Zum Vergleich des Ablaufs des Elektrokardiogramms mit der Stärke der Herzkontraktion.

Von

F. B. Hofmann.

[Aus dem Physiologischen Institute zu Marburg (Direktor Geheimr. Prof. Dr. F. B. Hofmann).]

Mit 4 Textabbildungen.

(Eingegangen am 26. Juli 1920.)

Vielfach ist die Frage erörtert worden, ob man aus der Zackenhöhe des Elektrokardiogramms einen Rückschluß auf die Stärke der zugehörigen Systole ziehen könne. Um in dieser äußerst schwierigen Frage zu klaren Anschauungen zu gelangen, empfiehlt es sich, von den einfachsten Verhältnissen auszugehen, wie sie vorliegen, wenn man am isolierten, blutleeren, frei in der Luft suspendierten Froschherzen gleichzeitig die Kontraktionskurve und den Aktionsstrom verzeichnet. Hängt man den Froschventrikel an den Aorten auf und verbindet seine Spitze mit einem Schreibhebel, so verzeichnet man im wesentlichen die Kontraktion eines vom Bulbus cordis zur Herzspitze hinziehenden gespannten Muskelstreifens. An diesen legt man nun an einer Stelle die Reizelektrode an und an zwei andere Stellen die beiden unpolarisierbaren Ableitungselektroden. Sind die beiden Ableitungsstellen unverletzt, so erhält man den zweiphasischen Aktionsstrom, versengt man die eine Ableitungsstelle vorher mit einem heißen Glasstab, so erhält man den zugehörigen einphasischen Aktionsstrom, und kann so an einem und demselben Herzen den Verlauf beider unter verschiedenen Bedingungen miteinander und mit dem Ablauf der Kontraktionskurve vergleichen. Ich habe derartige Versuche in größerer Zahl sowohl mit dem Kapillarelektrometer, als auch mit dem Saitengalvanometer ausgeführt, und möchte nun hier auf einen Faktor hinweisen, der bei meinen Versuchen eine beträchtliche Rolle spielte, der aber bisher bei diesen Vergleichen noch nicht allgemein berücksichtigt worden ist.

Was zunächst den Vergleich des einphasischen Aktionsstromes mit dem Kontraktionsablauf betrifft, so gehen einander beide am un vergifteten Froschherzen in zwei Fällen durchaus parallel, nämlich 1. bei einer Änderung der Reizfrequenz unterhalb des Optimums

des Reizintervalls (vgl. darüber das Folgende!). Je kürzer das Intervall zwischen den Systolen, desto schwächer werden die Kontraktionen, desto niedriger wird aber auch der einphasische Aktionsstrom. 2. Bei der abschwächenden Vaguswirkung. Auch hier nimmt wiederum nicht bloß die Kontraktionsstärke, sondern auch ihr proportional die Höhe des Aktionsstromes ab.¹⁾

Daneben gibt es freilich andere Fälle, in denen die Proportionalität zwischen der Änderung der Kontraktionshöhe und der Änderung des Aktionsstromes vermißt wird. Zunächst nimmt, wie zuerst ich (l. c.) und später Noyons,²⁾ H. Straub,³⁾ Samojloff (l. c.), W. Trendelenburg⁴⁾ und Klewitz⁵⁾ fanden, nach der Muskarinvergiftung des Froschherzens die Kontraktionshöhe viel rascher ab, als die Stärke des Aktionsstroms, so daß man schließlich das auffällige Extrem erhält, daß Kontraktionen des Herzens gar nicht mehr zu sehen sind, während die Aktionsströme noch immer, allerdings mit verminderter Stärke, weiter ablaufen. Nun hat freilich neuerdings Einthoven⁶⁾ dargetan, daß das schließliche Verschwinden der Kontraktionen dabei bloßer Schein ist, und daß man mit sehr empfindlichen Registriermethoden auch in diesen Fällen scheinbaren Stillstandes noch äußerst schwache Kontraktionen nachweisen kann. Trotzdem bleibt aber bestehen, daß das Absinken der Kontraktionshöhe und die Abnahme des Aktionsstromes einander nicht proportional gehen, denn während die erstere schon auf einen ganz unbedeutenden Betrag abgesunken ist, hat sich der letztere zur selben Zeit entweder noch gar nicht (Trendelenburg) oder wenigstens nicht im gleichen Ausmaß vermindert.

Ein zweiter Fall, in dem Höhe des Aktionsstromes und der Kontraktion voneinander verschieden sind, tritt unter Treppenbedingungen auf. Bringt man den isolierten stillstehenden Froschventrikel durch künstliche rhythmische Reizung zum Schlagen, so nimmt die Kontraktionshöhe, wenn man das Intervall zwischen zwei Reizungen vergrößert, zunächst bis zu einem gewissen, je nach den Umständen wechselnden Zeitbetrage, den ich⁷⁾ als das „Optimum des Reizintervalls“ bezeichnet habe, zu. Verlängert man das Reizintervall über das Optimum hinaus, so nimmt umgekehrt die Kon-

¹⁾ Hofmann, Zur Theorie der Muskelkontraktion. Berichte d. naturw.-med. Vereines zu Innsbruck, Bd. 30, S. 131. 1907. Später bestätigt von Samojloff, Arch. f. d. ges. Physiol. **155**, 471. 1914.

²⁾ Onderzoek. Physiol. Lab. Utrecht, 5. Reihe, Bd. 10, S. 208. 1909.

³⁾ Zeitschr. f. Biol. **53**, 106. 1910.

⁴⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. **144**, 39. 1912.

⁵⁾ Zeitschr. f. Biol. **67**, 279. 1917.

⁶⁾ Vortrag auf der 7. Tagung d. Deutschen Physiol. Ges.: Hamburg 1920. Vgl. ferner Einthoven und Hugenholtz, Ned. Tijdschr. v. Geneesk. **1**, 310. 1919 (zitirt nach Zentralbl. f. Biochemie u. Biophysik **20**, 488).

⁷⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. **84**, 130. 1901.

traktionshöhe umsomehr ab, je länger das Reizintervall gemacht wird. Läßt man nach einer längeren Reizpause eine Serie rasch aufeinander folgender Reize einwirken, so ist die erste Kontraktion nach der Pause niedriger, als die folgenden, die allmählich an Höhe zunehmen — „Bowditchsche Treppe“. (Bezüglich der gleichzeitigen sehr charakteristischen Änderungen des Kontraktionsablaufs vgl. man meine eben zitierte Abhandlung.) Verzeichnet man nun mit den Kontraktionen auch den einphasischen Aktionsstrom, so stellt sich heraus, daß der erste nach der Pause größer ist, als die nächstfolgenden, die dann eventuell schwach das Phänomen der Treppe erkennen lassen.

Betrachten wir den Aktionsstrom als Index für die Größe des dem mechanischen Kontraktionsakt vorhergehenden Stoffwechselvorganges, der eigentlichen sog. „Erregung“, so besagt diese Differenz zwischen Größe des Aktionsstromes und Höhe der Kontraktion, daß unter Umständen bei gleich großer Erregung der mechanische Effekt derselben geringer werden kann. Es wird dann, wie ich in der eingangs zitierten Abhandlung näher ausgeführt habe, die Übertragung der Erregung in den Kontraktionsakt, die Kontraktilität im engeren Sinne, geschädigt, so daß an sich starke Erregungen nur zu einem wenig ausgiebigen mechanischen Effekt führen. Das Gegenteil davon, eine Förderung der Kontraktilität, d. h. eine Verstärkung des mechanischen Effekts der Erregung, erhält man bei Reizung der Förderungsnerven: Die Reizung derselben wirkt der Treppe entgegen.

Für die Beurteilung der Zacken des Elektrokardiogramms sind die Beobachtungen an einphasischen Aktionsströmen nur vorbereitende Untersuchungen, da es sich ja beim Elektrokardiogramm um eine gegenseitige Interferenz der zweiphasischen Aktionsströme verschiedener Muskelbündel handelt. Wir haben uns daher, um der Sache näherzukommen, die Frage vorzulegen, wie sich Änderungen im Ablauf des einphasischen Aktionsstromes am zweiphasischen äußern. Da ergeben nun Überlegung und Experiment übereinstimmend, daß die Größenänderung der beiden Ausschläge des zweiphasischen Aktionsstromes außer von der Größenänderung des einphasischen Aktionsstromes an sich noch von zwei anderen Faktoren abhängt, nämlich 1. von der Leitungszeit der Erregung zwischen den beiden Ableitungsstellen und 2. von der Steilheit des Anstieges bzw. des Absinkens des Aktionsstromes.

Zur näheren Erläuterung greifen wir auf die gewöhnliche Ableitung des zweiphasischen Aktionsstromes aus der teilweisen Kompensation der einphasischen Aktionsströme der beiden Ableitungsstellen zurück, wie sie in Abb. 1 schematisch wiedergegeben ist. Es sei aa^1 der Verlauf des Aktionsstromes, wenn die der Reizstelle näher gelegene Ableitungsstelle, bb^1 der entgegengesetzt gerichtete, sonst aber dem vorigen

gleiche Aktionsstrom, wenn die von der Reizstelle weiter entfernte Ableitungsstelle erregt ist. Ist keine der beiden Ableitungsstellen verletzt, so resultiert aus dem Zusammentreffen der beiden einphasischen Aktionsströme der zweiphasische Aktionsstrom, der durch die stark ausgezogene Linie 1 = erste Phase, 2 = zweite Phase dargestellt ist. Die Strecke *ab* vom Beginn bis zum Gipfel der ersten Phase entspricht der Leitungszeit der Erregung von der ersten bis zur zweiten Ableitungsstelle.

Vergleichen wir nun den zweiphasischen Aktionsstrom in zwei Fällen miteinander, die sich durch verschiedene Höhe der einphasischen Aktionsströme voneinander unterscheiden, und nehmen dabei zunächst an, die Steilheit des Anstieges sei beim hohen und niedrigen Ausschlage des einphasischen Aktionsstroms gleich, bloß das schließlich erreichte Maximum des Ausschlages sei verschieden, so wie es in Abb. 2, in der Kurve 1 den Verlauf des stärkeren, Kurve 2 den Verlauf des schwächeren Aktionsstromes angibt, schematisch eingezeichnet ist. Man erkennt nun sogleich, daß die erste Phase des zweiphasischen Aktionsstromes, die in Abb. 2 punktiert angedeutet ist, trotz der Abnahme der Höhe des einphasischen Aktionsstromes unverändert bleibt, wenn die Leitung der Erregung von der ersten zur zweiten Ableitungsstelle der Strecke *ab* entspricht. Dagegen verkleinert sich die erste Phase bei der Abnahme der Höhe des einphasischen Aktionsstromes, wenn ihre Spitze auf die Vertikale *c* fällt, die Leitungszeit also der Strecke *ac* entspricht. Verringert sich gleichzeitig mit der Abnahme der Höhe des einphasischen Aktionsstromes auch die Geschwindigkeit der Erregungsleitung von der ersten Ableitungsstelle zur zweiten, verlängert sich also die Leitungszeit etwa von *ab* auf *ac*, so nimmt die erste Zacke des zweiphasischen Aktionsstromes sogar an Höhe zu, obwohl der einphasische Aktionsstrom und die Kontraktion unter den gleichen Bedingungen an Höhe abnehmen. Nur im zweiten der eben aufgezählten drei Fälle erhalten wir also bei einer Abnahme der Höhe des einphasischen Aktionsstromes auch eine Abnahme der Höhe des ersten Ausschlages des zweiphasischen Aktionsstromes. Dieser Fall war aber in meinen Versuchen keineswegs die Regel, ich besitze vielmehr vom künstlich gereizten Froschventrikel auch zweiphasische Aktionsströme, in denen

Abb. 1.

Abb. 2.

der erste Ausschlag trotz der Abschwächung des einphasischen Aktionsstromes unverändert hoch blieb (siehe unten Abb. 4!), ja gelegentlich habe ich sogar eine Zunahme der ersten Zacke bei Verkürzung des Reizintervalls beobachten können.

Die Bedeutung der Leitungsgeschwindigkeit für die Höhe des ersten Ausschlages des zweiphasischen Aktionsstromes hat auch schon de Boer¹⁾ nachdrücklich betont. Er wies nach, daß bei einer Abnahme der Leitungsgeschwindigkeit der erste Ausschlag höher und vor allem breiter wird, bei einer Zunahme der Leitungsgeschwindigkeit dagegen niedriger und schmaler. In den Schemata, aus denen de Boer diese Folgerungen ableitet, läßt er allerdings die gleichzeitig vorhandene Änderung der Höhe des einphasischen Aktionsstromes unberücksichtigt. Tut man dies, dann ist die Erhöhung und Verbreiterung der ersten Phase in der Tat eine zwingende Folge einer Leitungsverzögerung. Berücksichtigt man aber ferner die mit der Verkürzung des Reizintervalls und der negativ inotropen Vaguswirkung verknüpfte Abschwächung des einphasischen Aktionsstromes, so gelangt man zu meinem obigen Schema, das sich noch mehr den wirklichen komplizierteren Verhältnissen nähert.

Der zweite Faktor, der hier mit zu berücksichtigen ist, ist die Anstiegsgeschwindigkeit des Aktionsstromes. Würde diese bei verringerter Höhe des einphasischen Aktionsstromes gleichfalls weniger

Abb. 3.

steil, wie es in Abb. 3 durch den Übergang von Kurve 1 auf Kurve 2 schematisch dargestellt ist, so würde die Höhe der ersten Phase des zweiphasischen Aktionsstromes bei gleichbleibender Leitungszeit *ab* jedenfalls abnehmen, gleichviel an welcher Stelle des Anstiegs der Umkehrpunkt über *b* liegt. Nun änderte sich allerdings in meinen Versuchen am Froschherzen (bei der abschwächenden Vaguswirkung

und bei Frequenzänderungen) die Steilheit des Anstiegs des einphasischen Aktionsstromes trotz verschiedener Höhe desselben nur sehr wenig, so daß das Verhalten der ersten Phase des zweiphasischen Aktionsstromes im wesentlichen durch die Länge der Leitungszeit bestimmt war, wie es oben auseinandergesetzt wurde. Dagegen wird die verschiedene Steilheit des Anstiegs stark in Betracht kommen, wenn bei sonst gleicher Dauer des Ablaufs die elektromotorische Kraft des Aktionsstromes größer ist, wie dies z. B. am Elektrokardiogramm bei Hypertrophie der Muskulatur anzunehmen ist.

Die Überlegungen, die im Vorigen über den ersten Ausschlag des

¹⁾ De Boer, Zeitschr. f. Biol. **65**, 428. 1915. Journ. of Physiol. **49**, 310. 1915. Arch. f. d. ges. Physiol. **173**, 78. 1919.

zweiphasischen Aktionsstromes angestellt wurden, gelten im allgemeinen auch für den zweiten, bei künstlicher Reizung entgegengesetzt gerichteten Ausschlag des zweiphasischen Aktionsstromes, bloß daß anstelle der Geschwindigkeit des Anstiegs nunmehr die Steilheit des Absinkens tritt. Auch die Größe des zweiten Ausschlages hängt daher nicht einzig und allein von der Höhe, sondern außerdem von der Art des Absinkens des einphasischen Aktionsstromes und von der Änderung der Leitungsgeschwindigkeit ab. Nimmt die Höhe des einphasischen Aktionsstromes bei gleichbleibender Leitungszeit und gleichartigem Absinken des Stromes ab, so nimmt auch der zweite Ausschlag des zweiphasischen Aktionsstromes etwas an Höhe ab. Nimmt aber gleichzeitig mit der Abnahme der Höhe des einphasischen Aktionsstromes die Leitungszeit zu, so kann die Abnahme der Höhe der zweiten Phase verdeckt oder sogar überkompensiert werden durch das stärkere Hervortreten des Endes des zweiten Aktionsstromes. Man denke sich in Abb. 1 die Kurve bb^1 immer weiter nach rechts verschoben, dann wird ihr Ende immer weniger durch den entgegengesetzt gerichteten Strom aa^1 verdeckt, und der Ausschlag 2 wird dementsprechend immer höher. Von großem Einfluß ist ferner die Art des Absinkens des einphasischen Aktionsstromes. Erfolgt dieses steiler, so wird der Ausschlag 2 unter sonst gleichen Umständen ebenfalls höher. Änderungen des Absinkens des einphasischen Aktionsstromes scheinen aber öfter vorzukommen, als Änderungen der Anstiegsgeschwindigkeit. Deshalb sind die Verhältnisse bei der zweiten Phase im allgemeinen noch verwickelter, als bei der ersten.

Der weitaus regelmäßige Befund bei einer Abnahme der Höhe der einphasischen Aktionsströme, wie sie bei der abschwächenden (negativ inotropen) Vaguswirkung und bei einer Erhöhung der Schlagfrequenz auftritt, ist aber nicht die Änderung der Höhe und Form der Ausschläge, sondern die zeitliche Annäherung des ersten und des zweiten Ausschlages aneinander. Das hängt mit einer Erscheinung am einphasischen Aktionsstrom zusammen, die in Abb. 2 schematisch dargestellt ist. In allen Fällen nämlich, in denen die Höhe des einphasischen Aktionsstromes infolge einer Zunahme der Schlagfrequenz oder bei negativ inotroper Vaguswirkung abnahm, beobachtete ich ganz ohne Ausnahme auch eine Verkürzung seiner Dauer. Wenn also z. B. der Verlauf des einphasischen Aktionsstroms bei langsamer Schlagfolge durch die Kurve 1 in Abb. 2 dargestellt war, so änderte er sich bei Zunahme der Schlagfrequenz oder unter dem Einfluß der abschwächenden Vaguswirkung in die Form der Kurve 2 um: er wurde niedriger und seine Dauer kürzer. Je kürzer aber die Dauer des einphasischen Aktionsstromes ist, desto mehr müssen sich die beiden entgegengesetzten Ausschläge des in Abb. 1 stark eingezeichneten zweipha-

sischen Aktionsstromes einander nähern. Demnach ist bei künstlicher Reizung die Annäherung der beiden Ausschläge des zweiphasischen Aktionsstroms ein sicheres Zeichen für die Abschwächung des ihnen zugrundeliegenden Erregungsvorgangs, und zwar ein viel sichereres, als die Form und Größe der ersten oder gar der zweiten Zacke. In den Fällen also, in denen der eigentliche Erregungsvorgang und die Stärke der mechanischen Kontraktion einander parallel gehen, kann man aus der Länge des Intervalls zwischen dem ersten und dem zweiten Ausschlag des zweiphasischen Aktionsstroms in der Tat einen Schluß auf die Kontraktionsstärke ziehen.

Ich führe zur Illustration des Gesagten in Abb. 4 ein Beispiel für diesen Fall an. Oben sind zwei zweiphasische Aktionsströme, die mit dem Kapillarelektrometer aufgenommen wurden, derart übereinander kopiert, daß der Anfang beider Kurven zusammenfällt. Unten sind die zugehörigen Kontraktionskurven in der gleichen Weise übereinander kopiert.¹⁾ Der Aktionsstrom 1 gehört zur höheren Kontraktionskurve 1, der Aktionsstrom 2 zur kleineren Kontraktionskurve 2. Wie man sieht, kann man am ersten Ausschlag beider Aktionsströme nach oben keinen Unterschied zwischen 1 und 2 entdecken, wohl aber ist der zweite entgegengesetzt (nach unten) gerichtete Ausschlag des Aktionsstromes 2 etwas niedriger, als der von 1. Das ist aber bei derartigen Versuchen durchaus nicht immer der Fall. Ohne Ausnahme aber findet man jedesmal den zweiten Ausschlag des schwächeren Aktionsstromes näher an den ersten herangerückt, als den des stärkeren, wie dies auch in der Abb. deutlich zu sehen ist. Von der Änderung der Leitungsgeschwindigkeit ist diese Erscheinung an und für sich unabhängig. In der Abb. ist die Leitungszeit in den beiden Aktionsströmen gleich, wie man an der gleichen Dauer des Anstiegs der ersten Phase erkennt. Trotzdem ist die Annäherung der beiden Ausschläge aneinander vorhanden.

Die Verkürzung des einphasischen Aktionsstromes bei Abnahme seiner Höhe hat nun natürlich, wie die Abb. 4 ohne weiteres erkennen läßt, auch eine Verkürzung der Gesamtdauer des zweiphasischen Aktionsstromes zur Folge. Auf diesen Zusammenhang zwischen der Dauer des Ventriclelektrogramms und der Höhe der Kontrak-

¹⁾ Es handelt sich nicht um eine schematische Abb., sondern um ganz genaue Kopien von Aktionsstrom- und Kontraktionskurven. Beide Kurven wurden mittels des Projektionsapparates vergrößert auf eine Zeichenpapierfläche projiziert, dort die Konturen genau nachgezeichnet und dann die Kurven wieder photographisch verkleinert. Ich habe den Vergleich von Kontraktion und Aktionsstrom auch unter Verwendung des Saitengalvanometers ausgeführt, bringe aber der einfacheren Reproduktion wegen hier bloß ein Beispiel von Kapillarelektrometerkurven.

tionen hat auch schon Mines¹⁾ aufmerksam gemacht. Seine Versuche sind so angestellt, daß er das Froschherz zwar noch im Körper ließ, es aber an der Spitze suspendierte und seine Kontraktionen verzeichnete. Gleichzeitig wurden zur Ableitung des Elektrogramms eine Elektrode an die Ventrikelspitze, die andere meist an den Venensinus angelegt. Mines fand nun, daß in vielen Fällen der höheren Ventrikelkontraktion auch eine längere Dauer des Ventrikel-Eg.s entsprach. Unter den Ausnahmen, die er beschreibt, befindet sich außer der Wirkung des Kalziummangels auch die von mir schon früher beschriebenen Erscheinungen der Treppe. Dagegen ist bei einer Frequenzzunahme unterhalb des Optimums und mit einer reinen abschwächenden Vaguswirkung regelmäßig die Abnahme der Kontraktionshöhe mit einer Verkürzung des Eg.s verbunden. Faßt man alles zusammen, so kann man sagen, Mines Beobachtungen über die Länge des Eg.'s stimmen bis in die Einzelheiten (Treppe, Wirkung der Förderungsnerve) mit meinen eigenen früheren Untersuchungen, die Mines entgangen waren, überein.

Versuche mit gleichzeitiger Verzeichnung der Kontraktionen und des zweiphasischen Aktionsstromes am freihängenden, künstlich gereizten Herzen können natürlich an sich noch keine volle Entscheidung über die viel verwickelteren Verhältnisse am Ekg. des in situ spontan schlagenden Herzens erbringen, aber sie müssen uns die prinzipiellen Gesichtspunkte liefern, die auch im letzteren Falle beim Vergleich von Kontraktionsstärke und Ekg. zu beachten sind. Dabei werden wir allerdings Form und Größe der Finalschwankung des Ventrikels — Einthovens T-Zacke — von vornherein außer Betracht lassen, erstens wegen der theoretischen Unsicherheit in der Deutung dieser Zacke und zweitens wegen der Schwierigkeiten, die sich hier schon am zweiphasischen Aktionsstrom des isolierten Herzens herausgestellt haben²⁾. Auf die Vorhofsacke und die Initialschwankung

Abb. 4.

¹⁾ Mines, Journ. of Physiol. **46**, 188 u. 349. 1913. Mines und Dale, Ebenda, S. 319 und Proc. Physiol. Soc., S. 28. 1913. Mines, Journ. of Physiol. **47**, 419. 1914.

²⁾ Ich gehe deshalb auch auf die Schlußfolgerungen über die Veränderung der T-Zacke bei einer Änderung der Leitungsgeschwindigkeit, wie sie de Boer (a. a. O.) für das Elektrogramm des spontan schlagenden Froschventrikels aus seinen Versuchen zieht, nicht weiter ein.

des Ventrikels — Einthovens R-Zacke — könnten wir aber unsere obigen prinzipiellen Überlegungen wohl anwenden. Zwar werden wir aus der Größenänderung der Zacke allein einen sicheren Rückschluß auf die Stärke der ihr zugrunde liegenden Erregung nicht ohne weiteres ziehen dürfen. Wenn man aber neben der Höhe des Ausschlags auch die Dauer und die Steilheit des Anstieges mit genügender Genauigkeit feststellen könnte, so wäre dann allerdings unter gewissen einschränkenden Bedingungen, die sich aus dem oben Gesagten ergeben, manchmal ein solcher Rückschluß möglich. Freilich ist das ein komplizierter Umweg, der auch nicht immer zum Ziele führen wird. Das sicherste Kennzeichen einer Abschwächung der Erregung bleibt daher vorläufig auch am Ekg. des in situ spontan schlagenden Herzens nicht die Zackenhöhe, sondern der Abstand zwischen der Anfangs- und Endschwankung des Ventrikel-Ekg.s, — Einthovens R- und T-Zacke. Daß diese sich bei der Abnahme der Schlagfrequenz auch am Säugetierventrikel merklich verlängert, ist von Einthoven¹⁾ gefunden und von Samojloff²⁾ bestätigt worden. In beiden Fällen handelte es sich um eine durch Vagusreizung hervorgerufene Abnahme der Schlagfrequenz. Bei der Vagusreizung am Säugetierherzen überwiegt bekanntlich der fördernde Einfluß der Pausen zwischen den Systolen weitaus über die abschwächende (negativ inotrope) Vaguswirkung, welche durch die erstere vollständig maskiert wird. Dabei fand sich nun regelmäßig eine geringe Verlängerung des Intervalls zwischen R und T. Ich habe mich ferner außerdem durch Saitengalvanometerversuche am Ventrikel von jungen Hunden davon überzeugt, daß auch der einphasische Aktionsstrom bei einer Verkürzung des Reizintervalls sich in genau derselben Weise gleichzeitig abschwächt und verkürzt, wie es in Abb. 2 durch den Übergang von Kurve 1 auf Kurve 2 dargestellt ist. Damit ist nachgewiesen, daß die experimentellen Grundlagen für diese Deduktionen auch beim Säugetierventrikel zu Recht bestehen. Man wird sich freilich keiner Täuschung darüber hingeben dürfen, daß auch diese Veränderungen in der Dauer des Aktionsstromes am Säugetierventrikel viel weniger ausgesprochen sind, als am Froschventrikel, und daß sie insbesondere am Ekg. leicht durch anderweitige Formänderungen der Kurve, wie sie z. B. in den Versuchen von H. E. Hering,³⁾ Rothberger und Winterberg⁴⁾ und anderen zu sehen sind, vollkommen in den Hintergrund gedrängt werden können.

Weitaus das interessanteste Ergebnis auch für die Beurteilung

¹⁾ Arch. f. d. ges. Physiol. **122**, 517. 1908.

²⁾ Ebenda, **135**, 417. 1910. Am Froschherzen fand Samojloff ebenso, wie ich, bei der Vagusreizung, sobald die Ventrikelkontraktionen kleiner wurden, eine Verkürzung des Aktionsstromes.

³⁾ Ebenda, **127**, 155. 1909.

⁴⁾ Ebenda, **135**, 506. 1910.

pathologischer Fälle scheint mir aber die Schädigung der Kontraktilität im eingangs dargelegten Sinne unter Treppenbedingungen und die Verbesserung derselben durch die Reizung der Förderungsnerven zu sein. Daß die auf eine etwas längere Pause folgende Kontraktion mitunter niedriger ist, als die Systole bei kürzerem Reizintervall, ist eine auch am Säugetierherzen wiederholt gemachte Beobachtung. Daß es sich hierbei um eine Schädigung der Kontraktilität im engeren Sinne handelt, ist nach den Ergebnissen am Froschherzen so gut wie sicher, nur ist es bisher am Säugetierherzen noch nicht genauer untersucht worden. Die Förderung der Kontraktilität durch den Sympathicus scheint sich aber aus den Versuchen von Rotberger und Winterberg tatsächlich ablesen zu lassen. Die Autoren berichten nämlich, daß nach dem Wegfall der beiden Ganglia stellata die Herzkontraktionen eigentümlich oberflächlich und kraftlos erschienen. Sieht man sich aber ihre Abb. 1 für den Verlauf des Ekg.s nach Wegfall des Tonus der Förderungsnerven an, so zeigt es eine ausgesprochene Verlängerung des Intervalls R—T, weist also auf eine Verlängerung und eine zweifellos damit verbundene Erhöhung der Aktionsströme hin, die auch der Abnahme der Pulsfrequenz entspricht.¹⁾ Das ist aber dieselbe Erscheinung herabgesetzter Kontraktilität, die man am Froschherzen unter Treppenbedingungen beobachtet. Es erscheint mir sehr wahrscheinlich, daß in dieser Abnahme der Kontraktilität ein Zeichen für jenen Zustand des Herzens gefunden werden könnte, den die Kliniker als „schlaffes“ Herz bezeichnen.

Schließlich möchte ich, ohne mich in lange theoretische Diskussionen einzulassen, noch bemerken, daß der eben auseinandergesetzte Zusammenhang zwischen der Verlängerung des Intervalls R—T mit der Zunahme der Stärke und Dauer des einphasischen Aktionsstromes und der ihm zugrunde liegenden Erregung davon unabhängig ist, ob man in bezug auf die Erregungsleitung im Ventrikel der von Kraus und Nicolai oder einer der anderen neuerdings geäußerten Ansichten beitrifft. Unsere Überlegungen vertragen sich mit jeder dieser Hypothesen, wenn nur die Grundanschauung über die Ableitung des zweiphasischen aus dem einphasischen Aktionsstrom dabei aufrecht erhalten wird.

¹⁾ In dem Schema am Schlusse der Abhandlung ist eine Verlängerung des Intervalls R—T nicht merklich, hier ist aber auch keine besondere Frequenzabnahme verzeichnet.