

(Aus dem Physiologischen Institut der Innsbrucker Universität.)
Vorstand: Prof. Dr. Ferd. Scheminzky.

Die Abhängigkeit der „Treppe“ von der Reizdauer beim Herzmuskel.

Von

W. Haberlandt, Innsbruck und Vera Magun, Schwäbisch Hall¹⁾.

Mit 3 Textabbildungen.

Seit langem ist bekannt, daß rhythmisch ausgelöste Zuckungen des Herz- bzw. Skelettmuskels trotz unveränderter Reizgröße anfangs oft längere Zeit an Höhe zunehmen, um erst im weiteren Verlauf der Ermüdung wieder niedriger zu werden; für diese Höhenzunahme — früher vielfach als „sekundäre Modifikation“ bezeichnet —, wurde von *Bowditch*²⁾ der Name „Treppe“ eingeführt. Über sie wurde schon in zahlreichen älteren Arbeiten berichtet und es sind heute viele Faktoren bekannt, die ihr Auftreten bedingen, begleiten oder abändern können. Zu diesen haben *Kraus* und *Reiffenstuhl*³⁾ für den Skelettmuskel einen neuen Faktor hinzugefügt; es ließ sich zeigen, daß bei Aufzeichnung von Ermüdungskurven mit elektrischen Reizen *verschieden langer Dauer* die Treppe unter sonst gleichen Bedingungen jeweils verschieden stark ausgebildet ist; an frisch ausgeschnittenen, kurarisierten Froschgastrocnemien trat diese am deutlichsten bei einer Dauer des Einzelreizes von 40 msec. (Kondensatorentladungen) hervor, während längere oder kürzere Stromflußzeiten zu einer weniger starken Treppe führten.

¹⁾ Nicht veröffentlichte Dissertation aus dem Institut vom Jahre 1945; dort, wie auch in der unter ³⁾ angeführten Arbeit, ein ausführliches Literaturverzeichnis.

²⁾ *Bowditch, P.*, C. Ludwig's Arbeiten a. d. physiolog. Anstalt zu Leipzig 6, 139, 1871.

³⁾ *Kraus, H.* und *W. Reiffenstuhl*, Pflügers Archiv 231, 17, 1932.

Nach neueren Versuchen von *Bauereisen*¹⁾ hängt das Auftreten der Treppe mit dem Sauerstoffmangel des Muskels zusammen; sowohl beim Froschherzen als auch beim Froschmuskel ließ sich zeigen, daß genügende Sauerstoffzufuhr die Treppe beseitigt, daß diese ferner bei ausreichender O₂-Versorgung überhaupt nicht auftritt. Es konnte weiters festgestellt werden, daß unter Sauerstoffmangel auch die Zuckungskurve des Muskels verlängert, also *gedehnt* wird, was als Vorbedingung für das Auftreten der Treppe gelten kann. Zu diesem Befund paßt auch gut die frühere Feststellung von *Kraus* und *Reiffenstuhl* (l. c.), daß beim Froschgastrocnemius im allgemeinen die größte Dehnung der Zuckungskurve in jenen Fällen beobachtet wurde, die auch eine gute Ausbildung der Treppe zeigten.

Zur Ergänzung der Versuche von *Kraus* und *Reiffenstuhl* (l. c.) schien es wünschenswert, auch am Herzmuskel zu untersuchen, ob bei diesem eine Abhängigkeit der Treppenausbildung von der Dauer des elektrischen Einzelreizes besteht. Für diese Untersuchungen stand das gleiche Reizgerät für rhythmische Kondensatorladungen nach *Scheminzky*²⁾ mit den gleichen Stromflußzeiten zur Verfügung, das seinerzeit von *Kraus* und *Reiffenstuhl* (l. c.) benützt worden war. Es ergab sich daher die Aufgabe, an einem durch Sinusabtragung nicht mehr von selbst schlagenden Herzen eine Reihe von Kontraktionen mittels elektrischer Reize auszulösen und von Zeit zu Zeit die Dauer des Stromstoßes zu verändern; die strichförmig aufgezeichneten Zuckungen waren dann auf den Ausbildungsgrad der jeweils zustande gekommenen Treppe hin zu untersuchen.

Methodik.

Die *Registrieranordnung* lehnte sich im wesentlichen an die isotonische Volumschreibung des Kaltblüterherzens nach *Frank*³⁾ und *Reichel*⁴⁾ an; sie wird durch Abb. 1 schematisch gezeigt. Eine *Straub'sche* Kanüle (K) wurde durch die Aorta in den Ventrikel des Froschherzens (He) eingebunden. An dieser Kanüle hängend und allseitig von Ringerlösung umgeben, konnte das Herz in einem sich nach unten verjüngenden Glasgefäß (GG), das oben durch einen Gummistopfen (GS) dicht abgeschlossen war, versenkt werden. Durch

1) *Bauereisen, E.*, Zeitschr. f. Biol. 101, 278 u. 451 (1943).

2) *Scheminzky, F.*, Pflügers Arch. 225, 503, (1930).

3) *Frank, O.*, Zeitschr. f. Biol. 32, 370 (1895) u. 41, 14 (1901).

4) *Reichel, H.*, Zeitschr. f. Biol. 99, 66 (1939).

diesen Stopfen führte auch die Ag-Draht-Elektrode R_1 in die Ringerlösung, derart, daß ihr ringförmiges Ende unterhalb des Herzens zu liegen kam. Die andere stabförmige Ag-Elektrode R_2 wurde in die Kanüle selbst gesteckt, die auch mit der Ringer'scher Lösung luftblasenfrei gefüllt war. An das untere Ende des Glasgefäßes (GG) schloß sich mittels eines kurzen Gummischlauches ein rechtwinklig abgelenktes Metallrohr mit der Segmentkapsel (SK) an. Eine die Segmentkapsel überspannende Gummimembran (M) trug einen mittels eines Korkklötzchens (Kk) befestigten kleinen Spiegel (S). Vom Metallrohr führt außerdem noch ein mit dem Quetschhahn (Ha) verschließbarer Gummischlauch weg, aus dem man bei Füllung des Apparates mit Ringer-

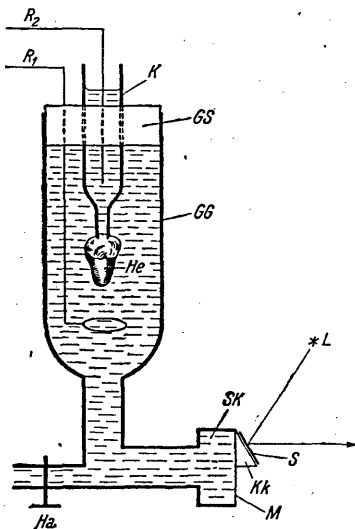


Abb. 1. Schema der Registrieranordnung.

GG Glasgefäß; GS Gummi-stopfen; Ha Quetschhahn; He Froschherz; K Straub'sche Kanüle; Kk Korkklötzchen; L Lichtquelle; M Gummimembran; SK Segmentkapsel; R_1 ringförmige Außenelektrode; R_2 stabförmige Innenelektrode; S Spiegelchen.

lösung die vorhandene Luft entweichen lassen konnte. Ein von einer Niedervolt-Mikroskopierlampe (L) beleuchteter Spalt warf sein Licht auf den Spiegel (S), der die Strahlen zum Photokymographion reflektierte. Die Papiergeschwindigkeit betrug 1—2 mm in der Sekunde.

Die Reize wurden als rhythmische *Kondensatorentladungen* dem Reizgerät von *Scheminzky*¹⁾ entnommen. Die Kondensatoren (8, 2, 0,5 und 0,1 μF) werden dabei über eine Elektronenröhre als Hochohmwiderstand aufgeladen und können sich nach Erreichen der Zündspannung über eine Glimmstrecke und ein Potentiometer entladen. Im Nebenschluß zu diesem Potentiometer, mit dem die Reizstärke eingestellt werden konnte, war das Präparat eingeschaltet.

Bei dem genannten Reizgerät ist die *Dauer der einzelnen Entladungen* von der Größe des Kondensators bestimmt und läßt sich durch dessen Aus-

¹⁾ *Scheminzky, F.*, Pflügers Arch. 225, 303 (1930).

wechsellern verändern; mit der Einschaltung eines anderen Kondensators ändert sich aber — unter sonst gleichen Verhältnissen —, zwangsläufig auch die Reizfrequenz. Soll diese konstant bleiben, so ist beim Wechsel des Kondensators auch eine andere Einstellung des Heizwiderstandes der Elektronenröhre vorzunehmen. Da das Einspielen auf gleiche Entladungsfrequenz immer einige Zeit in Anspruch nimmt, wären dadurch unzweckmäßig lange Pausen in jede Versuchsreihe eingeschaltet worden. In Vorversuchen paßten wir daher den vier benützten Kondensatoren auch vier gesonderte Heizwiderstände an; es konnte dann die Umschaltung auf eine andere Entladungsdauer bei gleicher Frequenz (in unseren Versuchen 40 Impulse je Minute) durch bloß zwei Handgriffe schnell durchgeführt werden: Einschaltung des anderen Kondensators und des ihm zugehörenden Heizwiderstandes. Die Konstanz der Reizfrequenz in allen Versuchen war deshalb erforderlich, weil nach *Bowditch*¹⁾ sowie *Kruta*²⁾ die Treppenausbildung auch vom Reizintervall abhängig ist. Die vom Reizgerät gelieferten Stromflußzeiten wurden mit Hilfe einer Elektronenstrahlröhre nochmals überprüft und ergaben die gleichen Werte wie in den Versuchen von *Kraus* und *Reiffenstühl* (l. c.), nämlich:

Kondensator	8	2	0,5	0,1 μ F
Stromflußzeit	280	70	40	20 msec.

Zwischen dem Potentiometer zur Einstellung der Reizstärke und den Elektroden war noch ein Stromwender zur Änderung der Stromrichtung eingeschaltet; ein Unterschied in der Reizwirkung oder im sonstigen Verlauf der Kurven in Abhängigkeit von der Stromrichtung hat sich allerdings nicht gezeigt.

Versuchsverlauf und Kurvenauswertung.

Das Versuchstier (*Rana temporaria*) wurde durch Dekapitieren getötet; anschließend folgte das Einbinden der *Straub*'schen Kanüle in das freigelegte Froschherz und schließlich das Anlegen der 1. Stannius'schen Ligatur durch Scherenschnitt, um die Sinusautomatie auszuschalten, also den Ventrikel stillzulegen und das Herz zugleich aus dem Körper auszuschneiden. Nach Einbringen des Herzens in das mit Ringerlösung gefüllte Glasgefäß (GG in Abb. 1) wurde mit der Reizung begonnen; zunächst wurde stets der 8- μ F-Kondensator eingeschaltet und dann das Potentiometer aus der Nullstellung solange verdreht, bis die Reizstärke eben überschwellig war. Daraufhin wurde die Anordnung so ausgerichtet, daß die Spiegelausschläge das Spaltbild auf das Photokymographion warfen. Nach kurzer Unterbrechung und Einschaltung des Kymographions wurde dann mit der Reizung neuerlich begonnen; es erfolgte die Aufzeichnung von 20 oder 30 Herzkontraktionen. Daraufhin wurde eine Pause von einer Minute eingeschaltet und in dieser auf den 2- μ F-Kondensator umgeschaltet, wieder der Schwellreiz aufgesucht und die Aufzeichnung für 20 oder 30 Kontraktionen fortgesetzt. Nach einer neuerlichen Pause von einer Minute wurde das Gleiche mit dem 0,5- μ F- und schließlich mit dem

1) *Bowditch*, P., C. Ludwigs Arbeiten a. d. physiol. Anstalt zu Leipzig. 6, 139, 1871.

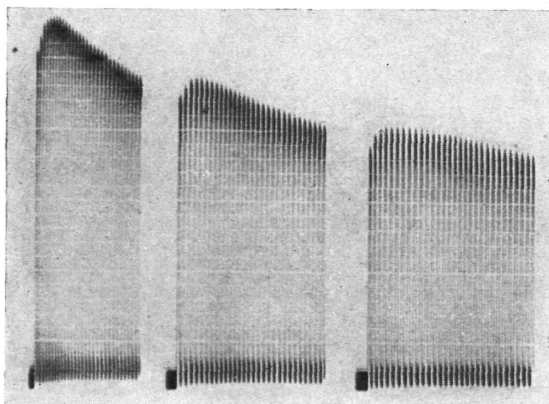
2) *Kruta*, V., C. R. Soc. de Biol. Paris 125, 498 (1937).

0,1- μ F-Kondensator ausgeführt, dann begann die ganze Reihe nochmals von vorn und so noch mehrmals, bis sich eine deutliche Ermüdung des Herzmuskels an einer starken Verringerung der Ausschlagshöhe anzeigte.

In den entwickelten Kurven wurde dann, falls eine Treppe aufgetreten war, die höchste Zuckung jeder Reihe mit dem Zirkel aufgesucht und die Zahl der Zuckungen bis zum Beginn dieser Reihe zurückgezählt, schließlich auch die Höhe des Treppenmaximums im Verhältnis zur Höhe der ersten Zuckung jeder Reihe in Prozenten berechnet.

Ergebnisse.

Insgesamt wurden 37 Herzen untersucht. Von den erhaltenen Kurven erwiesen sich 18 als technisch einwandfrei, die sich daher zu einer Auswertung eigneten.



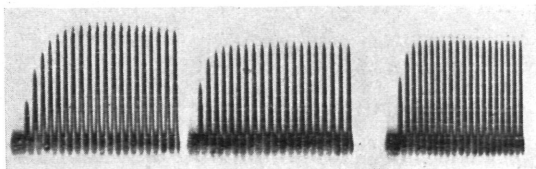
Reizdauer 280 70 40 msec.

Abb. 2. Drei Zuckungsreihen eines *frischen* Herzpräparates mit je 30 Zuckungen; Entladungsdauer des Einzelreizes unter den Zuckungsreihen angegeben. Die Treppe ist nur geringfügig ausgebildet und es zeigen sich auch keine wesentlichen Unterschiede bei Veränderung der Stromflußzeit des Einzelreizes.

Im allgemeinen zeigte sich, daß am Beginn jeder Versuchsreihe, also noch bei *frischem* Zustand des Herzens, keine oder nur eine sehr geringfügige Treppe wie in Abb. 2 auftritt und Unterschiede je nach der Reizdauer noch nicht bestehen, was gleichfalls aus Abb. 2 hervorgeht. Dies stimmt auch mit den Befunden von *Bauereisen* (l. c.) gut überein, nach denen sich ja die Treppe erst bei zunehmendem Sauerstoffmangel ausbildet.

Bei Wiederholung der Reizreihen mit verschiedenen Stromflußzeiten wurde die Treppe im Verlauf eines länger fortgesetzten

Versuches aber nicht bloß an sich deutlicher, sondern es traten jetzt auch größere Unterschiede je nach der Reizdauer hervor. Betrachtet man zunächst die *Zahl der Zuckungen des Herzmuskels vom Beginn der Reizung an bis zum Treppenhöhepunkt*, so findet man in der überwiegenden Mehrzahl der Versuche (12 mal in 18 Versuchen) die stärkste Ausbildung der Treppe bei einer Dauer des Einzelreizes von 280 msec. ($8 \mu\text{F}$ -Kondensator). Ein Versuchsbeispiel dieser Art zeigt Abb. 3. In der Mehrzahl der Fälle bleibt auch bei öfterer Wiederholung der Reizung mit den vier Kondensatoren die Treppe immer wieder bei dem gleichen Kondensator am deutlichsten ausgeprägt; es kommt nur ganz selten vor, daß sich zwischendurch die beste Ausbildung der Treppe zu einem anderen Kondensator hin verschiebt.



Reizdauer 280 70 40 msec.

Abb. 3. Drei Zuckungsreihen an einem *ermüdeten* und *unter Sauerstoffmangel* stehenden Herzpräparat mit je 20 Zuckungen; Entladungsdauer des Einzelreizes unter den Zuckungsreihen angegeben. Die Treppenerscheinung ist deutlich geworden, zwischen den verschiedenen Stromflußzeiten zeigen sich deutliche Unterschiede, am stärksten ist die Treppe bei einer Stromflußzeit des Einzelreizes von 280 msec. ausgebildet.

Bestimmt man den Höhenzuwachs von der ersten Zuckung bis zum Treppenhöhepunkt, so findet man im Wesentlichen ein ähnliches Ergebnis: in 70 Einzelreizungen der 18 ausgewerteten Versuche ergab sich folgendes Verhältnis:

Kondensator:	8	2	0,5	$0,1 \mu\text{F}$
Reizdauer:	280	70	40	20 msec.
Höhenzuwachs				
am größten:	28	28	11	3 mal

Es zeigt sich also, daß sowohl hinsichtlich der Länge als auch des Höhenzuwachses der Treppe die beiden längsten angewandten Reizdauern am günstigsten sind (280 und 70 msec.).

Besprechung der Ergebnisse.

Fragestellung der vorliegenden Untersuchung war, ob sich beim Herzmuskel des Frosches so wie beim Skelettmuskel dieses Tieres eine Abhängigkeit der Treppenausbildung von der Reizdauer nachweisen läßt; die unternommenen Versuche haben dies für den ermüdeten bezw. unter Sauerstoffmangel stehenden Herzmuskel *bejaht*, wobei in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle die *längsten* der zur Anwendung gekommenen Reizdauern die *beste* Treppe lieferten.

Bei den Versuchen von *Kraus und Reiffenstuhl* (l. c.) am Skelettmuskel wurde dagegen die günstigste Ausbildung der Treppe bei *mittleren* Reizdauern gefunden. Es ist also beim Herzmuskel die für die Ausbildung der Treppe zweckmäßigste Reizdauer nach *längeren* Reizen hin verschoben. Dies steht mit allen bekannten Tatsachen der Herzmuskelpysiologie in bester Übereinstimmung, da ja dieses Gewebe gegenüber dem Skelettmuskel an sich schon eine längere Zuckungsdauer, eine längere Latenzzeit, eine längere Refraktärperiode, eine größere Nutzzeit usw. besitzt.

Ähnlich wie bei den Versuchen von *Bauereisen* (l. c.) wird man auch in den unseren die Ausbildung der Treppe mit der Verlängerung der Zuckungsdauer in Zusammenhang bringen dürfen, um so mehr, als auch nach *Kraus und Reiffenstuhl* (l. c.) beim Skelettmuskel des Frosches die beste Ausbildung der Treppe mit ausgeprägter Dehnung der Zuckungskurve zusammenfällt. Aus den beiden Versuchsreihen am Herzen und am Skelettmuskel wäre daher zu schließen, daß die *Dauer des elektrischen Stromstoßes* für den *Dehnungsgrad der Zuckungskurve* mitbestimmend ist; es kann sich dabei allerdings nur um jenen Anteil des Stromstoßes handeln, der *über die Nutzzeit* hinausgeht, da diese zumindest bei den längeren der angewandten Reize immer überschritten war. Die Prüfung des Zusammenhanges von Reizdauer und Dehnungsgrad der Zuckungskurve stellt eine eigene Fragestellung dar, die einer späteren Behandlung überlassen werden muß.

Zusammenfassung.

Es wird nachgewiesen, daß so wie beim Skelettmuskel des Frosches auch beim Froschherzen die Ausbildung einer Treppe von der Dauer der als Reiz benützten elektrischen Stromstöße (Kondensatorentladungen) abhängig ist. Während beim Skelettmuskel (*Gastrocnemius*) jedoch die günstigste Dauer der Kondensator-entladungen für die beste Treppenausbildung bei 40 msec. liegt, ist sie beim Froschherzen nach längeren Zeiten hin, so auf 70 bis 280 msec., verschoben, was jedoch mit allen bekannten Tatsachen der Herzmuskelphysiologie in bester Übereinstimmung steht.

Berichtigung.

Bd. I, Heft 1/2, Goetsch, Vitamin „T“, ein neuartiger Wirkstoff.
Die Abb. 8 auf S. 57 ist um 180° zu drehen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Österreichische Zoologische Zeitschrift](#)

Jahr/Year: 1948

Band/Volume: [01](#)

Autor(en)/Author(s): Haberlandt W., Magun Vera

Artikel/Article: [Die Abhängigkeit der "Treppe" von der Reizdauer beim Herzmuskel. 374-381](#)