Wellenfläche eine Kugel, und für den Act I hat sie vollständig den Charakter der von einer homogenen Linse gebildeten Wellenfläche. Es kommt hinzu, dass in Folge der elastischen Oberfläche der Krystalllinse ihre Krümmungsradien nach der Zonula zu abnehmen, die einer Glaslinse aber nicht. Dieser Umstand kann veranlassen, dass der Astigmatismus der Krystalllinse in Luft noch beträchtlicher wird, als der der Glaslinse. Diese experimentellen Untersuchungen können uns keinen Aufschluss geben über den Grad der Vollkommenheit des Auges als eines dioptrischen Apparates. Mathematische Betrachtungen lehren: Der dioptrische Apparat ist so vollkommen, wie irgend denkbar; was aber unvollkommen ist und sein muss, das ist die Perception der peripherischen Retina.

(Physiologisches Laboratorium der Thierarzneischule Bern.)

Zur Physiologie des Herzens¹⁾.

Von

Dr. med. **J. M. Ludwig**, und **B. Luchsinger**
pract. Arzt in Pontresina, in Bern.

I. Die Wirksamkeit des n. vagus als Function der Temperatur.

Einleitung. Nachdem unlängst der Eine von uns bei seiner Untersuchung über die Wirkung erhöhter Temperatur auf das Centralnervensystem des Frosches eine so merkwürdige Stufenfolge von Lähmung und Wiedererholung der einzelnen nervösen Apparate dargethan²⁾, wurde aus mehr als Einem Grunde die Erforschung auch anderer Innervationen äusserst wünschenswerth.

1) Eine vorläufige Mittheilung erschien im Med. Centralbl. 1879. S. 404.

2) Vgl. B. Luchsinger, Zur Physiol. d. irritablen Substanzen, Bonn 1879; sowie einen demnächst erscheinenden Aufsatz.

Das Symptomenbild am Centralnervensystem liess sich aus höchst einfachem Principe übersehen. „Die Resistenz wie Erregbarkeit anatomisch gleicher Stücke ist eine gleichlaufende Function ihrer physiologischen Leistung; die Resistenz eines complicirteren Systems ist proportional der Resistenz des empfindlichsten Elementes, aber umgekehrt proportional dem Grade der anatomischen Verknüpfung dieser Stücke“. a. a. O. (S. 21). Unser Satz hatte sich jetzt auch anderweitig zu erproben. In den bewegenden und hemmenden Stücken der Herzwand schien ein verlockendes, äusserst günstiges Versuchsfeld sich zu eröffnen. — Schon seit den Tagen Volkmann's wird allgemein der Antrieb der Herzbewegung Ganglienzellen zugeschrieben; anderseits wurden durch die Untersuchungen von Traube, v. Bezold, A. B. Meyer, Schmiedeberg u. A. auch für die Hemmungsfuction besondere, ebenfalls in der Herzwand liegende gangliöse Apparate in Anspruch genommen, blieben abweichende Ansichten jedenfalls isolirt.

Wie die Ganglien des Centralnervensystems werden auch jene des Herzens durch zu hohe Wärme gelähmt. Nur äusserst gezwungen könnte man sonst jenen Herzstillstand aus einer Reizung der Hemmungscentren ableiten wollen, aber die Analogie mit der ganzen Fülle der übrigen Erscheinungen würde solches Beginnen verbieten, eine Reihe älterer, sofort zu besprechender Angaben würde geradezu widersprechen, und tritt zu allem Ueberfluss der Wärmestillstand gleicher Weise auch bei atropinisirten¹⁾ Herzen ein. Und gewiss wird auch das Hemmungssystem von der erhöhten Temperatur in gleichem Sinne verändert! Welcher von diesen functionell antagonistischen Apparaten leidet aber früher und stärker?

Wenn wirklich die bewegenden und hemmenden Reize in anatomisch gleichartigem Substrate ihre Quelle finden, dann dürfte man von der schon von vornherein mit geringerer Energie begabten Hemmungsfuction offenbar viel früheres Versiegen erwarten, würde aber andererseits aus einer selbst bis zum Eintritt der motorischen Lähmung fortdauernden Vaguswirkung eine wesentlich einfachere Structur der Hemmungsapparate hervorgehen.

Sehen wir uns um in der keineswegs spärlichen, schon bestehenden Literatur. Eine Fülle von Angaben spricht einstimmig

1) vgl. Aristow, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1879.

zu Gunsten der ersten Anschauung. Besagen doch zahlreiche Berichte verschiedenster Forscher, dass nicht nur allein hohe Wärme, vielmehr eine ganze Reihe schädigender Eingriffe, wie niedrige Temperatur, zahllose Gifte, ja schon einfaches Verdrängen der Ernährungsflüssigkeit durch verdünnte Salzlösung stets zuerst den *n. vagus*, dann erst die motorischen Centren des Herzens lähmt.

Ja es fehlt sogar nicht an Stimmen, welche fast für sämtliche, eben angeführte Agentien, so ganz besonders für die Wirkung der Hitze geradezu eine völlige Umkehr der Hemmungswirkung, ein Motorisch-werden des *n. vagus* behaupten.

Wenn nun auch gegen solche extreme [Richtung von nicht geringer Zahl namhafter Forscher Einspruch erhoben, die Umkehr der Wirkung insbesondere auf Rechnung tückischer Stromesschleifen bezogen wurde, so schien immerhin auch jetzt die Annahme einer früher eintretenden Wärmelähmung der hemmenden Apparate vollkommen gesichert¹⁾.

Aus den Aenderungen von Schlagzahl und Arbeitsgrösse des erwärmten Froschherzens schlossen Ludwig & Cyon auf einen früheren Nachlass der retardirenden Momente, erst noch in letzter Zeit hatten Lépine & Tridon bei der Schildkröte, Schiff beim Kaninchen die hemmenden Wirkungen des *n. vagus* in erhöhten Temperaturen vermisst, aber beim Abkühlen wiederkehren sehen; auch die neueste von Aristow unter Dogiel's Leitung ausgeführte Untersuchung brachte nur wiederum weitere Bestätigung.

Gleichwohl wünschten wir bei dem erhöhten theoretischen Interesse, das die Frage nun darbot, uns immerhin noch durch einige eigene Versuche von dem Thatbestande zu überzeugen. Schon jetzt sei es vorweggenommen, unsere Versuche am erwärmten Herzen gaben ein völlig unerwartetes Ergebniss; — Grund genug, auch einige andere verwandte Angaben, vornehmlich aber jene über die entsprechenden Erscheinungen am abgekühlten Herzen

1) Vgl. Schelske, Ueber d. Veränderungen der Erregbarkeit durch Wärme. Heidelberg 1860. — Hoffmann, Diss. Giessen 1860. — Eckhard, Experimentalphysiol. d. Nervensystems, 1865, Beiträge z. Anat. u. Phys. 1873. — E. Cyon, Leipziger Berichte 1866, pag. 302, 303. — A. B. Meyer, Das Hemmungsnervensystem d. Herzens. Berlin 1869. — Rosenthal, Berlin. Klinische Wochenschrift. 1871. — Lépine & Tridon, Separatabzug 1876. — Schiff, Accad. del Lyncei 1877; Arch. d. scienc. phys. et natur. LXIII, Genève 1878. — Aristow, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1879. S. 198.

zu prüfen. — Nach den Versuchen von Cyon (a. a. O.) bewirkt Reizung des Venensinus in der Kälte keinen Herzstillstand, sondern höchstens Verlängerung der Pausen, und fand Horvath¹⁾ an stark abgekühlten Kaninchen die Vagusreizung ganz unwirksam. Eine Nachuntersuchung lag auch hier nur um so näher, als diese Versuche in ihrer einfachsten und beweisendsten Form am Frosche noch gar nicht angestellt sind.

Zur Methode. Der Stillstand des Herzens tritt oft sofort mit Beginn einer Vagusreizung ein, meist aber macht das Herz vorher noch einen Schlag, häufig aber auch zwei, ja selbst drei, vier, in seltenen Fällen allerdings sogar fünf und mehr Schläge, und wird dann erst stillgestellt. Dies verschiedenartige Verhalten ist, wie leicht nachweislich, eine Function der angewandten Reizstärke; es deutet offenbar auf eine Summation dieser Reize in bestimmten Vorrichtungen des Herzens hin, eine solche ist aber aus der schon von v. Bezold gefundenen langen Nachwirkung der momentanen Vagusreizung vollkommen verständlich.

Jeder Versuch bestand aus einer beliebig grossen Reihe bestimmter Versuchsstücke. Sollen die Aenderungen einer Nervenreizung unter bestimmten schwächenden Einflüssen untersucht werden, sind anders diese Einflüsse rasch vorübergehender Natur, so wird man zweckmässig hintereinander drei Einzelversuche sich folgen lassen.

Man beginne mit einem Normalversuch, schreite dann zum Hauptversuch, dessen schwächende Momente man untersuchen will, und füge endlich noch einen dritten Versuch wieder unter normalen Bedingungen bei. Auf diese Weise wird man mit aller Sicherheit störende Einflüsse der Ermüdung und des Zufalls ausschliessen können.

Um ausserdem einen gleichmässigen Gang der Ermüdung erwarten zu dürfen, sind gleich lange Pausen zwischen die Reizungen einzuschieben. Dieselben variirten von 3—5 Minuten.

Für den Erfolg einer Nervenreizung kommt ferner der Ort derselben wesentlich in Betracht; in vergleichbaren Versuchen soll derselbe constant bleiben.

Um die erregbarkeitsändernden Einflüsse eines Agens mög-

1) Horvath, Wiener med. Wochenscht. 1870.

lichst deutlich hervortreten zu lassen, wird man möglichst kleine, normal eben noch deutlich wirksame Reize anwenden. Wir wählten eine Reizstärke, die nach 2--3 Schlägen das Herz für eine zur Beurtheilung genügende Zeit stillstellten.

Solche Bestimmung minimaler Reizgrösse war im Verlauf längerer Versuche öfters zu wiederholen, denn wir machten die durchweg bestätigte Erfahrung, dass der *n. vagus* im Laufe der Zeit — scheinbar wenigstens — um ein Bedeutendes an Erregbarkeit zunimmt; denn in späteren Stadien genügten viel schwächere Reize, um Herzstillstand zu erzielen.

Die meisten unserer Versuche waren in den Monaten Januar, Februar und März 1879 an Esculenten und Temporarien angestellt; von dem Einen von uns aber im Laufe der folgenden Semester am Frosch und an der Schildkröte¹⁾ noch mehrmals wiederholt.

Das Centralnervensystem wird mit passendem Stahldorn zerstoßen; darauf die *nn. vagi* auf möglichst langer Strecke sauber frei präparirt, möglichst hoch oben ligirt und central durchgeschnitten, das Herz bloßgelegt, und nun entweder das ganze Thier oder besser nur das vorsichtig losgelöste Herzpräparat in ein Gefäß versenkt, dessen Raum abwechselnd mit Salzwasser gewünschter Temperatur gefüllt wird.

Die *nn. vagi* sind — mit Vermeidung jeglicher Zerrung — während eines Versuchsstückes durch Fäden im grössten Theil ihres Verlaufes über der Flüssigkeit emporgehalten und durch Bedecken mit einem Ischiadicus vor Vertrocknung geschützt, unverrückbar an passend gelagerte Electroden angelehnt.

Dieselben waren anfangs unpolarisirbar, später bloss stählerne Nadeln.

Als Reize wurden tetanisirende Ströme eines Schlittenapparates benutzt. Derselbe war mit einem Daniell'schen Elemente bedient; die Reizstärke variierte durch Verschieben der Rollen. Ein Schlüssel als Nebenschliessung war eingeschaltet.

A. Versuche am abgekühlten Herzen.

Nachdem das Präparat in beschriebener Weise hergerichtet ist, wird das Herz in Salzwasser von Zimmertemperatur versenkt,

1) Bei der Schildkröte — *Emys lutaria*, aus Wien bezogen — zeigte sich ganz entsprechend einer Angabe von A. B. Meyer nur der rechte *n. vagus* wirksam, eine Thatsache, die zu weiteren, später mitzutheilenden Versuchen einlud. Luchsinger.

der eben wirksame Reiz bestimmt, dann abgekühltes Salzwasser applicirt, wieder gereizt, und endlich nochmals in Salzwasser von Zimmertemperatur geprüft. Es folgen einige Beispiele.

Versuch vom 10. Januar. Esculenta, Pause 4 Min.

Linker Vagus.	Temperatur der Salzlösung.	Reizgrösse ¹⁾ .	Reizung wirkt
	14° C.	R = 6,5 cm	nach 2 Schlägen
	5° C.	R = 6,5 cm	nicht
	13° C.	R = 6,5 cm	nach 2 Schlägen
	13° C.	R = 7,0 cm	nach 2 Schlägen
	4° C.	R = 7,0 cm	nicht
	12,5° C.	R = 7,0 cm	nach 2 Schlägen.

Versuch vom 21. Januar. Temporaria.

Rechter Vagus.	Temperatur der Salzlösung.	Reizgrösse.	Wirkt
	20° C.	R = 7 cm	sofort
	8° C.	R = 7 cm	nicht
	22° C.	R = 7 cm	sofort
	10° C.	R = 7 cm	nicht
	21° C.	R = 7 cm	wieder.

Es folgt Abkühlen des Präparates bis 2°, selbst stärkste Reize bleiben unwirksam, und kehrt mit langsamem Erwärmen die Wirkung wieder.

Einige weitere Versuche boten durchweg gleiches Resultat, starke Abkühlung macht den n. vagus selbst für stärkste Reize unempfindlich, steigt dessen Wirksamkeit aber innerhalb der gegebenen Grenzen gleichlaufend mit der Temperatur.

B. Versuche am überhitzten Herzen.

Die ersten Versuche wurden natürlich angestellt entsprechend jener Annahme, der n. vagus würde durch Hitze früher gelähmt.

Es wurde der für gewöhnliche Zimmertemperatur genügende Minimalreiz bestimmt, derselbe am stark erwärmten Herzen wieder geprüft, endlich nochmals nach wiederingetretener Abkühlung untersucht.

Versuch vom 11. Februar. Temporaria.

Ruhepausen zwischen den einzelnen Reizungen ca. 4 Minuten, die Erwärmung wird erst gegen Ende der betreffenden Pause vorgenommen, aber durchgeführt, bis eine deutliche Schwächung des Herzschlages sich zeigt.

1) Die Reizgrösse wird nach dem Rollenabstande R taxirt.

Linker Vagus.	Temperatur des Bades.	Reizstärke.	Wirkung
	15° C.	R = 2 cm	nach 2 Schlägen
	35,5° C.	R = 2 cm	nach 2 Schlägen
	17,5° C.	R = 2 cm	nach 2 Schlägen
	16,5° C.	R = 1,5 cm	nach 1 Schlag
	38,5° C.	R = 1,5 cm	nach 1 Schlag
	39,5° C.	R = 1,5 cm	nach 1 Schlag.

Nun verharret aber die Kammer auch nach der Reizung in Stillstand; die Vorhöfe dagegen machen noch einige Schläge und verfallen dann ebenfalls in Lähmung. Die gefahrdrohende Temperatur wird erniedrigt, kaum haben sich die Vorhöfe dadurch wieder erholt, so bewirkt eine Vagusreizung auch sofort wieder einen Stillstand, ja derselbe hält nun auffallend lange an, überdauert die Reizung um mehr wie eine Minute. Endlich beginnen wieder Pulsationen, anfangs nur solche der Vorhöfe, dann auch jene der Kammer¹⁾.

Versuch vom 12. Februar. Esculenta. Ruhepause ca. 4 Minuten.

Rechter Vagus.	Temperatur des Bades.	Reizgrösse.	Wirkung
	15° C.	R = 4,5 cm	nach 2 Schlägen
	30° C.	R = 4,5 cm	nach 1 Schlag
	16° C.	R = 4,5 cm	nach 1 Schlag
	16° C.	R = 5 cm	nach 2 Schlägen
	33,50 C.	R = 5 cm	nach 1 Schlag
	18° C.	R = 5 cm	nach 1 Schlag.

Nun wird nochmals gewärmt, bis 36°; auch jetzt ist Vaguswirkung kräftig vorhanden, sie überdauert die Reizung erhebliche Zeit.

Nachdem diese und ähnliche Versuche eine ganz unerwartete Resistenz des n. vagus dargethan hatten, ja die lange Nachdauer der Wirkung am überhitzten Herzen geradezu eine unter diesen Bedingungen günstigere Angriffsweise der hemmenden Momente andeutete, hatten wir nun nach dieser Richtung entsprechende Versuche anzustellen.

Wir bestimmten jetzt den Minimalreiz in der Hitze; kühlten ab, prüften und erwärmten zur Controle nochmals.

Als Beispiele mögen dienen.

Versuch vom 4. März. Esculenta. Ruhepause 4 Minuten.

Linker Vagus.	Temperatur d. Bades.	Reizstärke.	Wirkung.
	38,5° C.	R = 6,5 cm	Minimaler Reiz bei fast wärmelahnem Herzen
	14,6° C.	R = 6,5 cm	Reiz unwirksam.
	38,5° C.	R = 6,5 cm	Reiz wirkt gut.

1) Die Erholung der Kammer ging von der Basis aus; erst später machte auch die Spitze mit.

Rechter Vagus.	Temperatur des Bades.	Reizstärke.	Wirkung.
	37,0° C.	R = 7 cm	wirkt nach 1 Schlag
	15,2° C.	R = 7 cm	wirkt nicht
	37,2° C.	R = 7 cm	wirkt sofort
	14,8° C.	R = 7 cm	wirkt nicht
	37,0° C.	R = 7 cm	wirkt sofort.

Versuch vom 6. Juni. Esculenta. Reizpause 4 Minuten.

Linker Vagus.	Temperatur des Bades.	Reizstärke.	Wirkung.
	38,0° C.	R = 8 cm	wirkt sofort
	14,5° C.	R = 8 cm	wirkt nicht
	37,0° C.	R = 8 cm	wirkt nach 1 Schlag
	15,6° C.	R = 8 cm	wirkt nicht
	37,5° C.	R = 8 cm	wirkt sofort.

Versuch vom 8. August. Schildkröte. Reizpause 4 Minuten

Rechter Vagus.	Temperatur des Bades.	Reizgrösse.	Wirkung.
	39,0° C.	R = 7,5 cm	wirkt nach 1 Schlag
	16,0° C.	R = 7,5 cm	wirkt nicht
	38,5° C.	R = 7,5 cm	wirkt sofort
	17,5° C.	R = 7,5 cm	wirkt nicht
	38,5° C.	R = 7,5 cm	wirkt gut.

Eine nicht geringe Zahl solcher Versuche scheint also in directen Widerspruch zu allem bisher Bekannten treten zu wollen. Nicht nur bleibt der n. vagus selbst in den höchsten, überhaupt zuträglichen Temperaturen noch vollkommen wirksam, und vermag sogar das kaum sich erholende Herz sofort wieder stillzustellen, ja er scheint in diesen letalen Temperaturen an Wirksamkeit eher noch gewonnen zu haben. Die langen Nachwirkungen deuten mit Macht darauf hin.

Mit den Angaben von Schelske sind diese Ergebnisse allerdings unverträglich. Unter den gleichen Bedingungen stärkster Ueberhitzung hat ja Schelske sogar eine beschleunigende Wirkung der Vagusreizung gesehen, mussten wir geradezu eine Verbesserung der Hemmung constatiren. Nur zu sehr begründet erscheint da der ja auch schon von Andern betonte Einwand, dass in jenen Schelske'schen Versuchen bloss tückische Stromesschleifen durch directe Reizung des Herzens jene Beschleunigungen hervorgerufen hätten.

Anders allerdings verhält es sich mit jener anderen Reihe von Thatsachen, die von Cyon, Lépine, Schiff unter einer offenbar milderen Erwärmung des Herzens gewonnen wurden.

Aber schon aus diesen Beobachtungen wurde auf eine früher eintretende Lähmung der Hemmungsmechanismen geschlossen, sollten höhere Temperaturen nicht noch deutlicher in solchem Sinne wirken? Auch wir können jenen älteren Angaben unsere Zustimmung nicht versagen, wir selbst hatten häufig genug auch Fälle in jenem Sinne gesehen. Diese traten aber gemeiniglich ein bei geringerem Erwärmen, in Temperaturen von 25–20°, und namentlich zu Beginn der Versuche, bei noch voller Erregbarkeit des Herzens. Kraft und Frequenz der Herzschläge waren dann aber stets erheblich gesteigert, während unsere neuere Angabe sich gerade umgekehrt auf das Stadium sinkender Energie bezieht.

Den verschiedenen Befunden liegen also verschiedene Bedingungen zu Grunde; der scheinbare Widerspruch löst sich, wenn wir auch die gleichlaufenden Veränderungen der motorischen Apparate betrachten.

Die in der Zeiteinheit vom Herzen entwickelte Reizgrösse variirt — das lehren die Untersuchungen Cyon's — mit der Temperatur. Sie wächst erst langsam, von gewisser Temperatur (18°) ab jedoch rascher, bis zu gewisser Höhe, nimmt dann aber wieder ab bis Null mit weiterem Steigen der Wärme.

Wie nun, wenn im Gegensatz zu den motorischen Centren die entsprechenden Aenderungen der Erregbarkeit an den Hemmungsmechanismen viel langsamer ablaufen?

Der Effect einer immer gleichen Vagusreizung ist eine gleichlaufende Function der wechselnden Erregbarkeit der hemmenden Apparate, aber eine reciproke Function der wachsenden Erregbarkeit der motorischen Heerde.

Steigt nun die Erregbarkeit der motorischen Elemente innert gewissen mittleren Temperaturen rascher, als die Erregbarkeit der hemmenden, so wird leicht eine scheinbare Lähmung der hemmenden sich vorspiegeln können, denn ein eben noch wirksamer Vagusreiz wird unwirksam — Ergebniss der früheren Versuche. Erhebt sich aber die Temperatur noch höher, so sinkt die Erregbarkeit der Motoren wiederum, während die Erregbarkeit der Hemmungsmechanismen vielleicht sogar noch weiter steigt, jedenfalls aber in langsamerem Gange sinkt; noch kurz vor dem Eintritt, wie sofort nach dem Schwinden des Wärmestillstandes ist ja die Reizung der Hemmungsfasern sogar äusserst wirksam — unsere neue Beobachtung.

Die lähmende Wirkung höherer Temperaturen kann nichts specifisches sein; eine ganze Reihe anderer, allgemein lähmender Einflüsse, vorab die ganze Classe der Anaesthetica gab wenigstens am Centralnervensystem ein genau gleiches Symptomenbild.

Am Herzen wird sich Aehnliches wiederholen müssen.

Im Laufe einfachen Absterbens sahen wir stets ein scheinbares Anwachsen der Erregbarkeit des n. vagus.

Nach vielen Stunden, am folgenden Tage genügten schon äusserst kleine Reize, um einen oft lange dauernden Stillstand hervorzurufen, Reize, welche am frischen Präparat sich vollkommen unwirksam gezeigt hatten.

Offenbar ist auch hier der n. vagus nicht wirklich erregbarer geworden, seine Erregbarkeit sinkt wohl im Gegentheil ebenfalls während des Absterbens, aber sie scheint eben langsamer zu sinken, als die Erregbarkeit der antagonistischen Motoren.

Ganz in unserem Sinne sind vielleicht auch einige neuere Angaben über die Wirkung von Chloroform und Chloral zu deuten, wenn schon nicht zu leugnen, dass in jenen Fällen, z. Th. wenigstens, die Verhältnisse complicirter sich gestalteten.

Langendorff¹⁾ sah bei chloralisirten Kaninchen eine Vagusreizung kräftiger und länger anhalten, ja Vulpian²⁾ konnte so durch einmalige Vagusreizung selbst dauernden Herzstillstand erzielen.

Doch sind diese Angaben nicht eindeutig genug, in tiefer Chloroformnarkose sinkt der Blutdruck ausserordentlich; wir werden unten sehen, wie enorm viel leichter der Vagus bei niedriger Spannung des Herzens wirkt.

Vor Allem sind auch hier Versuche am Frosche anzustellen, da es hier leicht gelingt, den intracardialen Druck auf constanter Höhe zu halten.

Eine Reihe verschiedenster Gifte harren der Untersuchung; sie haben zu zeigen, ob unsere am wärmelahmen Herzen gewonnene Anschauung auf Allgemeinheit Anspruch machen darf. Aus dem abweichenden Verhalten des abgekühlten Herzens aber kann wohl schon desshalb kein ernstlicher Einwand abzuleiten sein, weil durch die Kälte die Leitungsfähigkeit der Nervenfasern

1) Langendorff, Mitth. d. Königsberger physiol. Labor. 1873.

2) Vulpian, Compt. rend. LXXXVI. 1303. 1878.

erheblich leidet, damit aber selbst stärkste Reize nur äusserst geschwächt an dem wirksamen Punkte eintreffen können.

Endlich noch ein Wort über jene langandauernden, von Vulpian am chloroformirten, von uns am überwärmten Herzen beobachteten, einer Vagusreizung folgenden Herzstillstände.

Die Erscheinung selbst ist offenbar dasselbe, was Goltz¹⁾ schon vor langen Jahren an seinen unter Oel erstickenden Herzen sah. Hier in der That gilt auch seine so ansprechende Betrachtung, dass ein für einmal auf irgend eine Weise zur Ruhe gebrachtes Herz vielleicht für immer stillstehen würde, wenn nur jeder neue Reiz abgehalten werden könnte.

Die lange Nachdauer der Reizung dürfte jedenfalls nur eine scheinbare sein. Denn haben wir unter den angeführten Bedingungen einen Stillstand hervorgerufen, so liegt es in unserer Hand, denselben lang oder kurz zu machen. Wir brauchen nur kurz nach der Vagusreizung durch einmaligen schwachen mechanischen Reiz den Ventrikel zu Einem Schläge zu bringen, so ist überhaupt die Reihe der Pulsationen wieder hergestellt.

Ist einmal die motorische Innervation geschwächt, so scheint also ein Schlag die nothwendige Bedingung zu sein für die Wiederkehr eines nächsten; muss aber ein langer, oft dauernder Stillstand folgen, wenn dem Herzen durch eine kurze Vagusreizung die belebende Wirkung vorhergehender Schläge entgeht.

Vorhergegangene Pulsationen machen einen unwirksamen Reiz zum wirksamen, sagt Kronecker²⁾.

II. Die Schläge des entbluteten Herzens.

Verdrängen wir den natürlichen Inhalt des Herzens durch Einleiten indifferenten Flüssigkeiten. Wir haben verdünnte Salzlösung oder feinstes, neutrales Mandelöl benutzt. Untersuchen wir dann die Erregbarkeit der verschiedenen Herzstücke.

Man decapitiere einen Frosch, lege das Herz blos, durchschneide beide Aortenbögen und führe eine Canüle ein in die aufsteigende Hohlvene. Man fülle sie mit Salzwasser von 0,7% ClNa, und verbinde sie mit dem Hahn eines in beliebige Höhe verstellbaren, mit ebensolcher Lösung gefüllten Druckgefässes.

1) Goltz, Virchow's Archiv XXIII. 500. 1862.

2) Kronecker, in Ludwig's Jubelband 1875.

Das Herz liege ca. 3 cm unter dem Niveau der Spülflüssigkeit. Wir drehen den Hahn. Das Blut wird in kurzer Zeit vollständig ausgespült, Venensinus und Vorhof sind wenigstens mit vollkommen klarer Flüssigkeit erfüllt — ihre dünnen, durchsichtigen Wände erlauben einen günstigen Einblick — die Flüssigkeit fliesst aus der Aorta vollkommen farblos ab, sie coagulirt nicht mehr, weder in der Hitze, noch durch Säuren. Aber das Herz schlägt vollkommen entblutet gleichwohl noch lange Zeit; in günstigen Fällen, im Winter durch viele Stunden. Auch wenn wir vorübergehend den Druck aufheben, bleibt sich die Sache im Wesentlichen gleich. Erst allmählich nimmt die Pulsfrequenz mehr und mehr ab, es erlahmt die Kraft des Ventrikels, endlich werden auch die Vorhöfe gelähmt, noch immer schlägt der Venensinus, der wesentlichste Erreger des Herzens, obschon Stundenlang kein Blut, nur einfache neutrale Salzlösung ihn durchflossen. Schliesslich hört allerdings auch hier die Bewegung auf.

Leiten wir jedoch mit gleicher Vorrichtung anstatt Salz jetzt defibrinirtes Pferdeblut oder Serum durch, so tritt mit überraschender Geschwindigkeit Erholung ein, dieselbe nimmt den umgekehrten Gang der Lähmung, zuerst beginnt der Venensinus, dann die Vorhöfe, endlich die Kammer zu schlagen.

Genau gleich fällt das Resultat aus, wenn wir mit Oel entbluten. Nur zeigt sich in diesem Falle die Lähmung wesentlich früher. Die Salzlösung kann wenigstens einigermassen den Austausch von Gasen, die Abfuhr der Zersetzungsprodukte besorgen, das Oel ist auch zu solchem Dienste untauglich.

Aber die Schlagfolge tritt auch hier leicht wieder ein, wenn das eben noch mit klarem Oel gefüllte Herz nun ebenfalls mit Blut oder Serum, ja auch nur mit Salzwasser durchströmt wird. In letzterem Falle freilich bleibt die Erholung selbstverständlich nur eine vorübergehende.

Die alte Lehre Haller's sieht in dem Blutreiz die Quelle des Herzschlages. In neuerer Zeit traten vornehmlich Schiff und Goltz mit Energie für dieselbe ein. Hatte Goltz (a. a. O. S. 500) einen angeschnittenen Sinus durch Aufdrücken von Schwämmchen vollkommen blutlos gemacht, so trat Stillstand ein. Durch unsere Methode dürfte die Entblutung aber sowohl vollständiger, wie schonender erfolgt sein, gleichwohl schlug das blutlose Herz noch

Stunden lang. Der Blutreiz kann also nicht der nothwendige Reiz des Herzens sein.

Auch die Spannung der Herzwand (vgl. einen folgend. Abschn.), die mit einer Durchfluthung des Herzens verbunden, kann man nicht als den etwa nunmehr eingetretenen Reiz beschuldigen, auch bei gesenkter Druckflasche schlagen die Salz- wie die Oelherzen dennoch fort. Oder sollten nun die Salzlösung oder das Oel, eventuell die während der Oeldurchströmung retinirten Stoffe eine chemische Reizung übernehmen?

Dann wüssten wir kaum ein Mittel, die Frage zum Austrage zu bringen; einstweilen können wir nicht umhin, der Herzwand, speciell dem „führenden“ Venensinus wirklich automatische Erreger zuzuschreiben¹⁾, dem Blute aber nur die Rolle eines Nährsaftes zu lassen.

III. Die Vaguswirkung am entbluteten Herzen.

Auf Grund einer ganz neuen Theorie der Hemmungswirkung hat neuerdings Schiff²⁾ das Blut durch irgend eine indifferente Flüssigkeit aus dem Herzen zu verdrängen gesucht, um dann die Erscheinungen der Vagusreizung zu studiren. Schiff wählte verdünnte Salzlösung und machte die auffallende Beobachtung, dass jetzt Vagus- und Sinusreizung ihre hemmenden Wirkungen verloren, ja im Gegentheil nun eine geringe Beschleunigung des Herzschlages eintrat.

Auf jene Vorstellungen, die Schiff zu seinen Versuchen veranlassten, können wir hier nicht eingehen. Auch uns musste nach den einleitenden Erörterungen diese Angabe ein hohes Interesse einflößen. Durch das Verdrängen der Ernährungsflüssigkeit wurde ja wohl der gesamte Herzapparat in gleichmässiger Weise geschwächt, und jener Befund von Schiff trat damit in schönsten Einklang mit jener anscheinend so gut gestützten Lehre, dass der Hemmungsapparat des Herzens auch durch hohe Wärme, wie durch andere, keineswegs specifisch wirkende Stoffe ganz vorzüglich ge-

1) Vgl. in theoretischer Hinsicht die schon oben erwähnte Berner Antrittsrede Luchsinger's, S. 9—10.

2) Schiff, Accad. del Lyncei 1877; Arch. d. sciences phys. et nat. LXIII. Genève 1878. Dies. Arch. Bd. XVIII. 1878. 202.

lähmt würde. — In der That, es bedurfte erst einer Widerlegung dieser Vorstellung durch unsere Versuche am überhitzten Herzen, bis wir Zweifel an einer an sich so einfachen Thatsache eines so verdienstvollen Meisters zu hegen wagten.

Ueber die Methode unserer Versuche haben wir wenig beizufügen. Die Durchspülung geschah wie oben. Eine Glas-canüle war in die untere Hohlvene eingebunden¹⁾, mit Salzwasser gefüllt, durch einen T-hahn mit einem beliebig verstellbaren Druckgefäß in Verbindung gesetzt.

In peinlichster Vorsicht war mehrmals auch noch in den einen Aortenbogen eine Canüle eingeführt, der andere aber verschlossen. Die Spülflüssigkeit war so leicht aufzufangen.

Ueber das Reizverfahren der nn. vagi vergleiche man das beim überwärmten Herzen sagte.

Haben wir die nn. vagi präparirt, die Canülen eingebunden, so überzeugen wir uns vorerst von der Wirksamkeit der Nerven. Dann lassen wir die Salzlösung unter einem Druck von einigen (2—5) Centimetern das Herz durchfliessen. Die abfliessende Flüssigkeit erscheint schon vollkommen klar und farblos, wir warten noch etwas länger, die Spülflüssigkeit gibt beim Kochen mit Salpetersäure keine Spur von Trübung, ja nicht einmal von Gelbfärbung.

Das Herz ist jedenfalls vollkommen entblutet. Versuchen wir nun die Wirksamkeit des n. vagus! Mag die Reizung noch während der Durchströmung des Herzens, mag sie erst nach Sistirung derselben geschehen, wir finden stets leicht eine Stromstärke, die auch jetzt vollkommenen Stillstand des Herzens bedingt.

Also an Salzherzen bleibt der n. vagus sehr wohl noch wirksam.

Die Versuche gelangen mit seltener Constanz zu jeder Jahreszeit²⁾; weder an Fröschen, Aalen, Barben noch Schildkröten hat sich je eine Ausnahme gezeigt.

Wie mit verdünnter Salzlösung lässt sich mit Oel das Herz entbluten, wir haben Mandel- und Olivenöl zu einigen Versuchen

1) Man hat sich zu hüten, zu nahe dem Venensinus die Ligatur anzulegen, man findet sonst öfters die nn. vagi unwirksam.

2) Ein Unwirksamwerden des n. vagus im Spätsommer, wie solches Borisowitsch (Zur Physiol. d. Froschherzens, Warschau 1873) bei Fröschen beobachtete, habe ich bei meinen Fröschen bisher nur höchst selten wahrgenommen. L.

benutzt. Der *n. vagus* behält auch am Oelherzen seine Wirksamkeit bei.

In der Erwartung, nun doch wenigstens deutliche, quantitative Unterschiede in dem Verhalten des *n. vagus* an Blut- und Salzherzen zu finden, schritten wir zu weiteren Versuchen. Diese waren ausschliesslich an Fröschen, *Rana esculenta* und *Rana temporaria*, angestellt.

Wir zerstoßen das Centralnervensystem, präparieren die *nn. vagi* und bestimmen an dem noch mit Froschblut gefüllten Herzen den Minimalreiz, der eben genügt, das Herz zum Stillstand zu bringen; wir verdrängen nun unter möglichst niedrigem Drucke¹⁾ das Blut durch Salzwasser, und prüfen wieder; wir finden den früheren Minimalreiz auch jetzt noch wirksam.

Zu weiteren Versuchen benutzen wir defibrinirtes Blut oder auch Serum aus dem Schlachthause oder von Anatomiepferden; wir verglichen diese beiden ernährenden Flüssigkeiten mit dem indifferenten Salzwasser, in seltenen Fällen mit Oel.

Zwei Druckgefässe waren unter sich und mit der Herzcanüle durch einen T-hahn verbunden und mit den zu vergleichenden Flüssigkeiten gefüllt. Ihr Flüssigkeitsspiegel stand in gleicher, mässiger Höhe (5—10 cm) über dem Herzen; durch einfaches Drehen des Hahnes konnte nach Belieben die eine oder andere Versuchsflüssigkeit zum Herzen geleitet, konnte aber auch der Strom zeitweise abgestellt werden.

Da doch nach Schiff unter dem Salzregime wenigstens eine geringere Wirksamkeit des *n. vagus* zu erwarten war, wurde vorerst der Minimalreiz während der Blutdurchströmung bestimmt, dann Salzwasser während bestimmter Zeit (ca. 4 Minuten) durchgeleitet und wieder die Wirksamkeit des Vagus geprüft, endlich noch einmal ebensolange Blut zugeführt und verglichen.

Allein es zeigte sich bei dieser Anstellung des Versuches durchaus kein Unterschied. Reize, die das Blutherz stellten, brachten auch das Salzherz stets zur Ruhe. Nun war aber noch ein anderer Weg zu betreten, es dürfte sich ja geradezu um eine grössere Wirksamkeit des *n. vagus* während der Salzdurchspülung handeln. Um solche aber wahrnehmen zu können, prüften wir jetzt den Minimal-

1) Das Herz soll nicht wesentlich stärkere Füllung wie normal erhalten.

reiz am Salzherzen, leiteten Blut durch, prüften nach bestimmter Zeit und eröffneten endlich noch einmal auf ebenso lange den Salzstrom.

Je nach der Dauer der einzelnen Durchspülungen zeigte sich nun verschiedenes Verhalten.

War die Zeit einer solchen nur kurz (3—4 Minuten), so war meist kein wesentlicher Unterschied unter den verschiedenen Füllungsmassen zu bemerken, nur einige Male allerdings sah man auch hier schon eine bessere Wirksamkeit des *n. vagus* am Salzherzen; solches Verhalten wurde aber ausnahmslose und leicht demonstrirbare Regel, sobald nur die einzelne Durchströmung längere Zeit (10—15 Minuten) wirken konnte.

Es wird zu Beginn eine Zeit lang Salzwasser durchgeleitet, um die Zahl der Herzschläge erheblich herabzusetzen. Nach 15—20 Minuten ist dieses, oft schon in reichlichem Maasse, erreicht. Die Pulszahl beträgt kaum noch die Hälfte der ursprünglichen. Nun wird der Minimalreiz bestimmt, der eben genügt, das Herz zu stellen, dann wird durch längere Zeit (10 Minuten) Blut durchgeleitet, die Wirksamkeit des Vagus mit gleichem Reize bestimmt, endlich wiederum Salzwasser durch gleiche Zeit zugeführt und noch einmal der Reiz geprüft.

Unter dem Blutregime sehen wir nun regelmässig die Pulszahl wieder wesentlich zunehmen, wird aber gleichzeitig die Vagusreizung, die eben noch genügte, das Herz stillzustellen, vollkommen unwirksam, um erst bei späterer Salzdurchströmung gleichzeitig mit dem Sinken der Schlagzahl wieder wirksam zu werden.

Solch wechselnder Erfolg einer immer gleichen Vagusreizung ist aber oftmals hintereinander durch entsprechenden Wechsel der Flüssigkeit herbeizuführen. Damit zeigt sich also eine Vagusreizung an Salzherzen sogar noch wirksamer, als normal. Entsprechende Vergleiche zwischen Oel und Blut ergaben genau gleichen Erfolg.

Es erscheint allerdings natürlich genug, dass ein Hemmungsnerv wohl ein energielos schlagendes Herz zum Stillstande bringen kann, während ein gut genährtes Herz mit raschem und kräftigem Schlage sich solch störendem Einfluss leicht noch entzieht! Damit in voller Uebereinstimmung steht eine andere, häufig gelegentlich gemachte Beobachtung.

Haben wir längere Zeit Salzwasser oder Oel durch das Herz

fließen lassen, ist der Herzschlag schon sehr matt geworden, so gelingt es leicht, durch kurze Vagusreizung langdauernde Stillstände zu erzielen.

Damit finden wir volle Analogie zu jenem oben geschilderten Verhalten des überhitzten Herzens. Wie dort, handelt es sich offenbar auch hier nicht um so langdauernde Nachwirkung des Reizes, sondern wohl lediglich um einen, durch den Ausfall der vorhergehenden Pulse bedingten Mangel an Erregung.

Der Stillstand lässt sich kürzere oder längere Zeit festhalten, je nachdem wir früher oder später das Herz durch leichten mechanischen Antrieb wieder zu neuen Schlägen anregen. Da aber der Ablauf eines einzigen Schlages auch am entbluteten Herzen die Ursache wird zur Nachfolge einer ungezählten Reihe weiterer, so muss nicht in der Bewegung des Blutes, sondern in jener des Herzens die wesentliche Ursache der Schlagfolge eines geschwächten Herzens liegen.

Woher endlich kommt nun aber unser Widerspruch mit Schiff? Das Salzwasser an sich ist wohl sicher nicht Schuld an dem Unwirksamwerden der Vagusreizung¹⁾, sollte es vielleicht die Art sein, womit die Verdrängung des Blutes durch die indifferente Lösung in Schiff's Versuchen geschah? Wir haben die Lösung stets aus niedrig gestelltem Druckgefäss ins Herz geleitet, während Schiff mit einer Spritze durch den Druck der freien Hand das Herz ausspült, dabei allerdings vor allzu starkem Drucke warnt. „L'injection doit être faite lentement, pour ne pas trop distendre le coeur“. (l. c. p. 21.) Auch wenn wir mit grösster Behutsamkeit verfahren, sehen wir das Herz so gleichwohl eine viel stärkere Spannung erleiden, als bei unserer Anordnung des Versuches.

IV. Die Schlagfolge des Herzens als Function des intracardialen Druckes.

a. Versuche am ganzen Herzen. Seit jene fundamentale Untersuchung von Ludwig & Thiry²⁾ (1864) die pulsbeschleunigende Wirkung einer Blutdrucksteigerung dargethan, ist

1) Anmerkung. Zu meiner grossen Freude war es mir vergönnt, erst im letzten Sommersemester noch Herrn Professor Schiff einige Versuche vorzuführen, und auch ihn in diesen Fällen wenigstens von der Wirksamkeit des Vagus am Salzherzen zu überzeugen. Luchsinger.

2) Ludwig & Thiry, Wiener med. Sitzgsber. 1864.

eine ansehnliche Literatur über diesem Streitobject erwachsen; deren Discussion aber können wir uns jetzt um so eher erlassen, als solche erst neuerdings noch von Tschiriew in eingehender Weise geführt worden ist.

v. Bezold¹⁾ und Tschiriew²⁾ leiten die Erscheinungen von einer gleichzeitigen Reizung der bewegenden und der hemmenden Elemente ab, aus der Interferenz dieser Erregungen würde der jeweilige Erfolg resultiren.

Die Angaben v. Bezold's sind aber auch aus einer ausschliesslichen Reizung der bewegenden Mechanismen vollkommen verständlich, denn in seinen, am Warmblüter unternommenen Versuchen fanden stets gleichsinnige Aenderungen von Blutdruck und Pulszahl statt.

Für den Warmblüter lauten Tschiriew's Daten allerdings anders, dieser Forscher sah oft eben auch das umgekehrte Verhalten, Absinken der Pulszahl bei ansteigendem Drucke, und beweist aus solchen Fällen die Erregung der hemmenden Mechanismen. Wie weit solcher Schluss zutreffen mag, können wir hier nicht näher untersuchen. Für den Frosch wenigstens hat auch Tschiriew nur gleichsinnige Aenderungen der beiden Variabeln gesehen.

Unsere Versuche, die ja hauptsächlich eine Erklärung der Schiff'schen Angaben suchten, waren ausschliesslich an Kaltblütern angestellt. Als Füllungsmaterial verwandten wir aber nicht das ernährende Blut, sondern das indifferente Salzwasser, liessen wir so wenigstens jede durch Aenderung der Blutfülle bedingte Aenderung in der Ernährung des Herzens völlig aus dem Spiel. Eine grosse Zahl solcher, unter denkbar einfachsten Bedingungen angestellter Experimente bestätigte vollkommen jene früheren Angaben.

Versuch 1³⁾. Einer Esculenta wird Hirn und Rückenmark zerstossen; das Herz blosgelegt, eine Canüle in die vena cava inf. eingebunden; dieselbe mit Salzwasser gefüllt und mit dem Druckgefässe verbunden. Der Druck wird erst variiert, wenn das Blut verdrängt ist.

1) v. Bezold, Untersuchungen aus dem Würzburger Laboratorium, 1867. S. 195 u. f.

2) Tschiriew, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1877.

3) Auch hier seien nur einige Beispiele mitgetheilt.

Druck ¹⁾ .	Pulsfrequenz pro Minute.
0	28
20	39
40	42
20	40
0	31
Einige Zeit später	
0	27
40	38
0	20

Steigt der Druck noch höher, so tritt Stillstand der Vorhöfe ein, während der Ventrikel meist noch kräftig zu schlagen vermag. Der dünnwandige Vorhof vermag offenbar die wachsende Last nicht mehr zu bewältigen.

Später leidet auch der Ventrikel und zeigt sich dann meist eine eigenthümliche, wühlende Peristaltik.

Versuch 2. *Emys lutaria*, Centralnervensystem zerstört. Herz wie in 1 angegeben präparirt; es ist entblutet.

Druck.	Pulsfrequenz.
0	15
10	27
20	36
30	41
0	18

Innerhalb weiter Grenzen, jedenfalls innerhalb der physiologischen Schwankungen herrscht hier ein einfaches Gesetz. Druck und Pulsfrequenz steigen gleichsinnig, doch letztere um so langsamer, je höher der Druck schon gestiegen.

Es war nun aber weiter von nicht geringem Interesse, diese am ganzen Herzen gültige Beziehung nun auch an seinen Elementen zu prüfen, und bot solches nur um so grösseren Reiz, als wir damit noch völlig unbebautes Gebiet betreten konnten.

b. Versuche am sinuslosen Herzen. Durch die berühmten Versuche von Stannius sind als die wesentlichsten Erreger des Herzens die Remak'schen Ganglienhaufen im Venensinus bekannt. Nach einfacher Abtrennung derselben blieb der Rest entweder dauernd still oder begann erst nach längerer Zeit, aber in schwachem Schlage zu schlagen.

1) In Centimeter Wasserdruck; Differenz zwischen Herz und Niveau des Salzwassers.

Erst in Ludwig's Laboratorium war es 1873 Luciani¹⁾ gelungen, den Ventrikel sogleich wieder zu einer grossen Reihe von Schlägen zu bewegen, als er ihn mit Kaninchenserum nachträglich versah; einen Einfluss des Füllungsdruckes aber bemerkte er nicht. „Weder die Frequenz, noch die absolute Höhe der Pulse wurde wesentlich geändert, wenn der Druck von 4 auf 13 mm Quecksilber erhöht wurde“. (l. c. p. 73).

In unseren Versuchen wird der Frosch getötet, die Aorta durchschnitten, eine Cantile durch den Venensinus bis in den rechten Vorhof eingeführt und im Bereich der Vorhöfe ligirt.

In vielen Fällen steht nun das Herz bald darauf still; nur solche Präparate waren zu benutzen.

Später folgten wir einem Winke Steiner's, und suchten durch locale Bepinselung des Venensinus mit Froschgalle den Einfluss desselben zu eliminiren. In solchen Fällen wurde dann die Cantile natürlich in die v. cava gebunden.

Als Spülfüssigkeit wandten wir auch hier ausschliesslich Salzwasser an. Dessen Druck wurde variirt und unter der wechselnden Spannung die Pulse gezählt.

Um aber den reizenden Einfluss rascher Druckschwankung zu vermeiden, also möglichst rein die Wirkungen der einfachen Spannung zu untersuchen, begann die Zählung immer erst einige Zeit nach der Herstellung eines bestimmten Druckes.

Versuch.	
Druck.	Pulszahl.
0	Stillstand
5	18
20	40
0	nach wenigen Schlägen Stillstand.
Zwei Minuten später	
0	0
5	16
10	25
5	19
0	Stillstand nach vollkommener Entleerung des Herzens.

Damit zeigt sich auch am sinuslosen Herzen ein beschleunigender Einfluss der Spannung zur Evidenz. Und dieser Einfluss ist gerade hier nur umso deut-

1) Luciani, Sächsische Berichte 1873.

licher, als er unter den obwaltenden Bedingungen überhaupt der einzige bewegende Factor des Herzens zu sein scheint.

Die Spannung des Herzens wirkt als kräftiger Reiz auf die motorischen Elemente. War die Spannung sehr gross, so kann die Erregung noch einige Zeit diesen Reiz überdauern.

Das sinuslose, der Remak'schen Ganglien beraubte Herz besitzt aber noch die, wie es scheint, mit einigem Recht, so oft schon als bloss reflectorische Heerde betrachteten Atrioventrikularganglien von Bidder. Auf diese sind unsere Resultate wohl zunächst auch zu beziehen.

Aber mit der Berücksichtigung dieser Ganglien ist unsere Untersuchung der motorischen Elemente noch keineswegs beendet.

Schon längst tauchten hin und wieder — allerdings lange vereinzelt — Zweifel auf über die Gültigkeit jenes alten Volkmann'schen Satzes, der in Ganglien den ausschliesslichen Sitz rhythmischer, automatischer Erregung erblickte.

c. Versuche an der Herzspitze. Nach den übereinstimmenden Untersuchungen zahlreicher Forscher besitzt das sinuslose Herz Ganglien nur noch an der Atrioventrikulargrenze; sind namentlich die unteren zwei Drittel, sicher die untere Hälfte der Herzkammer des Frosches, also die „Herzspitze ganglienfrei“.

Die abgeschnittene Herzspitze schlägt von selbst nicht mehr. Aber schon 1858 gelang es Eckhard, sie durch constante Ströme zu einer Reihe von Pulsationen zu bringen; haben weiterhin zahlreiche, durch Ludwig inaugurierte Untersuchungen der letzten Jahre rhythmische Contractionen der Herzspitze entdeckt, sobald nur dieselbe mit Blut, mit Giften, mit verdünnten Alkalien gefüllt wurde.

Die sogenannte automatische Bewegung der Herzspitze erforderte jetzt dringend auch eine Untersuchung des Druckes; war es doch immerhin denkbar, dass der in jenen Arbeiten meist wenig oder gar nicht berücksichtigte Füllungsdruck gerade die Hauptrolle spielte, die entsprechenden Füllungsflüssigkeiten eben nur Ernährung und Erregbarkeit in richtigen Grenzen halten mussten. In jenen Versuchen war verdünnte Salzlösung als unwirksam befunden worden. In den folgenden Versuchen haben wir solche gleichwol angewandt, und nicht ohne Erfolg¹⁾. Wir wollten doch

1) Vgl. dagegen z. B. Merunowicz, Sächsische Berichte 1876, 273.

vor Allem eine möglichst indifferente Flüssigkeit anwenden, um den Einfluss des Druckes möglichst isolirt untersuchen zu können.

Gleich unsere ersten, unmittelbar nach einander an drei Froschherzen angestellten Versuche bestätigten unsere Vermuthung eines wesentlichen Einflusses des Druckes vollkommen, eine Reihe weiterer Beobachtungen brachten nur noch Ergänzungen und Erweiterungen dieses elementaren Versuches¹⁾.

Um die Flüssigkeit in der Herzspitze circuliren zu lassen, bedienten wir uns Kronecker's doppeläufiger Perfusionscantile.

Durch die weitgeöffneten Vorhöfe führten wir diese in den Ventrikel ein, banden sie auf der Vorhofswand vorläufig fest, schnitten das Herz aus und legten jetzt mit aller Behutsamkeit eine Ligatur um den Ventrikel; suchten uns dabei ringsherum eine beträchtliche Strecke entfernt von dem Sitz der Ganglien, von der Atrioventrikulargrenze zu halten.

Nach der Ligatur verfällt die Herzspitze in Ruhe; wir bringen die Cantile ans Druckgefäss und erproben die verschiedenen Drücke; bald früher, bald später, bald schon bei Drücken von 5 cm Wasser, meist jedoch nicht unter 20 cm, oft erst bei solchen von 40–50 cm beginnt nun ein Spiel regelmässigster Pulsation.

Meist ist eine kleine mechanische Reizung nothwendig, um eine erste Contraction zu Stande zu bringen, ruft diese dann aber einer ganzen Reihe von mehr wie 50 Schlägen.

Stellen wir, von so langem Warten ermüdet, den Druck ab, so sinkt auch augenblicklich die Schlagzahl und zeigt sich in Kurzem völliger Stillstand, um beim Wiederanwachsen des Druckes oft von selbst, oft nach kleinem Antrieb einer ungezählten Reihe von Pulsen wieder zu weichen.

Wir hegen den Verdacht, es sei die Ligatur vielleicht doch noch zu nahe der Ventrikelgrenze angelegt, wir mässigen den Druck, der Puls hört auf, wir nehmen die Cantile sammt dem Herzen vom Druckgefäss ab und binden eine zweite Ligatur unter der ersten, der Versuch zeigt gleichen Erfolg; ja auch einer dritten, noch tiefer angelegten Ligatur spottet die mit der erhöhten Spannung wieder beginnende rhythmische Reihe der Pulse.

1) Der Misserfolg früherer Untersucher dürfte wohl zu gutem Theil von der dort stets vorhandenen Stagnation der Kochsalzlösung im Herzen abzuleiten sein.

So können wir denn weit gegen die Spitze des Herzens heruntergehen, es bleibt oft kaum ein unteres Drittel des Herzens übrig; so lange die Spitze noch überhaupt ein Lumen besitzt, bleibt ungeändert der erregende Erfolg einer Druckerhöhung.

Mit dem Wechsel des Druckes aber wechselt die Pulszahl in gesetzmässiger Weise.

Versuch vom 17. Februar 1879.

Rana esculenta. Canüle zum zweiten Mal ligirt, mit dem Salzwasser haltenden Druckgefäss verbunden.

Druck cm Wasser.	Pulszahl p. M.	Bemerkungen.
0	0	
10	24	beginnt ohne äusseren Antrieb
20	30	
30	34	
5	19	
4	0	
0	0	

Ist das Herz einmal in Gang, so scheint ein geringer Druck von 5 cm noch als genügender Reiz wirken zu können.

Versuch vom 18. Februar 1879.

R. esculenta. Canüle ligirt, mit dem Druckgefäss verbunden.

Erst nach langer Pause beginnt bei 50 cm Druck das Herz zu schlagen, hört sofort auf, sowie der Druck auf nur 30 cm erniedrigt wird.

Versuch vom 5. März 1879.

R. temporaria. Canüle weit unterhalb der Vorhofkammerfurche zum dritten Male gebunden.

Druck.	Pulszahl.	
0	0	
5	0	
10	25	schwacher einmaliger Antrieb
30	30	
50	34	
0	0	

Versuch vom 2. August 1879.

Emys lutaria. Das Herz wird freigelegt, durch einen Scheerenschnitt die Scheidewand von Vorhöfen und Kammern getrennt, die Canüle eingeführt und möglichst tief eingebunden; wiederum Salzwasser unter verschiedenen Drücken durchgeleitet.

Druck.	Pulszahl.	
0	0	
5	0	
10	0	
20	12	einmaliger Antrieb
30	25	
40	32	
50	37	
0	0	

Den mitgetheilten vollkommen gleich sind die Aussagen einer Reihe anderer Protocolle¹⁾.

Durchweg gilt auch hier das schon oben für die ganglienhaltigen Herzstücke, für das ganze Herz ausgesprochene Gesetz.

Auch an der isolirten Herzspitze steigt die Pulszahl mit zunehmender Spannung, auch an der einfachen Muskelfaser, zeigt sich der erregende Einfluss des Druckes²⁾.

In der Spannung des Gewebes haben wir wohl ganz allgemein einen Reiz protoplasmatischer Massen zu betrachten; für mechanische Arbeitsorgane aber wird dies gerade in besonderem Maasse zu gelten haben.³⁾

Lassen wir zwei homologe Muskelgruppen unter verschiedener Spannung absterben, so eilt stets die gespannte der schlaffen in der Erstarrung bedeutend voran⁴⁾. Durch die Spannung wird also wohl selbst der Stoffwechsel eines „ruhenden“ Muskels wesentlich gesteigert, ganz gewiss wird dies erst recht für den arbeitenden Muskel gelten müssen. In der That bezeugen dies die Untersuchungen Heidenhain's, der sonst so sonderbare Fick'sche

1) Anmerkung. Füllung der Herzspitze mit Blut unter verschiedenem Druck lässt ähnliche Erscheinungen auftreten. Da die Verhältnisse aber complicirter, werden sie unten in besonderem Abschnitte behandelt.

2) Seit dem Erscheinen unserer vorläufigen Mittheilung hat dieser Satz durch Gaskell (Journ. of physiol. III. 1880, p. 51) eine schöne Bestätigung erhalten.

3) Erst neuerdings noch fand ich auch am Ureter, Engelmann's Angaben entgegen, dieses Princip aufs schönste bestätigt. Luchsinger.

4) Vgl. die Literatur bei Nasse, Hermann's Hdb. d. Physiol. I. S. 300. Beobachtungen, die Herr Dr. Petri noch ohne Kenntniss der früheren Versuche in meinem Laboratorium angestellt hatte, gaben volle Bestätigung. Luchsinger.

Versuch an dem Schliessmuskel der Muschel¹⁾ wird jetzt überraschend verständlich. Denn wie anders ist es zu begreifen, dass bei gleichem electrischem Reize der belastete Muskel sogar höher zuckt, als der unbelastete!

Jeden continuirlichen Reiz, also auch den eines continuirlichen Zuges beantwortet der Herzmuskel aber durch rhythmische Entladung.

V. Die Wirksamkeit des n. vagus als Function des intracardialen Druckes.

Durchgehen wir die einschlagende Literatur, wir treffen nur eine geringe Zahl hierhin gehörender Angaben.

Sustschinsky²⁾ sah in v. Bezold's Laboratorium bei Warmblütern die Wirksamkeit des n. vagus steigen nach der Durchschneidung des Halsmarkes, nach Verschluss der Aorta erheblich sinken, nach dem Lüften der Klemme bald wiederkehren. Er meint, durch die starke Spannung der Herzwand würden einmal die motorischen Centren des Herzens erregt, aber auch die Vagusenden im höchsten Grade gereizt, würde also eine weitere Reizung des Vagus einer schon bestehenden peripheren Erregung nur noch wenig mehr zuführen können.

Erst neulich noch hat Schiff³⁾ das Thatsächliche jener Angabe zwar vollkommen bestätigt, nach Zuklemmen der Aorta war der n. vagus nicht mehr wirksam; aber die Deutung dieses Forschers war eine ganz andere. Nicht der Druck, vielmehr eine durch die Stauung veränderte chemische Beschaffenheit des Blutes würde die Unwirksamkeit des n. vagus bedingen.

Es liegt auf der Hand, wie schwierig zu deuten derartige, am Warmblüter unternommene Versuche sein müssen.

Mit jeder Aenderung der Circulation ändert sich auch der Gaswechsel des Blutes. In wie hohem Maasse aber sind nicht gerade beim Warmblüter Erregung wie Erregbarkeit irritabler Gebilde abhängig von der Ventilation des Blutes, resp. des erregbaren Gewebes?!

Eine Untersuchung am Frosche macht sich mit Einem Male von all solchen Bedenken frei; ja noch mehr, wir können die Versuchsbedingungen noch wesentlich vereinfachen, wenn wir auch

1) Fick, Irritable Substanzen, 1864.

2) Bezold's Untersuchungen 1868. S. 161 u. f.

3) Schiff, Arch. d. sciences phys. et natur., Genève 1878, p. 30.

noch das Blut durch indifferente Salzlösung ersetzen; durch einfaches Heben und Senken unseres Druckgefäßes können wir so leicht die Spannung des Herzens — die gerade zu untersuchende Bedingung — aufs Mannigfachste variiren, und brauchen nicht zu fürchten, mit unserem Salzstrom implicite noch andere Momente, die Ernährung des Gewebes variirt zu haben. Damit aber dürfte das Problem auf möglichst grosse Einfachheit reducirt sein.

Die so grosse Beweiskraft der Versuche, ihr sicheres Gelingen dürfte ihnen gewiss einen Platz in der Vorlesung sichern. Aus der reichen Zahl unserer Beobachtungen seien nun einige als Muster vorgeführt.

Die Reizstärke wird so gewählt, dass sie bei dem niedrigsten in einer Versuchsreihe herrschenden Druck nur gerade deutlichen Stillstand hervorruft — Minimalreiz. Zwischen die einzelnen Reizversuche sind immer gleiche Ruhepausen (3—5 Minuten) eingeschoben. Um das Herz nicht unnöthig zu ermüden, wird eine Druckerhöhung erst eine Minute vor der entsprechenden Reizung vorgenommen.

Versuch vom 24. Februar 1879.

Druck.	Minimalreiz.	
0	R = 5,5	wirkt
10	= 5,5	wirkt nicht
0	= 5,5	wirkt
10	= 5,5	wirkt nicht
0	= 5,5	wirkt
10	= 5,5	wirkt nicht
0	= 5,5	wirkt.

Nun wird der Reiz wesentlich verstärkt, jetzt wirkt derselbe auch bei einem Druck von 10 cm.

Versuch vom 26. Februar 1879.

Druck.	Minimalreiz.	
12	R = 3,0	Stillstand nach 2 Schlägen
35	R = 3,0	keine Wirkung
12	R = 3,0	Stillstand nach 2 Schlägen.

Darauf wird der Druck auf 35 cm erhöht, aber der Reiz von Prüfung zu Prüfung verstärkt.

Bei R = 2,0 sehen wir die Vorhöfe in Stillstand, schlägt die Kammer aber noch kräftig.

Bei R = 0,5 endlich geräth auch die Kammer in Ruhe.

Versuch vom 27. Februar 1879.

Druck.	Minimalreiz.	
0	R = 5,5	Wirkung nach 2 Schlägen
1	R = 5,5	Wirkung versagt
0	R = 5,5	Wirkung nach 1 Schlage
1	R = 5,5	wirkt nicht
1	R = 4,5	Wirkung nach 1 Schlage.

Diese Belege mögen genügen. Unser Schluss wird zwingend.

Je höher die Spannung des Herzens steigt, um so schwieriger gelingt es, durch Vagusreizung einen Stillstand des Herzens zu erhalten. Ja schon gegen überaus kleine Druckunterschiede kann das Herz eine sehr grosse Empfindlichkeit zeigen. (Vgl. Versuch vom 27. Februar 1879.)

Die Erklärung aber dürfte sich höchst einfach gestalten.

Die Versuche des vorhergehenden Abschnittes haben die Erregung der motorischen Elemente des Herzens durch eine gesteigerte Spannung deutlich genug erwiesen.

Je höher der Druck steigt, um so häufiger und um so energischer erfolgt der Herzschlag, um so kräftiger wird die Herzwand gereizt.

Dann aber wird nicht nöthig, auch noch nach Aenderungen in der Erregbarkeit des n. vagus zu suchen.

Eine gewisse, immer gleiche hemmende Erregung wird motorische Impulse bestimmter Intensität wohl noch unterdrücken können, einer wesentlichen Steigerung derselben aber nicht länger mehr gewachsen sein. Soll anders dann immer noch Stillstand eintreten können, dann muss eben auch die Energie der Hemmung gesteigert werden.

Hier zeigt sich denn das interessante Verhalten, dass die Kammer und die Vorhöfe keineswegs gleichzeitig gestellt werden, für den Stillstand der Vorhöfe genügt vielmehr schon eine wesentlich geringere Erregung des n. vagus.

Schon oben sahen wir bei blosser, allmählicher Drucksteigerung die Vorhöfe endlich prall ausgedehnt stillstehen, während die Kammer noch recht kräftig schlägt; es kann eben der dünnwandige Vorhof Lasten nicht mehr überwinden, denen der dickmuskelige Ventrikel noch sehr wohl gewachsen ist.

Durch die Versuche von Coats¹⁾ aus Ludwig's Laboratorium

1) Coats, Sächsische Berichte 1869.

aber wissen wir, dass eine Vagusreizung nicht nur die Zahl, sondern auch die Energie der einzelnen Herzschläge herabsetzt. Was Wunder, wenn nun auch jetzt bei einer Vaguserregung der stark belastete dünnwandige Muskel früher seinen Dienst einstellt, als der mehrfach stärkere Genosse!

Ein leichter Eintritt einer eigentlichen, wirklich nervösen Hemmung ist für die Vorhöfe also durchaus nicht erwiesen, und gewisse, ganz analoge toxikologische Angaben dürften sich gleichfalls aus solchen, einfach mechanischen Verhältnissen befriedigend erklären.

Das Muscarin wirkt mächtig erregend auf die Hemmungsmechanismen des Herzens. „Während des Stillstandes selbst löst jede mechanische oder electriche Reizung des Herzens eine oder mehrere rhythmische Contractionen der Ventrikel aus. Die Vorhöfe bleiben auch jetzt noch im diastolischen Stillstand; sie nehmen an der, durch den Reiz ausgelösten Bewegung keinen Antheil, wiewohl sie denselben, wenn sie selbst der Ort des Reizes sind, auf die Ventrikel fortpflanzen¹⁾“. Sch m i e d e b e r g selber, der Entdecker des Muscarins und dieser seiner Wirkung, meint: „Am einfachsten liesse sich jenes Verhalten des stillstehenden Herzens mit der Ansicht in Einklang bringen, dass in den Vorhöfen die bewegungshemmenden Vorrichtungen stärker vertreten sind, als in dem Ventrikel, so dass die mechanische Reizung der bewegungserregenden Apparate nicht im Stande ist, die durch das Muscarin gesteigerte Hemmungswirkung zu überwinden, während die letztere in dem Ventrikel wohl die rhythmischen Contractionen ausschliesst, durch eine Steigerung der Thätigkeit der bewegungserregenden Centra jedoch so weit überwunden werden kann, dass eine einzelne Zusammenziehung des Herzens erfolgt“²⁾.

So wie die Sachen liegen, dürften wir solcher Hypothesen einstweilen immerhin entbehren.

„Stets erfolgt der Stillstand in der Diastole des Herzens, welches ausgedehnt und strotzend mit Blut gefüllt ist“³⁾.

Offenbar walten hier bei der Muscarinwirkung genau dieselben Verhältnisse, wie bei der Vagusreizung am belasteten Herzen.

1) Böhm, Studien über Herzgifte, Würzburg 1871. S. 10, 11.

2) Schmiedeberg, Das Muscarin, Leipzig 1869. S. 33.

3) Schmiedeberg, l. c. p. 27.

Denn in beiden Fällen wird bei gleicher nervöser Hemmung der dünnmuskelige Vorhof wachsenden Anforderungen gegenüber viel früher ohnmächtig, als die dickmuskelige Kammer.

Versuche, die erst neuerdings noch der Eine von uns mit Frl. O. Sokolow angestellt hat, bestätigen in der That auch solche Vorstellung vollkommen. Haben wir ein Froschherz so weit muscarinisirt, dass zwar der Ventrikel noch schlägt, die gefüllten Vorhöfe aber in Stillstand verharren, so kann man durch einfaches Anschneiden der unteren Hohlvene, also durch blosses Entlasten der stark gespannten Herzwand sofort wieder kräftige Pulse der Vorhöfe sich entwickeln sehen.

Die bisher angeführten Beispiele enthielten nur solche Fälle, deren Bedingungen sich noch in physiologischen Grenzen bewegen; wo namentlich der Druck noch kein allzu übermässiger war.

Neben solchen typischen Versuchen kamen aber hin und wieder auch andere, mehr pathologische Erscheinungen zur Beobachtung.

Aber auch deren Aussagen werden vollkommen verständlich, wenn wir einmal jene einfacheren Fälle einer Analyse unterzogen haben.

1) Hat ein einmaliger, übermässiger Druck vorher eingewirkt, so bleibt die Vagusreizung auch noch einige Zeit nach Absinken des Druckes unwirksam.

Man bestimme unter niedrigem Drucke den eben wirksamen Minimalreiz, erhöhe nun den Druck sehr stark auf 60, 80, 110 cm Wasser, so bewirkt eine Vagusreizung jetzt natürlich keinen Stillstand. Aber auch nicht nur unmittelbar nach der Entlastung, selbst mehrere Minuten später wirkt jetzt der ursprünglich gut wirksame Reiz nicht mehr, und wird solcher erst wieder wirksam nach 5, 7 und oft noch mehr Minuten.

Schon oben (vgl. S. 230) sahen wir bei viel geringeren Drücken eine schwache Nachwirkung ihrer Reizung der motorischen Centren. Je stärker die Reizung aber ausfällt, um so länger wird sie wohl anhalten, um so länger wird eine minimale Vagus-erregung gegen abnorm erhöhte motorische Antriebe vergeblich ankämpfen.

2) Aber nach oft wiederholten, erheblichen Drucksteigerungen wird eine Vagusreizung auch bei hohem Drucke wieder wirksamer.

In der That, in einer Reihe von Versuchen, in denen anfangs

bei frischem Herzen eine bestimmte Vagusreizung unter höheren Drücken von 30, 40 cm unwirksam war, wurde dieselbe Reizstärke nach einer längeren Reihe von Druckversuchen schliesslich recht gut wirksam. Beruht die Unwirksamkeit der Vagusreizung höheren Drücken gegenüber auf einer starken Erregung der motorischen Centren durch die starke Spannung der Herzwand, so ist in der That auch dies Resultat verständlich genug. Wird doch schliesslich diese starke anhaltende Reizung auch eine Ermüdung des gereizten Apparates bedingen, eine weitere Drucksteigerung schliesslich nur noch schwach reizend auf die heruntergekommenen und abgehetzten motorischen Apparate zu wirken vermögen.

3) Eine Reizung des n. vagus kann am stark gespannten Herzen bisweilen starke Beschleunigung der Schlagfolge hervorrufen.

Lässt man das Herz einige Zeit unter dem hohen Druck von ca. 40 cm Salzwasser, so steht allmählich der Vorhof still, auch die Kammer zeigt dann mit der Zeit nur noch schwache und seltener sich folgende Schläge.

Reizen wir in solchem Stadium den n. vagus, so tritt oft unmittelbar darauf eine Erschlaffung der vorher auf ein kleineres diastolisches Volumen eingestellten, tonisch contrahirten Kammer ein; sobald sie sich aber unter Vagusreizung erweitert hat, folgen sich nun rasch hintereinander eine ganze Reihe kräftiger Schläge, die selbst die Vagusreizung noch kurze Zeit überdauern können, um allmählich erst in eine viel langsamere Pulszahl überzugehen.

Der starke Reiz eines hohen intracardialen Druckes bringt allmählich eine continuirliche, tonische Verkürzung des Herzens zu Stande, auf welche die rhythmischen Schwankungen sich erst summiren. Es könnten ja doch in solchen Fällen die einzelnen Contractionen durch Ermüdung so langsam ablaufen, dass noch vor ihrem Abklingen schon wieder eine neue Erregung anpocht.

Einer starken Vagusreizung mag es gelingen, diese nächsten Erregungen zu unterdrücken, dann aber erschläft der Ventrikel endlich wieder einmal in ausgiebiger Weise, bietet aber dadurch dem einwirkenden Drucke eine enorm viel grössere Oberfläche dar. Entsprechend dem kleineren Querschnitt der völlig erschlafften Muskelschale wird nun derselbe Druck mächtiger reizend einwirken müssen. Die darauf beobachtete Beschleunigung des Herzschlages wäre so nur indirect die Folge einer Vagusreizung.

Ein sehr ähnliches Bild beschreibt Foster ¹⁾ für antiarinisirte Froschherzen.

Weitere Versuche müssen hier folgen, sie müssen entscheiden, wie weit unsere Deutung gerechtfertigt; sie haben dann auch die weitere Möglichkeit einer Reizung und Mitbetheiligung eigentlicher beschleunigender Vagusfasern zu untersuchen.

Endlich dürften wir nun auch genügendes Material zur Discussion des Schiff'schen Versuches gewonnen haben.

Schiff hat Salzlösung (ca. 3 ccm) mit einer Handspritze ins Herz eingeführt, bald darauf die nn. vagi geprüft, und sie entweder unwirksam oder schwach beschleunigend gefunden. Wurden Serum oder Blut in gleicher Weise dem Herzen applicirt, so liessen die Vagi dagegen eine hemmende Wirkung noch deutlich erkennen.

Wir haben die Indifferenz der Salzlösung dargethan, wissen aber jetzt, wie enormen Einfluss die Spannung des Herzens in solchen Reizversuchen am n. vagus besitzt.

In einigen Fällen haben wir selbst genau nach Schiff's Angaben gearbeitet.

Wenn die Salzlösung äusserst sorgfältig und langsam durchs Herz gespritzt wird, so gelingt auch hier der Stillstand, hat man sich dagegen in der Direction der Spritze nicht peinlichst in Acht genommen, so sieht man das Herz bald bedeutend anschwellen (vgl. Schiff's Warnung S. 21), und findet dann selbst mehrere Minuten hernach den Vagus unwirksam. Wir werden offenbar an jene, auch in unseren Versuchen zu Tage getretene lange Nachwirkung starken Druckes erinnert (vgl. oben S. 239).

Wenn aber Schiff anstatt Salzwasser Blut oder Serum anwendet, so findet er bei gleicher Methode gleichwohl noch einen gut wirksamen Vagus. Allein unter diesen Mitteln bleiben die Herzcontractionen viel kräftiger, die bei gleichem Spritzendruck eingespritzten Blutmassen werden rascher und vollständiger mit jeder Systole entfernt, zu Ende der Injection ist damit auch die Ueberfüllung des Herzens bald beseitigt, zur Zeit der Vagusprüfung also die Erregung der motorischen Heerde gewöhnlich schon wieder abgeklungen, während in den Salzherzen in Folge unvoll-

1) Foster, Journ. of anat. and physiol. X.

kommener Entleerung eine höhere Spannung und damit eine kontinuierlich stärkere Reizung zurückbleibt.

VI. Ueber die Angriffsweise des n. vagus im Herzen.

Die normale Führung des intacten Herzens hat man, gewiss mit Recht, den Ganglienzellen im Venensinus zugeschrieben.

Denn entfernen wir den Venensinus oder noch besser, eliminieren wir seinen Einfluss nach dem Vorgange von Steiner durch locale Vergiftung und halten dabei so viel wie möglich fremde Reize ab, so bleibt der „Herzstumpf“ in Ruhe.

Sollte also auf nervösem Wege das Herz stillgestellt werden, so müsste man meinen, es dürfte genügen, die Sinusganglien zur Ruhe zu bringen.

Aber der n. vagus endigt nicht schon im Venensinus; schon 1848 wies Ludwig¹⁾ zwei starke Zweige in der Vorhofscheidewand nach, und die Erfahrungen der beiden unmittelbar vorausgehenden Abschnitte deuten auch auf entsprechende physiologische Beziehungen des Herzvagus zum Herzstumpf hin.

In der That, wir können selbst ein durch ziemlich hohe Drücke (bis 30 cm Wasser) beschleunigtes Herz durch starke Vagusreizung zum Stillstand bringen, beginnt aber ein unter solche Drücke gestellter sinusloser Herzstumpf wieder zu schlagen.

Zu aller Vorsicht seien solche Versuche hintereinander an einunddemselben Herzen ausgeführt.

Hirn und Rückenmark eines Frosches seien zermalt, die nn. vagi beidseitig präparirt, das Herz bloßgelegt, eine Canüle in die v. cava inf. eingebunden und mit einem Salzwasser haltenden Druckgefäß in Communication gesetzt. Drücke von 10, 20 cm Wasser werden applicirt, die nn. vagi durch starke tetanisirende Ströme gereizt.

Es tritt Stillstand des Herzens ein.

Jetzt wird der Venensinus mit Froschgalle tüchtig bepinselt, der Druck abgestellt, das Herz verfällt nach kurzem in Ruhe. Nun erhöhen wir wieder den Druck. Jetzt sehen wir schon bei 2, bei 5, noch besser bei 10 und 20 cm Druck die Pulse kräftig wiederkehren.

Haben wir das Herz durch Tödtung des Venensinus zur Ruhe gebracht, hernach aber durch Drücke bestimmter Höhe wieder Pulse hervorrufen können, so haben diese ihre Quelle jedenfalls im Herzstumpf.

1) Ludwig, Müller's Archiv. 1848.

Wenn wir aber unmittelbar vorher den nämlichen Drücken zum Trotz durch kräftige Reizung des n. vagus das ganze Herz stillstellen konnten, so muss der n. vagus eben nicht bloss auf den Venensinus, vielmehr auch auf das übrige Herz seine hemmende Wirkung entfalten.

Seit der Entdeckung des berühmten Hemmungsversuches durch die Gebrüder Weber herrscht fast allgemein die schon von diesen Forschern geäußerte Ansicht, dass die Hemmung an gangliösen Elementen statthabe. Erst in jüngster Zeit erhoben sich wieder einige Stimmen, die mit Schiff und Köl liker die Vagusreizung vielmehr als direkte Muskelwirkung betrachten wollen.

Nachdem Foster & Dew-Smith¹⁾ die alten Versuche von Eckhard bestätigt, dass constante Ströme die „ganglienfreie“ Herzspitze zu rhythmischen Pulsationen veranlassen, fanden sie weiterhin eine Vagusreizung selbst starken constanten Strömen gegenüber gleichwohl noch gut wirksam, und schlossen daher auf die directe Muskelwirkung der Hemmungsnerven.

Ihrer hohen Wichtigkeit halber bedürfen diese Angaben dringend einer Controle; eine genaue quantitative Berücksichtigung der jeweils waltenden Stromstärken wäre dabei vor Allem geboten.

Auch eine Uebertragung unseres eben angeführten Druckversuches auf die Herzspitze müsste Entscheidung bringen, wenn es nur gelänge, jene den Spitzenschlägen stets vorangehende Stille zu vermeiden. Denn während der oft peinlich langen Pause könnten Erregbarkeitsänderungen in schwer controlirbarer Weise Platz greifen und damit jeden sicheren Schluss verbieten.

Vielleicht dürfte passende Auswahl der Füllungsflüssigkeit hier doch zum Ziele führen.

VII. Zur Rhythmik der Herzspitze.

Zahlreiche Versuche unserer Vorgänger haben den Einfluss verschiedener Flüssigkeiten auf die Pulsationen der Herzspitze untersucht; aber auf die doch stets mitwirkende Spannung der Wand wurde nicht weiter geachtet. Nachdem wir in solch mechanischem Momente eine wesentliche Rolle erkannt hatten, lag die Versuchung nahe genug, dieses einfache Princip auch auf andere Angaben zu übertragen.

1) Foster & Dew-Smith, Journ. of anat. and physiol. X. 1876.

Spielt vielleicht auch bei den Versuchen von Merunowicz und allen späteren gerade der Füllungsdruck, nicht die Füllungsflüssigkeit die wesentliche, wohl gar ausschliessliche Rolle?

Allein so oft immer beim Durchleiten von defibrinirtem Blute die Merunowicz'sche Erscheinung sich zeigte, blieben doch stets die Pulsationen der Spitze auch noch erhalten, wenn wir den Druck absperreten, wenn wir endlich auch die Canüle mit dem Präparate von der Röhrenleitung wegnahmen, um so gewiss möglichst vollständig zu entlasten.

Der Versuch von Merunowicz ist also ganz sicher kein blosses Druckphänomen. Unter der Wirkung des Blutes wird die Reizbarkeit der Herzspitze bedeutend erhöht, dieselbe damit befähigt, automatisch zu pulsiren.

Aus solchen Ergebnissen erwuchs nunmehr der Wunsch, die Wirkungen verschiedener Flüssigkeiten unter gleichen Drücken zu untersuchen.

Der mächtige Einfluss der Temperatur auf die Reizbarkeit jeglichen Protoplasmas ist allbekannt.

Der Einfluss verschiedener Flüssigkeiten bei gleicher, der Einfluss der gleichen Flüssigkeit bei verschiedener Temperatur waren zu vergleichen.

Die Rhythmik der Herzspitze als Function der Temperatur.

Versuch vom 17. Februar 1879. *Rana esculenta*. Die Herzspitze ist auf die Doppelcanüle gebunden, Salzwasser wird unter verschiedenen Drücken durchgeleitet, endlich beginnen unter einem Druck von 50 cm Salzwasser die Pulsationen.

Druck ca. 50 cm Salzwasser.	
Temperatur.	Pulszahl p. M.
19°	18
25°	34
19°	18
25°	34
19°	18

Versuch vom 18. Februar 1879. *Rana esculenta*.

Druck ca. 25 cm Salzwasser.	
Temperatur.	Pulszahl p. M.
18°	0
30°	19
18°	0
30°	19
18°	0

Erwärmung macht also auch die Herzspitze erregbarer. Unsere Versuche bestätigen so auch für die mechanische Reizung, was erst vor Kurzem noch v. Basch¹⁾ für die electriche ausgesprochen hat.

Die Rhythmik der Herzspitze als Function des durchfliessenden Mediums.

Wir haben defibrinirtes Säugerblut, Salzwasser, und Mischungen beider verglichen, in einem Falle auch Froschblut verwendet.

1) Wirkungen des Säugerblutes.

Versuch vom 23. Februar 1879. *Rana esculenta*.

Salzwasser und eine zu gleichen Theilen aus Salzwasser und defibrinirtem Pferdeblut bereitete Mischung werden verglichen. Obschon lange Zeit die blutige Kochsalzlösung unter verschiedenen Drücken durchgegangen, blieb das Herz immerfort ruhig, erst als unter einem Druck von 5 cm Salzwasser durchfliesst, beginnt es zu schlagen, beruhigt sich wieder, wenn Blut durchfliesst, um unter dem Salzstrom wieder zu pulsiren. Nicht anders war das Verhalten selbst bei 35 cm Druck. Auch hier finden sich Pulsationen bei der Salz-, volle Ruhe bei der Blutdiät.

Versuch vom 24. Februar 1879. *Rana esculenta*.

Schafblut und Kochsalzlösung.

Unter Druck von 10 cm und Blutdiät macht das Herz 10, unter gleichem Druck und Salzwasserdurchspülung macht es aber 60 Schläge per Minute.

Wird der Druck auf Null erniedrigt, so schlägt das Herz noch weiter, wenn es vorher mit Blut durchströmt war, hört aber auf zu schlagen, wenn Salzwasser an der Reihe war.

Versuch vom 28. Februar 1879. *Rana esculenta*.

Herz schlägt bei der Blutdurchspülung selbst unter dem hohen Druck von 40 cm nicht, aber sofort, wenn die Kochsalzlösung unter dem viel niedrigeren Druck von 10 cm zu fliessen beginnt.

Ganz gegen alle Erwartung zeigen diese Versuche das auffallende Ergebniss, dass Salzwasser an der Herzspitze viel grössere Zahl von Pulsationen bewirkt als wie Blut, oder blutige Salzlösung. Schon Merunowicz kannte dieses Verhältniss, „man könnte sagen, der höhere Procentgehalt der Ernährungsflüssigkeit im Blute steigert die Erregbarkeit des Muskels, der niedere dagegen beschleunigt die Entladung der Reize.“ (l. c. pag. 268.)

Blut wirkt jedenfalls kräftigend ein auf den Muskel, ja dessen

1) v. Basch, Wiener med. Sitzgsber. LXXIX 69. 1879.

Wirkung bleibt noch eine Zeit lang vorhanden, selbst wenn wir dasselbe durch Salzwasser ausspülen.

Denn während Salzwasser zu Beginn des Versuches nur unter gewissen Drücken Pulsationen auszulösen vermag, beim Druck Null aber vollkommen ruhig bleibt, zeigen sich öfters noch unter dem Drucke Null Pulsationen, wenn die Kochsalzlösung erst nach einer mehr weniger langen Blutdurchspülung eingesetzt hat.

Versuch vom 28. Februar 1879. *Rana esculenta*.

Die Herzspitze ist auf die Doppelcanüle gebunden, defibrinirtes Schafblut wird unter einem Drucke von 15 cm durchgeleitet. Endlich nach 30 Minuten beginnt die Pulsation, bald darauf wird die Canüle abgenommen, auch beim Druck Null schlägt das Herz, allerdings langsamer, weiter. Es wird jetzt unter einem Druck von 10 cm Salzwasser durchgeleitet, aber der Puls bleibt noch eine Zeitlang bestehen, obschon die Salzlösung vollkommen farblos abfließt.

Nun werden noch zweimal hintereinander neue Ligaturen tiefer nach der Spitze zu angelegt, ohne an dem Ergebniss etwas zu ändern. Ist längere Zeit Blut durchgeflossen, so schlägt dann die Herzspitze auch unter Salzdiät und ohne allen Druck.

Aber wenn nun das Blut wirklich kräftigend einwirkt auf die Ernährung des Muskels, warum soll es dann so ungleich viel ungünstiger wirken für die Entladung innerer Reize? Für alle bisherigen Versuche bleibt eben immer noch der Einwand möglich, wir hätten es nur mit gewissen schädigenden Einflüssen fremden Blutes zu thun. Das Blut der Säuger könnte wie auf das Blut¹⁾, so auch auf andere Gewebe des Frosches gewisse Schädlichkeiten entfalten; durch seine specifischen Eigenschaften könnte es ja deren Erregbarkeit schwächen, während seine allgemeinen Fähigkeiten die Ansammlung von Spannkraften gleichwohl noch ermöglichen.

Versuche mit Froschblut können hier erst Aufschluss geben über das normale Verhalten. Uns steht gegenwärtig allerdings nur ein einziges Experiment zur Verfügung, dessen Aussagen bestätigen aber schlagend genug unsere Vermuthung.

2) Wirkungen des Froschblutes.

Versuch vom 7. März 1879.

Fünfundzwanzig Fröschen wird das Blut entnommen. Durch Zuklemmen der Aorten werden die Herzen prall gefüllt, dann durch Schnitt das Blut gewonnen und geschlagen, endlich mit gleichen Theilen Salzwasser verdünnt. Einem grossen Frosche ist die Herzspitze in bekannter Weise vorbereitet.

1) Vgl. z. B. Landois, Med. Centralbl. 1873. 883; 1874. 419.

Sie ist gut abgebunden und schlägt nicht. Nun wird sie durch Salzlösung bei einem Druck von 50 cm zum Schlagen gebracht, schlägt dann weiter, wenn der Blutstrom nachfolgt, und endlich auch ohne jeden Druck, mag Blut oder Salz vorher durchgeflossen sein.

Die Tabelle möge das Nähere dieses lehrreichen Versuches zeigen.

Wahl der Flüssigkeit.	Druck derselben in cm Wasser.	Pulszahl p. M.
Froschblut	9	30
"	0	26
Salzwasser	9	20
"	0	12
Froschblut	9	34
"	0	24
Salzwasser	9	19
"	0	9
Froschblut	9	20
"	0	5
Salzwasser	9	8
"	0	2

Ein Blick auf diese Zusammenstellung zeigt hier ganz wesentliche Unterschiede in der Wirkung der verschiedenen Blutarten. Während fremdes Blut die Reizbarkeit des Froschherzens also herabsetzt, schien im Gegentheil Froschblut stets durchweg bessere Wirkung als blosse Salzlösung zu entfalten. Leider steht uns jetzt nur dieser einzige Versuch zur Verfügung. Erneute Untersuchungen haben jedenfalls an diesem Punkte einzusetzen¹⁾.

Endlich sei noch einiger Beobachtungen an Fischherzen gedacht. Legen wir einem Aal oder einer Schleie das Herz bloss, und schneiden wir die Herzspitze möglichst weit vom Vorhofrande ab, so pulsirt solche immer noch kräftig, macht bis 30 Pulse in der Minute und hört nach einer Weile diese Rhythmik auf, so lässt sich durch einen einmaligen, leisen mechanischen Reiz wieder eine neue Reihe von Pulsen hervorrufen. Speisung mit Blut ist dabei nicht nothwendig. Wir binden eine Fischherzspitze auf unsere doppeläufige Kantile und spülen das Blut durch Salzwasser weg. Senken wir den Druck auf Null, nachdem die Flüssigkeit farblos ausläuft, so pulsirt das Herz gleichwohl noch.

Sind hier Ganglien in der Herzspitze vorhanden? Wir haben darüber noch keine eigenen Erfahrungen, aber auch hier dürfte

1) Die vor Kurzem erst erschienenen Untersuchungen von Aubert (Dies Archiv XXIV, 368—381. 1881) haben in diesem Punkte ein abweichendes Resultat geliefert. Sie konnten jetzt leider nicht mehr berücksichtigt werden.

deren Annahme um so eher entbehrlich sein, als wir ja auch bei der Froschherzspitze ganz analoge, hier freilich erst durch unsere Versuche hervorgerufene Automatie wahrgenommen haben.

Unter den verschiedensten Einflüssen zeigt die Herzspitze rhythmische Pulsation. Mit Volkmann wird zwar fast ausschliesslich nur den Ganglien das Vermögen rhythmischer Entladung zugeschrieben, die Herzspitze ist jedoch nach übereinstimmendem Zeugnis der Histologen ganglienfrei¹⁾. Wie sind nun die Erscheinungen zu deuten?

Wir sehen die Rhythmik auftreten, wenn constante oder intermittirende Ströme die Herzspitze durchkreisen, wenn mechanische Spannungen sich entwickeln, wenn chemisch reizende Stoffe mit derselben in Contact kommen.

Auf den ersten Blick dürfte man wohl denken, die rhythmischen Zuckungen einfach als Erfolge rhythmischer Reizänderungen zu erklären, die Erscheinungen als blosse Reizbewegungen aufzufassen.

Muss doch mit jeder Zuckung, mit jedem Nachlass derselben die Intensität des durchfliessenden electrischen Stromes, die Stärke der mechanischen Spannung sich ändern, und könnte allein gerade diese Reizänderung wieder neue Erregung hervorrufen.

Aber solche Betrachtung wird ohnmächtig, wenn sie auch noch die näheren, hier waltenden Bedingungen erklären soll.

Wohl lässt sich eine Einrichtung denken, welche die ange deutete Vorstellung am Skelettmuskel verwirklicht.

Der Muskel sei in die secundäre Rolle eines Schlittenapparates eingeschaltet und bewirke mit der Zuckung eine Oeffnung, mit der Erschlaffung eine Schliessung des primären Kreises.

Wie immer wir dann die Reizstärke ändern, wohl wird die Kraft der einzelnen Zuckung wechseln, doch die Frequenz der Zuckungen wird sich beständig auf gleicher Höhe halten!

Anders der Herzmuskel! Denn hier sehen wir mit jeder Steigerung des Reizes bedeutende Zunahmen der Pulsfrequenz durchweg verknüpft.

Für constante wie tetanisirende Ströme haben Foster &

1) Vgl. Ranvier, *Leçons d'anatomie générale*, pag. 122. Paris 1880.

Dew-Smith¹⁾ solche Beziehung noch ganz speziell erwiesen, für die Reizung durch mechanische Spannung dasselbe ganz übereinstimmend unsere Versuche dargethan.

Mit dem Wechsel der Frequenz bleibt die Dauer der Systole wohl völlig constant, nur die Dauer der Diastole wird wesentlich verkürzt, wenn ein beschleunigtes Tempo beginnt²⁾.

Je stärker also der Reiz, um so rascher folgt die nächste Erregung. Damit treten Reizgrösse und Reizdauer in eigenthümliche, einander gegenseitig ergänzende Beziehung.

Jeder Reiz wird eine gewisse Zeit einwirken müssen, bis eine Erregung erfolgt. Bei starkem Reize wird die dazu nöthige Dauer kurz sein können, während ein schwacher Reiz durch entsprechend längere Einwirkung genügende Energie gewinnen muss.

Der Herzmuskel summirt sich seine Reize.

Eine reiche Fülle von Erscheinungen führt zu solch' einfachstem Schlusse; die automatischen Pulsationen der Herzspitze finden damit ihre ungezwungene Erklärung. Aber die Sicherheit dieser Vorstellungen wächst noch ganz ausserordentlich, wenn wir uns endlich noch der Beobachtungen von Bowditch, Kronecker und v. Basch erinnern, die in ganz elementarer Weise diese Eigenthümlichkeit des Herzmuskels direct demonstrieren.

Lassen wir einem Skeletmuskel eine Reihe einzelner Inductionsstösse verschiedener Stärke zuströmen, so erfolgen isochrone Zuckungen verschiedener Höhe.

Ganz anders benimmt sich das Herz.

Denn wenn Bowditch dem für sich bewegungslosen Ventrikel Inductionsstösse verschiedener Stärke zusandte, so war die Zuckung stets entweder maximal oder fand gar nicht statt, fehlte namentlich jede Beziehung zwischen Reizstärke und Höhe der Zuckung völlig. „Alles oder Nichts!“³⁾ lautet die Devise des Herzmuskels.

Doch die ungenügenden Reize gehen keineswegs spurlos an dem Herzen vorüber. Sie steigern vielmehr dessen Erregbarkeit, bis schliesslich auch ein sonst ebenfalls ungenügender Anstoss mit Einem Male eine maximale Zuckung entladet.

1) Foster & Dew-Smith, Journ. of anat. and physiol. X. 735 bis 771. 1876.

2) Vgl. Volkmann, Hämodynamik 1850. S. 361. Ludwig & Hoffa, Ztschrft f. rat. Med. IX. 102. 1850. Donders, Nederl. Arch. II. 183. 1850.

3) Ranvier, Leçons de l'anatomie générale. 1880.

Reizt v. Basch¹⁾ die Herzspitze mit einzelnen Inductionstößen verschiedener Stärke und verschiedener Häufigkeit, so sieht dieser Forscher mit Zunahme der Frequenz die eben ausreichende Reizschwelle sinken; vorher unwirksame Reize werden mit schnellerem Tempo wirksam. „In der Herzpause, in welcher electriche Reize eingeschaltet werden, müssen also Vorgänge stattfinden, welche in den nicht von Reizen erfüllten Herzpausen ausbleiben.“

Ob man nun diese Vorgänge mit v. Basch²⁾ als Summationsvorgänge, ob man sie mit Kronecker als Steigerung der Erregbarkeit bezeichnen will, dürfte ziemlich gleichgiltig sein.

Wenn wir aber wissen, dass Alles, was die Erregbarkeit steigert, auch reizt und Alles, was reizt, auch die Erfolge anderer Reizung befördert; also die Erregbarkeit steigert, so scheinen sich diese Begriffe eben im Wesentlichen zu decken.

Kronecker³⁾ will Erregbarkeit mit Gleichgewicht, Erregung mit Bewegung parallelisiren. Herrscht aber nicht überall — auch in der „Ruhe“ — ein stetiger Dissociationsprocess, eine fortwährende Zersetzung dieser labilsten Substanzen, und muss dann nicht jede „Verringerung der Stabilität des Gleichgewichts“ eben ohne Weiteres eine Beschleunigung der inneren Bewegung hervorrufen?

1) v. Basch, l. c., p. 53 u. f.

2) v. Basch, l. c., aber auch Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1880. 283.

3) Kronecker, Arch. f. (Anat. u.) Physiol. 1880. 286.