschieden, warum bei immer tieferer Abkühlung die Excursionen des Schläges erst geringer und dann 0^0 werden. Es ist möglich, dass der Erregungsapparat allmählig aufhört Reize zu entwickeln; ebenso denkbar aber ist es auch, dass die Erregbarkeit der motorischen Theile zu tief gesunken ist, um auf die freigewordenen Reize noch zu antworten; diese würden demnach wirkungslos durch die Nerven fahren.

Die gesammte Gruppe von Erscheinungen, welche zu Tage kommt, wenn das Herz von der mittlern Temperatur aus allmählig bis zu dem Grade erwärmt wird, bei welchem die Schlagzahl auf ihr Maximum kommt, deutet darauf hin, dass gleichzeitig die Summe der Kräfte in dem erregenden und in dem hemmenden Centrum abnimmt. — Dass die Summe der erregenden Kräfte kleiner wird, welche in der Zeiteinheit auf die Auslösung der Contraction verwendet werden, scheint aus der in A. 6 enthaltenen Betrachtung hervorzugehen. Will man aber, wenn dieses feststeht, die Beschleunigung des Herzschlags noch erklären unter Aufrechthaltung der gangbaren Hypothese, so bleibt nichts anderes übrig, als eine Schwächung der Hemmung anzunehmen, und da trotz einer steigenden Abnahme der erregenden Kräfte die Zahl der Schläge für gleiche Temperaturintervalle um so mehr wächst, je näher das Herz der Temperatur kommt, bei welcher es das Maximum seiner Schlagzahl erreicht, so muss man consequenter Weise auch folgern, dass bei jener Temperatur der Widerstand rascher als die Erzeugung von Erregung abnimmt.

Die soeben gezogene Folgerung kann aber nicht mehr als gültig betrachtet werden, wenn das Herz die Temperatur der höchsten Schlagzahl überschritten hat, denn von diesem Punkte an werden die Schläge seltener, und zugleich werden sie entweder kleiner, oder sie bleiben gleich gross. Der letztere Fall (Verlängerung der Pausen ohne gleichzeitige Abnahme des Um-

fangs der Schläge) kann offenbar nur so gedeutet werden, dass der Widerstand nicht weiter abgenommen, dass dagegen die Summe der Reize, welche in der Zeiteinheit entwickelt werden, eine geringere geworden. Im andern Falle, in welchem die Pausen wachsen und der Umfang der Schläge abnimmt, muss dagegen auch noch eine Verminderung des Widerstandes eingetreten sein.

Der Stillstand des Herzens in der Wärme erfolgt jedenfalls deshalb, weil den Reizen die genügende Stärke zur Auslösung einer Zuckung fehlt. Dieses ergibt sich aus den bekannten Erfahrungen über das Verhalten der Nerven- und Muskelreizbarkeit in den Temperaturen des Stillstandes; für das Herz aber insbesondere daraus, weil zu jener Zeit tactile und elektrische Reize von geringem Werth sogleich einen Herzschlag hervorrufen. Es bleibt also nur fraglich, ob der Process, welcher die Reize entwickelt, seine Thätigkeit eingestellt hat, oder ob in Folge einer Lähmung des Hemmungsorgans die Einzelreize nicht mehr zu Werthen summirt werden, wie sie zur Auslösung einer Zuckung genügen. Die Erscheinungen, welche dem Stillstande unmittelbar vorausgehen, weisen allerdings darauf hin, dass Beides, die Entwicklung der Reize und die Einrichtungen zur Summirung derselben, auf ein Minimum herabgesunken ist.

In der Periode des Wärmestillstandes ist jedenfalls die Reizbarkeit des regulatorischen Apparates so gut wie aufgehoben; man kann nämlich während seines Bestehens durch die beschränkte Reizung am sinus venosus, welche am mässig temperirten Herzen unfehlbar einen Stillstand hervorrufft, einen vollkommenen Tetanus der Ventrikel auslösen, der so lange anhält, als die Reizung überhaupt dauert. Insofern unterscheidet sich der im Wärmestillstand anwesende Zustand des Herzens von allen übrigen; denn bei allen übrigen Temperaturen kann eine tetanische Reizung erst die Frequenz der Schläge ausserordentlich mehren, aber niemals eine tetanische Zusammenziehung hervorrufen. Nun kann im Wärmestillstand dieses Letztere sogar von einem Orte aus geschehen, der mit Ausnahme des unter 0° erkalteten Herzens immer nur Stillstand erzeugt. Die Eigenschaften der nervösen Centralorgane müssen sich aber im Wärmestillstand auch von denen unterscheiden; die im Kältestillstand vorhanden sind; denn dort brachte die dauernde Reizung des sinus venosus nur eine Zuckung, aber keinen Tetanus hervor.

Unter Berücksichtigung dieser Thatsache kann man allerdings geneigt sein anzunehmen, dass alle Einrichtungen, welche sonst die Erfolge des äussern Reizes zu modificiren vermögen, vollkommen ausgefallen sind, mit einem Wort, dass die Organe, welche die Reize erzeugen und summiren, in einen Scheintod gefallen sind.

Zu dieser Annahme ist auch schon *Schelske* gelangt in Folge der Erscheinungen, welche er nach Reizung des Vagus an dem erwärmten und ruhenden Herzen eintreten sah. Während der Reizung des genannten Nerven sah er den Ventrikel in wogender Zusammenziehung (im Tetanus mit Intermissionen) begriffen. Allerdings würde dieser Erfolg, wenn er bei vollkommen isolirter Reizung des n. vagus einträte, dafür sprechen, dass die an der Bahn dieser Nerven etwa vorhandenen regulatorischen Apparate gänzlich ausser Wirksamkeit gekommen seien, denn ohne dieses konnte der n. vagus seine Function nicht umkehren. Nun scheint mir aber, wie ich aus einer häufigen Wiederholung des Versuchs von *Schelske* schliesse, dass der Verdacht einer gleichzeitigen directen Herzreizung nicht vollkommen ausgeschlossen ist. Bekanntlich muss man, um vom n. vagus aus das normal temperirte Froschherz zum Stillstand zu bringen, schon ziemlich starke Ströme anwenden, und nicht minder starker bedarf es, um von demselben Orte aus das ruhende in Zuckung zu versetzen. Unter allen Umständen werden also Stromschleifen in das Herz gehen. Da nun durch die Wärme die elektrische Leitungsfähigkeit der Nerven- und Muskelmasse erhöht ist, da die Nerven und Muskeln des Herzens reizbarer geworden, die Erregbarkeit des Hemmungsorgans dagegen herabgesetzt ist, so konnten jetzt die Stromschleifen einen Erfolg erzeugen, der ihnen vorher versagt war. — Eine mechanische oder chemische Reizung des n. vagus am erwärmten Herzen wird demnach zur Entscheidung vorzunehmen sein.

Als das Resultat der bis dahin durchgeführten Vergleichung ergibt sich allerdings, dass meine Versuche ein experimentum crucis weder für noch wider die gangbare Hypothese enthalten, aber ich hoffe die Überzeugung geweckt zu haben, dass es noch sorgfältigeren Specialstudien, als sie bei dieser mehr auf eine allgemeine Übersicht berechneten Arbeit möglich waren, gelingen werde, manche Zusätze und Aushesserungen in der Theorie des Herzschlags anzubringen.

Eine besondere Erklärung erfordert noch der peristaltische Ablauf der Contraction unmittelbar vor dem Herzstillstand. Rührt er davon her, dass die Erregungen in den einzelnen Heerden sich nicht mehr gleichzeitig entwickeln? oder davon, dass die Übertragungswerkzeuge, welche zwischen den verschiedenen Nervenröhren die gleichzeitige Bewegung vermitteln, ausser Wirksamkeit gekommen sind? Der elektrische Reizungsversuch spricht für die erste Annahme; man kann nämlich, wie schon erwähnt, in jener Periode durch den Inductionsschlag auf eine eng umgrenzte Stelle der Ventrikel oder der Vorhöfe eine vollkommen gleichzeitige Zusammenziehung aller Herzfasern hervorrufen.

2. Plötzlich veränderte Temperatur. — Die Erscheinungen, welche die plötzliche Temperaturveränderung im Gegensatz zur allmählichen hervorruft, und die Analogie, welche in dieser Beziehung zwischen dem Herzen und dem gewöhnlichen Nervenmuskelpreparat besteht, führen zu der Annahme, dass die plötzliche Temperaturänderung vorzugsweise reizend wirke. Es scheint mir nicht uninteressant, darauf hinzuweisen, dass sich in gewisser Beziehung der galvanische Strom und die Wärme ähnlich verhalten. Eine rasche Schwankung beider bedingt eine Reizung, während die dauernde Anwesenheit beider die Reizbarkeit umgestaltet.

Wenn aber die von 20° auf 40° C. plötzlich hereinbrechende Wärme die nervösen Herztheile reizt, so muss sie diese Wirkung vorzugsweise, entweder auf den Vagus oder auf das regulatorische Organ ausüben; denn in der That ruft die plötzliche Steigerung der Temperatur Erscheinungen hervor, wie sie sonst nach Vagusreizen eintritt. Hierfür spricht zuerst die Curve des Schlages selbst, welche, wie ich schon oben angegeben, die grösste Ähnlichkeit mit der besitzt, die man bei einer elektrischen Reizung des Vagusstammes beobachtet. Noch sicherer würde man die seltenen und starken Schläge auf eine Vagusreizung beziehen dürfen, wenn es fest stände, dass starke Dosen von Curare die Enden des herumschweifenden Nerven innerhalb des Herzens lähmten. An dem mit dem genannten Gift behandelten Herzen ruft die plötzliche Temperatursteigerung jenen Schlagmodus nicht hervor. Nun wissen wir aus frühern Beobachtungen von *Heidenhain*, welche *Czermak* bestätigt hat, dass das Curare die Reizbarkeit des Vagusstammes vernichtet.

Da, wie ich mich überzeugt habe, auch an den von mir vergifteten Herzen die Reizbarkeit des Vagus erloschen war, so scheint hierdurch mein Erklärungsgrund gerechtfertigt. Wollte man einwenden, dass der bekannte Versuch von *Stannius* an curarisirten Herzen noch gelinge, und dass damit das Bestehen der Reizbarkeit in den Herzenden des Vagus bewiesen sei, so würde ich mit *Czermak* erwidern: es könne das Gelingen des Unterbindungsversuches auch aus einer directen Reizung des regulatorischen Apparates selbst abgeleitet werden, die demnach durch Curare nicht vergiftet wird. — Warum nun aber vorzugsweise durch das plötzliche Anwachsen der Temperatur der Vagus gereizt wird, könnte eben sowohl in seinen besonderen Lagerungsverhältnissen, als auch in seiner grössern Erregbarkeit begründet sein.

Der letztern Unterstellung bin ich geneigt den Vorzug zu geben, weil es dadurch erklärlich wird (p. 297), dass die von 0 auf 40° C. plötzlich gesteigerte Wärme gerade umgeehrt wirkt, wie die von 20° auf 40° C. anwachsende, indem sie statt einer Pause eine secundenlange Herzcontraktion hervorrufft. Möglich bleibt es allerdings, dass die Nerven und Muskeln des stark und lange erkälteten Herzens bei der plötzlichen Erwärmung in einen von ihnen unmittelbar ausgehenden Tetanus verfallen, wie es unter ähnlichen Umständen am Schenkelpräparat des Frosches so oft begegnet.
