©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Über den Einfluß der Athmung auf den Kreislauf.

Erste Mittheilung.

Über Athembewegungen des Gefässsystems.

Von **Ewald Hering.**

(Mit 3 Tafeln.)

Im Laufe der zwei letzten Jahre sind in dem von mir geleiteten Laboratorium mannigfache Erfahrungen über den in der Aufschrift bezeichneten Gegenstand gesammelt worden, zum Theil bei Gelegenheit von Versuchen, welche zunächst zur Entscheidung ganz anderer Fragen angestellt wurden. Dabei haben nicht nur viele Angaben anderer Forscher, welche seither noch vereinzelt dastanden, Bestätigung gefunden, sondern es haben sich auch neue Thatsachen und neue Gesichtspunkte erschlossen. Der Gegenstand ist an sich ein höchst verwickelter, und das mir vorliegende Versuchsmaterial sehr umfangreich. Zu einer monographischen Darstellung ist der Gegenstand jedoch noch nicht hinreichend reif, weßhalb ich es vorziehe, in einzelnen kürzeren Mittheilungen dasjenige zu veröffentlichen, was mir von besonderem Interesse erschienen ist. Bei den Untersuchungen selbst bin ich von den Herren Béla de Machik, Sustschinsky, Horvath, Toldt und Kratschmer in der erfolgreichsten Weise unterstützt worden, und was insbesondere den Inhalt der vorliegenden ersten Mittheilung betrifft, so ist derselbe das Ergebniß von Untersuchungen, an welchen Herr Dr. Horvath aus Kiew hervorragenden Antheil genommen hat.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

§. 1.

Historisches.

Die Beziehungen zwischen Athmung und Kreislauf sind bereits nach zwei Seiten hin Gegenstand experimenteller Forschung gewesen. Einerseits nämlich hat man den Einfluß der Athembewegungen auf den Blutdruck und die Schlagfolge des Herzens untersucht, und dabei besonders die verschiedene Spannung der Lungenluft bei der Ein- und Ausathmung, so wie die hiedurch bedingten Veränderungen desjenigen Druckes berücksichtigt, unter welchem die im Brustkasten eingeschlossenen Theile stehen. Andererseits ist auf die Änderungen aufmerksam gemacht worden, welche sich bei tieferen Störungen des Blutgaswechsels und insbesondere bei der Erstickung im Blutdrucke und in der Herzthätigkeit zeigen, und zwar auch dann, wenn durch Lähmung der Versuchsthiere mit Curare die spontanen Athembewegungen ausgeschlossen sind.

Aus der Reihe hierhergehöriger Untersuchungen seien für jetzt nur die wenigen erwähnt, welche in nächster Beziehung zu dem Inhalte dieser ersten Mittheilung stehen, während die übrigen später berücksichtigt werden sollen.

Zunächst ist hier eine kurze Mittheilung Thiry's „über das Verhalten der Gefäßnerven bei Störungen der Respiration“ [1]) anzuführen. Derselbe beobachtete am bloßgelegten Herzen von Säugethieren bei Unterbrechung der künstlichen Respiration „eine dauernde, rasch oder nur allmählig eintretende starke Erweiterung des Herzens, sowohl wenn die Vagi durchschnitten, als wenn sie unversehrt waren“.

Thiry bezog diese Eiweiterung auf „ein dem Blutstrome sich entgegenstellendes Hinderniß“, welches er in der Contraction der kleinen Arterien zu finden glaubte. In der That sah er an curarisirten Kaninchen „alle kleineren Arterien, deren man ansichtig werden kann, bis zum Verschwinden ihres Lumens contrahirt“, am besten

---

[1]) Medic. Centralblatt 1864 Nr. 46. p. 722.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

dann, wenn er die Erstickung nicht blos durch Aussetzen der künstlichen Athmung, sondern durch Athmung eines Gemisches von $^1/_3$ Kohlensäure und $^2/_3$ Sauerstoff herbeiführte. „Der Erfolg war der nämliche und nicht minder mächtig, als bei Tetanisirung des Halsmarkes“, welche bekanntlich, wie Ludwig und Thiry zeigten, ebenfalls Contraction der kleinen Arterien bis zur Undurchgängigkeit herbeiführt.

Thiry versprach endlich die Mittheilung weiterer Beobachtungen zum Beweise dafür, „daß in dem erwähnten Versuche das mit Kohlensäure beladene Blut nicht durch directe Einwirkung im Vorbeiströmen die Gefäßmuskeln zur Contraction veranlaßte, sondern daß dieses indirect durch Erregung vielleicht sämmtlicher Gefäßnerven vom centralen Nervensystem aus *(Medulla oblongata)* geschah“.

Sein vorzeitiger Tod hat die Erfüllung dieses Versprechens vereitelt, aber offenbar handelte es sich um Wiederholung der Versuche an Thieren, deren Halsmark durchschnitten war.

Schon vor Thiry hatte Traube nicht nur die vom ersteren beschriebene Erweiterung des Herzens an Kaninchen beobachtet, denen er ein Gasgemenge von 31% Sauerstoff, 28% Kohlensäure und 41% Stickstoff wiederholt eingeblasen hatte [1]), sondern auch gesehen, daß bei curarisirten Thieren, denen nach Durchschneidung der Vagi Einblasungen eines kohlensäurehaltigen Gasgemenges gemacht wurden, der Blutdruck in die Höhe ging [2]). Er hatte jedoch die erstere Erscheinung unerklärt gelassen, die letztere dagegen daraus erklärt, daß die Kohlensäure erregend auf das muskulomotorische Nervensystem des Herzens wirke. Überhaupt hatte dieser Forscher sich, wie bekannt, sehr vielfach mit den Erscheinungen beschäftigt, welche bei Störungen der Athmung im Kreislauf eintreten, dabei aber seine Aufmerksamkeit ausschließlich dem Herzen zugewendet. Die Untersuchung Ludwig's und Thiry's über die Wirkung der Halsmarkreizung auf die Gefäße führte ihn zu einer anderen Deutung des zum Theil schon früher Gesehenen. In Folge dessen gab er im Jahre 1865 eine Mittheilung „über periodische

---

[1]) Medic. Centralzeitung v. 14. Mai 1862.

[2]) Medic. Centralzeitung v. 9. December 1863.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Thätigkeitsäußerungen des vasomotorischen und Hemmungs-Nervencentrums [1]).“

„Wenn, sagt Traube, bei einem durch Worara bewegungslos gemachten Thiere, dem die Vagi durchschnitten sind, die (bis dahin regelmäßig unterhaltene) künstliche Respiration suspendirt wird, so steigt der Druck im Aortensystem, oft über das Doppelte der ursprünglichen Höhe.“

„Dieses Ansteigen kann mehrere (2—3) Minuten dauern, und während desselben zeigt die Druckcurve, obgleich das Thier bewegungslos da liegt, und auch die passiven Bewegungen des Brustkastens aufgehört haben, regelmäßige, große, wellenförmige Schwankungen. Die Zahl dieser Wellen kann sich bis auf sieben in der Minute belaufen und ihre Höhe mehr als 40 Mm. betragen.“

„Der auf- und absteigende Theil einer Welle kann gleiche Länge und gleiche Neigung haben. Wenn dies nicht der Fall ist, dann ist der aufsteigende Theil stets kürzer und steiler, als der absteigende. Die Pulsfrequenz (i. e. die Zahl der Herzcontractionen in der Zeiteinheit) ist im auf- und absteigenden Theil der Welle gleich groß.“

„Hat die Suspension 2—3 Minuten gedauert, so beginnt der Druck zu sinken; doch können dann noch 1—2 Minuten verfließen, ehe der linke Ventrikel zu schlagen aufhört. In diesem Zeitraum (d. h. von dem Augenblick, wo der Druck zu sinken beginnt, bis zu dem Augenblick, wo der linke Ventrikel zu schlagen aufhört) verschwinden die beschriebenen wellenförmigen Schwankungen; man beobachtet höchstens noch eine oder zwei im Beginne dieses Zeitraums, welche überdies flacher sind, als die vorhergegangenen Wellen.“

„Wird zu der Zeit, wo der linke Ventrikel abzusterben droht, die künstliche Respiration wieder aufgenommen, so gehen Druck- und Pulsfrequenz von Neuem und mit großer Geschwindigkeit in die Höhe, auch stets weit über die vor der Suspension beobachteten Werthe hinaus. Dann kommt ein Zeitraum der allmähligen Ausgleichung, in welchem Druck- und Pulsfrequenz langsam ihrem ursprünglichen Stande sich nähern. In diesem Zeitraum beobachtet

---

[1]) Medic. Centralblatt 1865 Nr. 56. p. 881.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

man, außer den regelmäßigen Schwankungen der Druckcurve, welche von den Einblasungen und von den Herzcontractionen abhängig sind, eine dritte Art größerer Wellen, bisweilen nur zwei in der Minute, an denen die beiden anderen Wellenarten sich als Erhebungen zweiter und dritter Ordnung darstellen."

In der Erklärung dieser von ihm schon früher beobachteten Erscheinungen schließt sich Traube nunmehr an Thiry an. Er fand nämlich weiter: 1. „Daß, wenn bei narcotisirten Thieren, denen das Rückenmark zwischen dem ersten und zweiten Halswirbel zerquetscht und die Vagi durchschnitten sind, die künstliche Respiration suspendirt wird, der Druck nur unbedeutend oder gar nicht mehr in die Höhe geht, und schon nach kurzer Zeit zu sinken beginnt. 2. Daß dann auch die großen periodischen Schwankungen der Druckcurven wegfallen, welche man sonst während und nach der Suspension beobachtet" „Hieraus ergiebt sich", fährt Traube fort, „nicht nur direct die Richtigkeit der Erklärung, welche Thiry von dem Ansteigen des Druckes im Aortensystem bei Unterbrechung der künstlichen Respiration gab, sondern auch der Schluß, daß das in der *Medulla oblongata* befindliche Centrum des vasomotorischen Nervensystems unter dem erregenden Einfluß der Kohlensäure in eine periodische Thätigkeit gerathen kann, mit anderen Worten, daß die Kohlensäure durch ihre erregende Wirkung auf das vasomotorische Nervencentrum abwechselnd und in rhythmischer Weise Contraction und Erschlaffung der Körperarterien hervorzurufen vermag. Daß diese Wirkung der Kohlensäure nicht darauf beruht, daß sie abwechselnd in größerer und geringerer Menge dem vasomotorischen Nervencentrum zugeführt wird, liegt auf der Hand. Denn unzweifelhaft wächst ja der Gehalt des Blutes an Kohlensäure mit der Zeit der Erstickung, d. h. mit der Zeit, die seit dem Augenblick der Uenterbrchung der künstlichen Respiration verflossen ist. Einen directen Beweis aber für die Richtigkeit unserer Ansicht liefert die Thatsache, daß solche große Schwankungen der Druckcurve, wie sie nach langen Suspensionen der künstlichen Respiration zum Vorschein kommen, sich auch bei Kohlensäureeinblasungen, d. h. bei Einblasungen eines Gasgemenges einstellen, das 20 Perc. und mehr Kohlensäure enthält. Wenn solche Einblasungen bei worarisirten Thieren, denen die Vagi durchschnitten sind, gemacht werden, dann zeigt die Druckcurve ebenfalls große wellenförmige Schwankungen,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

an denen die respiratorischen und cardialen Elevationen als untergeordnete Erhebungen zweiter und dritter Ordnung sich darstellen. Die periodische Contraction und Erschlaffung der Körperarterien unter dem Einfluß der Kohlensäure hängt also von der abwechselnden Erregung und Ermüdung des vasomotorischen Nervencentrums ab".

Thiry und Traube stimmen also darin überein, daß die bei der Erstickung eintretende Steigerung des arteriellen Blutdruckes durch eine Erregung eines in der *Medulla oblongata* angenommenen vasomotorischen Nervencentrums und die dadurch bedingte Contraction der kleinen Arterien hervorgerufen werde. Traube erweitert, in Hinblick auf das von ihm beobachtete wellenförmige Ansteigen des Druckes, diese Hypothese noch dahin, daß er eine rhythmisch abwechselnde Erregung und Ermüdung des vasomotorischen Nervencentrums annimmt. Beide sehen übrigens in der Kohlensäure den wirkenden Reiz.

Gegen die Hypothese Thiry's sprach sich im Jahre 1866 Pokrowsky[1]) mit Entschiedenheit aus. Derselbe machte Erstickungsversuche an Kaninchen, welche er Wasserstoff oder Kohlenoxyd oder endlich ein Gemisch von Kohlensäure und atmosphärischer Luft activ oder passiv athmen ließ. Er beobachtete an Thieren, deren Vagi unversehrt waren, als erste Folge ein Ansteigen des Blutdruckes unter Zunahme der Pulsfrequenz, hierauf die aus den Versuchen von Traube und von Landois bekannte starke Vagusreizung, bei welcher die Herzschläge viel seltener wurden, und, wie Pokrowsky angibt, der Blutdruck absank. Erst jetzt, d. h. gleichzeitig mit einer starken Abnahme des arteriellen Blutdruckes, sah er die Arterien sich zusammenziehen, während dieselben vorher, nämlich so lange der Blutdruck erhöht war, ihr Kaliber nicht zu ändern schienen oder sich sogar ausdehnten. Demnach behauptet Pokrowsky, daß die Contraction der kleinen Arterien nicht die Ursache der anfänglichen Blutdrucksteigerung bei der Erstickung sein könne, daß vielmehr die kleinen Arterien erst dann sich verengern, wenn ein durch die starke Verzögerung der Herzschläge bedingtes Absinken des Blutdruckes ihren Collaps herbeiführe. Das anfängliche Steigen des

---

[1]) Reichert und Du Bois-Reymond, Archiv für Physiol. 1866. S. 59.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Blutdruckes erklärt Pokrowski aus der gesteigerten Pulsfrequenz, welche er gleichzeitig mit jenem beobachtete.

Eine im Jahre 1867 erschienene Arbeit von v. Bezold und Gescheidlen „über die Locomotion des Blutes durch die glatten Muskeln der Gefäße“ [1]) enthält Versuche, welche ebenfalls hierher gehören. Die genannten Forscher schnürten bei curarisirten Thieren das bloßgelegte Herz an der Basis zusammen, so daß das Gefäßsystem von den Herzkammern vollständig abgesperrt war, und maßen nach Ablauf von 1—2 Minuten den Blutdruck gleichzeitig im *Truncus anonymus* und in der *Vena cava inf.* oder in der *Vena jugul. ext.* Denselben Versuch wiederholten sie an Thieren, denen zuvor das Halsmark durchschnitten war. Es ergab sich, daß bei unversehrtem Rückenmarke 1—2 Minuten nach der Abschnürung des Herzens die Differenz zwischen arteriellem und venösem Blutdrucke „im Mittel“ aus allen Versuchen gleich Null, dagegen bei durchschnittenem Halsmarke der arterielle Blutdruck den venösen „im Mittel“ aus allen Versuchen um 43 Mm. (Lösung von kohlensaurem Natron) übertraf. Öfter überstieg bei unversehrtem Halsmark sogar die unter den genannten Umständen gemessene Spannung des Venenblutes die gleichzeitig gemessene Spannung des arteriellen. Die Verfasser schlossen hieraus, daß nach Abschnürung des Herzens das Blut aus dem arteriellen in das venöse System nicht blos durch die Elasticität der Gefäßwände, sondern durch eine vitale Contraction der Gefäßmuskeln hinübergetrieben werde, sofern nämlich das Rückenmark nicht durchschnitten sei, und demnach die durch die Aufhebung der Circulation bedingte Erregung des vasomotorischen Nervencentrums noch auf die Gefäßmuskeln wirken könne. Da die Aufhebung der Circulation in mancher Hinsicht einer Erstickung gleichkommt, so war es nothwendig, dieser Versuche hier kurz zu gedenken.

Die Versuche Traube's wurden 1868 von Kowalewsky und Adamük wieder aufgenommen [2]). Sie schnürten, wie v. Bezold und Gescheidlen, das Herz vom Gefäßsysteme ab und beobachteten, daß der in Folge dessen stark (z. B. von 137 auf 22 Mm. in der *Art. crur.*) abgesunkene Blutdruck sich später wieder (von 22 auf 42 Mm.) hob, oder daß wenigstens statt dieser Steigerung eine zeit-

---

[1]) Untersuchungen aus d. physiol. Laboratorium in Würzburg. Leipzig 1867.

[2]) Med. Centralblatt 1868 Nr. 37.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

weilige Verzögerung im Sinken des Arteriendruckes bei der Herstellung des hydraulischen Gleichgewichtes in dem vom Herzen isolirten Gefäßsysteme eintrat.“ Aus diesem von der Herzthätigkeit völlig unabhängigen Steigen des arteriellen Blutdruckes schlossen sie im Einklang mit Thiry und Traube, aber im Widerspruch mit Pokrowsky, daß während der Erstickung eine erhöhte Contraction der Gefäßmuskeln eintritt. Sie frugen sich ferner, „ob die Erregung, welche diese Contraction hervorruft, centralen Ursprungs sei“, wie dies Thiry und Traube annahmen. Zu diesem Zwecke durchschnitten sie curarisirten Thieren das Mark zwischen Atlas und zweitem Brustwirbel, sowie die Vagi und Sympathici am Halse, und erstickten die Thiere durch Aussetzen der künstlichen Athmung. Waren dabei Herz und Gefäßsystem noch in ungestörter Verbindung, so fanden sie, im Gegensatz zu Traube, ein wellenförmiges Ansteigen des arteriellen Blutdruckes während der Erstickung, aber dasselbe trat stets später ein, als bei unversehrtem Halsmarke, zum Theil erst 2—2, 5 Minuten nach dem Aussetzen der Ventilation. Die Wellen dieses Steigens waren niedriger und länger, und das Maximum der ganzen Curve kleiner. Wurde nach Durchschneidung des Halsmarkes und der oben genannten Nerven das Herz abgeschnürt, so trat ebenfalls nach dem starken Abfall ein schwaches Wiederansteigen des arteriellen Blutdruckes ein, welches jedoch keinen wellenförmigen Charakter hatte; hieraus schlossen die Verfasser, daß man bei der Erstickung nicht mit Traube die Ursache des vermehrten Tonus der Gefäße einzig und allein in der Erregung eines höher als der Atlas gelegnen vasomotorischen Centrums zu suchen hat“.

Nehmen wir Pokrowsky aus, so stimmen alle angeführten Forscher darin überein, daß bei der Erstickung, gleichviel, ob dieselbe durch Aussetzen der künstlichen Athmung, oder durch Einblasen sauerstoffloser oder kohlensäurereicher Luft, oder durch Aufhebung der Blutcirculation herbeigeführt wird, eine vitale Gefäßcontraction eintritt. Dieselbe ist nach Thiry, Traube, v. Bezold und Gescheidlen bedingt durch eine unter den genannten Umständen eintretende Erregung eines oberhalb des Rückenmarkes angenommenen vasomotorischen Centrums, wähend Kowalewsky und Adamük zwar die Möglichkeit einer solchen Erregung eines vasomotorischen Centrums nicht bestreiten, aber auf eine von diesem Cen-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

trum unabhängige vitale Gefäßcontraction das Hauptgewicht legen. Pokrowsky allein sucht die Ursache der bei der Erstickung eintretenden Blutdrucksteigerungen in einer erhöhten Thätigkeit des Herzens.

Was die bekannte Annahme Traube's und Thiry's betrifft, daß die Kohlensäure es sei, welche ebenso das vasomotorische, wie das Athmungscentrum in Erregung bringe, so werden wir in unserer Mittheilung von derselben ganz absehen und die Frage nach dem Stoffe im Blute, welcher den eigentlichen Reiz abgibt, ganz unerörtert lassen. Wir begnügen uns hier damit, zu wissen, daß die gesteigerte Venosität des Arterienblutes diejenigen Erscheinungen herbeiführt, welche die Dyspnoe und die Erstickung charakterisiren.

Der Ausdruck „Venosität des Blutes" aber bedarf einer näheren Erläuterung. Das Blut in den Arterien ist unter normalen Verhältnissen nicht absolut arteriell, denn wir können es, wie Rosenthal zeigte, durch künstliche Ventilation der Lunge noch arterieller machen. Ebensowenig ist für gewöhnlich das Blut im rechten Herzen absolut venös; wir können es durch Beeinträchtigung des Luftwechsels noch venöser machen. Als absolut arterielles Blut aber kann man das Blut in den Arterien eines Thieres bezeichnen, bei welchem durch ergiebige künstliche Ventilation die spontanen Athembewegungen völlig aufgehoben sind, kurzum, das Blut eines apnoischen Thieres.

Als absolut venöses Blut läßt sich dagegen das Blut eines soeben erstickten Thieres bezeichnen, welches ebensowenig athmet wie das apnoische Thier, aber aus einem ganz anderen Grunde, nämlich wegen Lähmung des nervösen Centralorganes für die Athembewegung (Rosenthal). Das Venenblut des normal athmenden Thieres ist also nur relativ venös, sein Arterienblut nur relativ arteriell. Bei jeder Beeinträchtigung des Gaswechsels in der Lunge entfernt sich nun das Arterienblut immer mehr von der Beschaffenheit des absolut arteriellen Blutes des apnoischen Thieres, das venöse nähert sich immer mehr dem absolut venösen Blute des eben erstickten Thieres.

Uns interessirt hier insbesondere die jeweilige Beschaffenheit des Arterienblutes, denn von ihr hängt das Auftreten oder Verschwinden der Erscheinungen ab, welche wir untersuchen wollen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Wir möchten nun vorschlagen, vier Hauptarten von Arterienblut zu unterscheiden und dieselben der Kürze wegen mit besonderen Namen zu belegen:

1. Das apnoische Arterienblut, welches so absolut arteriell ist, daß das Athembedürfniß und damit die spontane Athembewegung aufhört.

2. Das eupnoische Arterienblut, wie es sich in den Arterien eines in ganz normaler Weise athmenden Thieres findet.

3. Das dyspnoische Arterienblut, welches sich dem Venenblute des normal athmenden Thieres mehr oder weniger nähert, und mit einem erhöhten Athembedürfniß auch erhöhte Frequenz oder Tiefe der spontanen Athembewegung veranlaßt.

4. Das Erstickungsblut, wie es sich in den Gefäßen eines soeben erstickten Thieres findet.

Wenn man bei einem curarisirten Thiere die künstliche Athmung unterhält, so kann man in vielen Fällen das Arterienblut apnoisch machen. Mindert man dann die Ventilation mehr und mehr, so wird das Arterienblut successiv eupnoisch, dyspnoisch und schließlich einige Zeit nach vollständig aufgehobener Ventilation zum Erstickungsblute.

§. 2.

Beschreibung der von Traube entdeckten wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes.

Es handelt sich, wie man sieht, in den oben auszugsweise mitgetheilten Arbeiten um eine ganze Reihe an sich verschiedener, aber doch in mancher Beziehung unter einander zusammenhängender Thatsachen. Nur eine derselben soll den besonderen Gegenstand dieser ersten Mittheilung bilden, nämlich das Auftreten regelmäßiger, wellenförmiger Schwankungen des Blutdruckes curarisirter Thiere, welche keine spontanen Athembewegungen mehr ausführen, und deren Vagi und Sympathici am Halse durchschnitten sind.

Traube hat solche „Wellen“ der Blutdruckcurve bereits gesehen, jedoch nur bei der Erstickung, und für diesen besonderen Fall trefflich beschrieben. Wir halten es nicht für überflüssig, einige

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Abbildungen des Phänomens zu geben (Curve I, II, III, V und VI) und die Darstellung Traube's in einigen Punkten zu ergänzen.

Sowohl Hunde als auch Katzen und Kaninchen zeigen nach der Curarisirung und Durchschneidung beider Vagi das wellenförmige Ansteigen des Druckes nach dem Aussetzen der künstlichen Athmung, aber weniger gut, wenn der ganze Versuch noch nicht lange gedauert, das Thier überhaupt noch nicht stärker erschöpft ist, als wenn beides der Fall ist. Ersteren Falls nämlich steigt der Druck nach dem Aufhören der Einblasungen oft so rasch an, daß die Deutlichkeit der Wellen verwischt wird, oder letztere gar nicht nachzuweisen sind. Je erschöpfter die Thiere sind, desto langsamer entwickelt sich die Drucksteigerung, desto deutlicher sind bis zu einem gewissen Grade der Erschöpfung die wellenförmigen Schwankungen. Ist das Thier allzusehr erschöpft, so werden die Wellen des Blutdruckes wieder undeutlicher. Bei Kaninchen sowohl, als auch, wenngleich seltener, bei Katzen, am seltensten bei Hunden kommt es vor, daß eine regelmäßige rhythmische Wiederkehr der Wellen gar nicht nachzuweisen ist.

Das Auftreten der Wellen ist keineswegs nur an das mehr oder weniger bald vorübergehende Stadium der Drucksteigerung nach dem Aussetzen der Ventilation geknüpft, sondern es zeigen sich regelmäßige rhythmische Schwankungen des Blutdruckes unter besonderen Umständen auch während der künstlichen Athmung, und zwar auf die Dauer, ohne daß dabei der Blutdruck, abgesehen von diesen wellenförmigen Schwankungen, zu größerer Höhe ansteigt. Hiefür geben die Curven IV und VII Beispiele.

Bedingung für den Eintritt der beschriebenen rhythmischen Hebungen und Senkungen des Blutdruckes ist ein gewisser Grad von Venosität des arteriellen Blutes. Um also die Wellen nicht blos vorübergehend, sondern auf die Dauer hervortreten zu lassen, muß man die Ventilation der Lunge langsam einschränken und dann, sobald die Wellen eingetreten sind, auf einem gewissen Grade der Einschränkung dauernd erhalten, was bei einiger Vertrautheit mit der Sache gelingt. Es versteht sich, daß dasselbe zu erreichen sein würde, wenn man zwar den Rhythmus und Umfang der künstlichen Athmung nicht änderte,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

dafür aber ein, den Gaswechsel in der Lunge nicht genügend unterhaltendes Gasgemisch zur Ventilation benützte. Nur wäre diese Methode viel umständlicher.

Bekanntlich bewirkt das rhythmische Einblasen von Luft in die Lunge ebenfalls rhythmische Schwankungen des arteriellen Blutdruckes. Wenn es nun darauf ankommt, die oben erwähnten sozusagen natürlichen rhythmischen Schwankungen des Blutdruckes trotz der gleichzeitigen künstlichen Athmung deutlich zu erkennen, muß man dafür Sorge tragen, daß die durch die Ventilation erzeugten künstlichen Schwankungen die ersteren nicht zu sehr stören. Man erreicht dies am besten durch eine äußerst frequente Ventilation, bei welcher aber jede Einblasung einen sehr geringen Umfang hat, so daß trotz der Häufigkeit der Einblasungen doch das arterielle Blut eine gewisse Venosität behält und nicht apnoisch werden kann.

Auf den großen Wellen der natürlichen Blutdruckschwankungen zeigen sich dann die künstlich hervorgerufenen kleinen und häufigen Schwankungen als secundäre Wellen aufgesetzt, und auf diesen wieder, als tertiäre Wellen, die durch den Herzschlag bedingten Schwankungen.

Mit wachsender Dauer des Versuchs wird es immer leichter, das Arterienblut des Thieres, trotz der fortgesetzten Ventilation, auf dem zum Auftreten der Wellen nöthigen Grad der Venosität zu erhalten. Häufig bekommt man nach längerem Experimentiren an ein und demselben Thiere sehr schöne wellenförmige Curven, ohne sonderliche Mühe auf die Regelung der Ventilation zu verwenden, während man zu Anfang des Versuchs die Wellen nicht auf die Dauer erhalten konnte. Das Thier reagirt anfangs noch zu stark auf jede Änderung der künstlichen Athmung: jedes Zuviel der Ventilation bringt die bereits vorhandenen Wellen wieder zum Verschwinden; jedes Zuwenig läßt den Blutdruck dauernd ansteigen, und nur bei einem ganz bestimmten Grade der Ventilation zeigen sich die Wellen auf die Dauer, ohne daß der durchschnittliche Blutdruck steigt oder fällt. Die mit der Dauer des Versuchs wachsende Langsamkeit der Reaction des Thieres gegen die Änderung der künstlichen Athmung bedingt es auch, daß die schon längere Zeit benützten Thiere nach dem völligen Aussetzen der Ventilation nur ein sehr allmähliges Steigen des Blutdruckes zeigen, wobei sich dann meist

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

eine ganze Reihe der erwähnten Wellen auf der Blutdruckcurve entwickeln kann (Curve I und III).

An den Curven nun, welche regelmäßige Wellen zeigen, ohne daß der Blutdruck im Großen und Ganzen sich ändert oder mindestens nicht stark ansteigt, bemerkt man, daß der aufsteigende Theil einer Welle in der Regel kürzer ist, als der absteigende (Curve VII). Viel seltener sind der aufsteigende und absteigende Schenkel einer Welle gleich lang (Curve IV), äußerst selten ist der letzte länger als der erste.

Die Zeitlänge der Wellen ist ziemlich verschieden; sie schwankte bei Hunden zwischen 5″ und 15″, die mittlere Dauer näherte sich viel mehr der ersten als der zweiten Zahl; bei Katzen zwischen 3″ und 7″. Auch bei einem und demselben Thiere ist die Zeitlänge der Wellen durchaus nicht constant und ändert sich gewöhnlich, wenn die Venosität des Arterienblutes steigt oder fällt. Bei der Erstickung sind die letzten Wellen immer viel länger als die vorhergehenden. Den wesentlichsten Einfluß auf die Länge der Wellen zeigt die Größe der Thiere, insofern die erstere mit der letzteren zunimmt.

Die Höhe der Wellen zeigt noch viel größere Verschiedenheiten. An den höchsten betrug die Druckdifferenz zwischen dem Gipfel und dem tiefsten Punkte der Welle bei Hunden im Maximum 50 Mm. Abgesehen von andern noch unbekannten Bedingungen, welche die Höhe der Wellen bestimmen, hängt dieselbe erstens in der ausgesprochensten Weise von dem jeweiligen Zustande des Blutes ab. Bei apnoischem Arterienblute fehlen die Wellen, wie gesagt, ganz; je mehr sich aber das Blut vom apnoischen Zustande entfernt und dem stark dyspnoischen nähert, desto deutlicher, d. h. also höher, werden die Wellen. Überschreitet die Dyspnoe einen gewissen Grad, so werden die Wellen wieder seichter und zugleich länger. Zweitens hat die Größe des Thieres einen deutlichen Einfluß auf die Höhe der Wellen.

Was den durchschnittlichen Blutdruck betrifft, als dessen Schwankungen sich die beschriebenen Wellen darstellen, so wächst bei einem und demselben Thiere im Allgemeinen der Blutdruck mit der größern Deutlichkeit oder Höhe der Wellen, jedoch nur bis zu einem gewissen Grade, und immer vorausgesetzt, daß das Steigen des Blutdruckes durch wachsende Dyspnoe des Thieres und nicht

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

durch andere Umstände, z. B. die Reizung sensibler Nerven bedingt ist. Ist in Folge der Dyspnoe der Blutdruck über ein gewisses Maß hinausgestiegen, so werden die Wellen, wie schon erwähnt, wieder seichter, während der Blutdruck noch etwas steigen kann.

Die Pulsfrequenz ist, wie Traube richtig angibt, im aufsteigenden Schenkel der Wellen meist ebenso groß, als im absteigenden, in seltenen Fällen im aufsteigenden Schenkel etwas kleiner (Curve I).

§. 3.

Die beschriebenen wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes sind durch die rhythmische Thätigkeit des respiratorischen Nervencentrums bedingt.

Wir haben uns bisher begnügt, einen gewissen Zustand des Arterienblutes als eine Bedingung für das Auftreten der wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes anzugeben, ohne näher nach der Ursache dieser eigenthümlichen Erscheinung zu fragen. Dies ist nunmehr unsere Aufgabe.

Wenn man bedenkt, daß der Rhythmus, welchen die erwähnten Wellen einhalten, immer dem Rhythmus der Athembewegungen eines Thieres, dem beide Vagi durchschnitten sind, ungefähr entspricht, so drängt sich der Gedanke auf, daß die Wellen entstehen durch eine periodische, der Innervation der quergestreiften Athmungsmuskeln associirte Innervation der Herz- oder Gefäßnerven, welche nicht durch das Curare gelähmt sind.

Unsere weiteren Versuche lassen uns an der Richtigkeit dieser Hypothese nicht zweifeln, und wir stützen uns dabei, abgesehen von mehreren Wahrscheinlichkeitsgründen, welche in den späteren Mittheilungen erwähnt werden sollen, hauptsächlich auf folgende, wie uns scheint hinreichend beweisende Thatsachen.

Es kommt vor, daß Thiere, welche man mit nicht zu großen Dosen von Curare vergiftet hat, anscheinend vollständig gelähmt sind, so lange die künstliche Athmung unterhalten wird, weil sie nämlich auf die gewöhnlich zur Controle der Lähmung benützten Reize nicht mehr durch Bewegungen reagiren. Setzt man aber die künstliche Athmung aus, so zeigen sich, sobald das Blut hinreichend dyspnoisch gewor-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

den ist, doch noch rhythmische Zuckungen einzelner Athmungsmuskeln, welche aber nicht mehr im Stande sind, den Thoraxraum zu erweitern oder zu verengern, oder dies höchstens in einer gar nicht in Betracht kommenden Weise thun. Ist zu derselben Zeit die Luftröhre mit einem Manometer in luftdichter Verbindung, so kann man controliren, ob diese rhythmischen Zuckungen der Athmungsmuskeln die Weite des Thoraxraumes ändern oder nicht.

Bemerkt man nun an einem curarisirten Thiere beim Aussetzen der künstlichen Athmung derartige rudimentäre Athembewegungen, und reagirt zu gleicher Zeit das mit der Trachea verbundene Manometer nicht mehr auf diese Bewegungen, so läßt sich der Beweis für die oben gemachte Annahme zu führen, wenn man den Rhythmus der Wellen des Blutdruckes mit dem Rhythmus jener rudimentären Athembewegungen vergleicht, denn beide Rhythmen erweisen sich als identisch.

Es ist klar, daß hierbei die rhythmischen Schwankungen weder durch abwechselnde Verengung und Erweiterung des Thoraxraumes, noch durch den Druck der sich rhythmisch contrahirenden Athmungsmuskeln auf irgend welche Gefäße bedingt sein können, denn einerseits zeigt das Manometer keine Druckschwankungen der Lungenluft an, anderseits sind die Contractionen der Athmungsmuskeln viel zu schwach und im Vergleich zur Länge der Blutdruckwellen viel zu kurz, als daß die letzteren von diesen Contractionen abgeleitet werden könnten.

Leider ist man bei den eben beschriebenen Versuchen sehr auf den Zufall angewiesen. Denn nur selten gelingt es, gerade den passenden Grad der Curarevergiftung zu treffen, ebenso selten kehren die rudimentären Athembewegungen oft genug wieder, um einen deutlichen Rhythmus erkennen zu lassen; vielmehr zeigen sich zwar öfter Zuckungen der Athmungsmuskeln, aber dieselben treten entweder nur zwei- oder dreimal auf, oder sie betreffen nicht jedesmal wieder dieselben Muskeln. Gleichwohl gelingt es unter einer grösseren Zahl von Fällen doch einen beweiskräftigen zu finden. Uns selbst hat hierbei der Zufall besonders bei einem Versuche begünstigt, welcher näher beschrieben werden soll.

Es zeigt sich häufig, daß aufgebundene Hunde, sobald sie angestrengter athmen, vorzüglich auch nach Durchschneidung beider Vagi, jede Athembewegung mit mehr oder weniger deutlichen Zuckun-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

gen der Beine begleiten. Insbesondere bildet ein solches Zucken öfters den regelmäßigen Begleiter der beginnenden Inspiration. Bei sehr angestrengtem Athmen zeigt sich dasselbe jedoch auch im Momente der, nach Vagusdurchschneidung bekanntlich oft mit einem heftigen Stoße erfolgenden Exspiration. An einem großen curarisirten Hunde beobachteten wir nun Folgendes: Wenn wir die künstliche Athmung unterbrochen hatten, und in Folge dessen der Blutdruck bereits angestiegen war, sich auch schon die ersten regelmäßigen Wellen gezeigt hatten, so zuckte das Thier in der regelmäßigsten Weise je einmal mit dem rechten Schenkel, so oft das Kymographion eben ein Wellenthal vorzeichnete. Aus der Beobachtung der entstehenden Curve konnte mit vollständiger Sicherheit der Eintritt jeder einzelnen Zuckung vorhergesagt werden. Das mit der Trachea luftdicht verbundene Manometer zeigte dabei keinerlei Druckschwankungen, auch waren am Thorax und Bauche nur auf der größten Höhe der Dyspnoe schwache Zuckungen zu bemerken.

Dasselbe Thier hatte vor der Curarisirung, nachdem beide Vagi bereits durchschnitten waren, bei jeder Athmung sehr heftig mit beiden Schenkeln gezuckt; leider war aber nicht festgestellt worden, ob bei der Ein- oder Ausathmung. Die Athembewegungen waren dabei sehr selten und sehr angestrengt. Nach der Curarisirung zeigten sich anfangs noch schwache rhythmische Athembewegungen, begleitet von den Zuckungen beider und zuletzt nur noch des rechten Schenkels, bis schließlich dieser letztere, wie gesagt, einzig und allein noch die rhythmische Thätigkeit des Athmungscentrums verrieth. Warum seine Muskeln am längsten thätig blieben, wissen wir nicht, wollen aber erwähnen, daß die *Vena cruralis* desselben Schenkels unterbunden war.

Sechsmal wurde bei diesem Thiere die künstliche Athmung ausgesetzt, und jedesmal zeigten die Wellen des Blutdrucks in der unzweifelhaftesten Weise denselben Rhythmus, wie die Zuckungen des Schenkels. Leider fehlte gerade an jenem Tage an unserem Kymographion die Signalvorrichtung, so daß ein Assistent das jedesmalige Zucken des Schenkels aus freier Hand an der Blutdruckcurve markiren mußte, was natürlich nur unvollkommen möglich war. Die Curven (vgl. Curve III) lehrten gleichwohl, daß die auf diese Weise gemachten Marken ausnahmslos in das Wellenthal fielen, wenn sie auch innerhalb dieses Thals ihren Ort änderten. In wieweit letzteres durch

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ungenauigkeit der Markirung bedingt war, vermögen wir nicht zu entscheiden.

Wir halten es nach diesen Erfahrungen für bewiesen, daß die periodischen Schwankungen des Blutdruckes durch die periodische Thätigkeit des Athmungscentrums bedingt sind, denn Niemand wird eine prästabilirte Harmonie zwischen dem Rhythmus der Athembewegungen und dem Rhythmus der genannten Druckschwankungen annehmen wollen.

Durch den Nachweis, daß die Ursache der periodischen Schwankungen des Blutdruckes im Athmungscentrum gelegen ist, wird zuvörderst die Hypothese Traube's ausgeschlossen, welcher eine rhythmische Erregung und Ermüdung des vasomotorischen Centrums unter dem unmittelbaren Einfluße der Kohlensäure annahm. Traube meinte offenbar, daß das dyspnoische Blut, so gut es das respiratorische Nervencentrum in erhöhte periodische Thätigkeit bringe, in analoger Weise auch auf das vasomotorische Centrum direct wirken könne. Daß er nicht auf die Vermuthung kam, die Ursache der periodischen Druckschwankungen könne im Athmungscentrum zu suchen sein, erklärt sich aus dem ganzen Gange seiner Untersuchungen, worauf in einer späteren Mittheilung zurückzukommen sein wird.

Aber auch diejenige Hypothese ist nunmehr ausgeschlossen, welcher Kowalewsky und Adamük sich zuneigen, daß nämlich die eigentliche Ursache der beschriebenen Wellen in rhythmischen, vom centralen Nervensysteme ganz unabhängigen Contractionen der Gefäße zu suchen sei. Diese Forscher fanden, wie schon angeführt wurde, daß bei curarisirten Thieren nach Durchschneidung der Vagi und Sympathici am Halse und des Rückenmarks zwischen Atlas und zweitem Brustwirbel der Blutdruck nach dem Aussetzen der künstlichen Athmung ebenfalls nach einiger Zeit wellenförmig anstieg. Aber das Steigen erfolgte immer später, als bei unverletztem Rückenmarke, zuweilen erst 2—2·5 Minute nach dem Aussetzen der Einblasungen, und die Wellen waren niedriger und länger. Wir können diese Angaben im Allgemeinen bestätigen, und werden in einer späteren Mittheilung die Ursachen dieser Blutdrucksteigerung nach Durchschneidung des Rückenmarkes näher erörtern. Schon auf den ersten Blick machen die hiebei zuweilen auftretenden „wellenförmigen“ Schwankungen des Blutdruckes einen ganz anderen Eindruck als die

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

oben beschriebenen, weil sie außerordentlich viel länger und sehr seicht sind. Dieser Länge wegen und weil sie, wie gesagt, auch später auftreten, ist in der relativ kurzen Zeit bis zum Herztode ihre Zahl stets eine sehr beschränkte; überdies sind sie unter sich in der Länge verschieden, so daß von einer regelmäßigen rhythmischen Wiederkehr in der Art, wie sie sich bei den oben beschriebenen Wellen zeigt, eigentlich nicht die Rede sein kann. Wenn wir also auch nicht bereits den Nachweis geliefert hätten, daß jene Wellen bei unversehrtem Rückenmarke durch die rhythmische Thätigkeit des Athmungscentrums bedingt sind, so würden schon die angeführten auffälligen Verschiedenheiten dazu auffordern, diese regelmäßig rhythmischen Blutdruckschwankungen von den ganz andersartigen Druckschwankungen bei der Erstickung nach Durchschneidung des Halsmarkes durchaus zu sondern.

Endlich ist durch unsern Nachweis einer centralen Ursache der Wellen auch die Annahme ausgeschlossen, daß denselben eine, vom centralen Nervensystem unabhängige Periodicität der Herzthätigkeit zu Grunde liege, wie dies Traube früher angenommen hatte.

§. 4.

Die beschriebenen wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes werden nicht vom Herzen erzeugt.

Eine Abhängigkeit des Blutdruckes vom respiratorischen Nervencentrum ist nach Lähmung des Thieres mit Curare und Durchschneidung beider Vagi noch in mehrfacher Weise denkbar. Erstens nämlich könnte das Herz durch die von v. Bezold und den Brüdern Cyon angenommenen Bahnen periodisch von jenem Centrum aus innervirt werden, und demnach seine Thätigkeit periodische Änderungen erleiden; oder es könnte das vasomotorische Nervensystem im Ganzen oder in bestimmten Theilen eine rhythmische Innervation erfahren; oder endlich, beides zugleich könnte der Fall sein. Von der Annahme, daß die rhythmische Innervation seitens des Athemcentrums gar nicht den Kreislaufapparat direct betreffe, sondern die Musculatur des Darmes zu rhythmischen Contractionen anrege, sehen wir ganz ab, weil sie nach unsern Beobachtungen keinerlei Wahrscheinlichkeit für sich hat.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Gegen die Annahme, daß periodische Änderungen der Herzthätigkeit die Ursache der wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes seien, spricht zunächst die Thatsache, daß die Herzschläge im aufsteigenden Theile einer Welle nicht frequenter sind, als im absteigenden, ja sogar bisweilen im letzteren häufiger als im ersteren (Curve I).

Das Herz kann aber seine Thätigkeit nicht blos in Betreff der Frequenz, sondern auch in Betreff der Ausgiebigkeit seiner Einzelschläge ändern, so daß trotz gleichbleibender, oder sogar geminderter Pulsfrequenz, doch eine vom Herzen bedingte Erhöhung des arteriellen Blutdruckes denkbar ist. Ob eine derartige periodische Steigerung der Herzthätigkeit die Ursache der Wellen ist, läßt sich aus der bloßen Betrachtung der Curven nicht entnehmen; denn stärkere systolische Hebungen der Pulscurven sind durchaus nicht ohne Weiteres ein Beweis für eine erhöhte Kraft oder Dauer der systolischen Contraction des Herzens.

Über Herznerven, deren Erregung zwar nicht die Zahl, doch aber die Kraft der Herzschläge ändere, ist, abgesehen von den vasomotorischen Nerven des Herzens, nichts Sicheres bekannt. Aber es könnte Jemand solche Nerven annehmen, und aus ihrer rhythmischen Erregung die rhythmischen Hebungen und Senkungen des Blutdruckes erklären wollen.

Dieser Annahme gegenüber hätten wir nach Ludwig's und Thiry's Vorgange die Herznerven galvanokaustisch zerstören können, um die Herzthätigkeit vom centralen Nervensysteme vollkommen unabhängig zu machen. Wären hiernach, die vollständige Durchbrennung der Herznerven vorausgesetzt, die wellenförmigen Druckschwankungen nicht verschwunden, so wäre dies ein Beweis für die vom Herzen unabhängige Entstehung derselben gewesen. Diesen Versuch haben wir jedoch nicht angestellt, vielmehr untersucht, ob die Wellen auch noch in einem Gefäßsysteme entstehen, dessen Blut dem Einflusse der Herzthätigkeit gänzlich entzogen ist. Da dies, wie sogleich gezeigt werden soll, wirklich der Fall ist, und da ferner, wie schon gesagt wurde, auch die Frequenz der Herzschläge nicht auf eine rhythmische Innervation desselben seitens des centralen Nervensystems hinweist, so glauben wir uns hinreichend berechtigt, die Gefäßmusculatur und nicht das Herz als Erzeuger der wellenförmigen Druckschwankungen anzunehmen.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Damit ist nicht gesagt, daß nicht das Herz in einer mehr mittelbaren Weise den Wellen entsprechende periodische Änderungen in seiner Thätigkeit erfahren und dadurch die Form der Wellen einigermaßen beeinflussen könne. Wir haben schon oben erwähnt, daß zuweilen die Herzschläge im aufsteigenden Schenkel jeder Welle seltener sind, als im absteigenden. Bezold kam bei seinen Untersuchungen über den Einfluß des Blutdrucks auf die Herzthätigkeit zu dem Ergebnisse, daß unter bestimmten Umständen die Steigerung des Blutdruckes eine Minderung der Pulsfrequenz herbeiführen könne, wenn auch das Gegentheil die Regel sei. Demnach könnte man die in einigen Fällen beobachtete Abnahme der Pulsfrequenz im aufsteigenden Theile der Wellen als ein weiteres Beispiel für den von Bezold ausgesprochenen Satz anführen; ob mit Recht oder Unrecht, lassen wir für jetzt dahingestellt sein.

Noch eine zweite Möglichkeit ist zu bedenken. Wenn das vasomotorische System periodisch vom Athmungscentrum her erregt wird, so könnte sich diese Erregung auch auf die vasomotorischen Nerven des Herzens erstrecken, und die periodische Änderung der Circulation im Herzfleisch könnte auch periodische Änderungen der Intensität oder Frequenz der Schläge zu Folge haben.

Diese Möglichkeiten sollen hier nicht untersucht werden. Nur sollte hervorgehoben werden, daß wir eine mittelbare und untergeordnete Betheiligung des Herzens an der Erzeugung der periodischen Schwankungen des Blutdruckes nicht ausschließen wollten, wenn auch die wesentliche Ursache derselben in periodischen Gefäßcontractionen zu suchen ist.

Traube glaubte den Beweis dafür, daß das wellenförmige Ansteigen des Druckes bei der Erstickung durch centrale Erregung der vasomotorischen Nerven bedingt sei, dadurch führen zu können, daß er das Halsmark durchschnitt, in welchem die vasomotorischen Bahnen verlaufen. Er sah nach Ausführung dieser Operation keine, oder nur unbedeutende Steigerung des Blutdruckes, sobald er die künstliche Athmung unterbrach, und schloß aus diesem, im Wesentlichen negativen Ergebnisse, daß wirklich das vasomotorische System das wellenförmige Ansteigen des Blutdruckes erzeuge. Wollten wir in analoger Weise aus dem Ausbleiben der Wellen nach Durchschneidung des Halsmarkes den Schluß ziehen, daß diese vom Gefäßsystem und nicht vom Herzen erzeugt werden, so wäre dieser

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Schluß insoferne nicht einwurfsfrei, als man bei Durchschneidung des Halsmarkes außer den vasomotorischen auch jene Nervenbahnen zerstört, welche durch das Rückenmark zum Herzen führen, gleichviel, ob es sich hiebei um Gefäßnerven, oder um eigentliche Herznerven handelt. Das Ausbleiben der Wellen nach Durchschneidung des Halsmarkes kann also nur beweisen, daß dieselben von einem oberhalb des Rückenmarkes gelegenen Centrum aus angeregt werden, nicht aber, in wieweit dabei Herznerven oder vasomotorische Nerven betheiligt sind.

§. 5.

Die beschriebenen wellenförmigen Schwankungen des Blutdruckes werden vom Gefässsysteme erzeugt.

Um den directen Beweis zu führen, daß die wellenförmigen Blutdruckschwankungen ganz unabhängig vom Herzen im Gefäßsystem entstehen können, ist es nöthig, das letztere vom ersteren vollständig zu isoliren. v. Bezold., sowie Kowalewsky und Adamük, haben diese Isolirung durch Abbindung des Herzens hergestellt. Hiernach sinkt selbstverständlich der Druck in den Arterien sehr rasch und bedeutend ab, steigt aber nach einiger Zeit wieder ein wenig, um schließlich wieder zu fallen. Das unbedeutende Steigen läßt, wie auch Kowalewsky und Adamük angaben, einen wellenförmigen Charakter nicht erkennen. Wir können nach eigenen Versuchen dies dahin ausdrücken, daß eigentliche Wellen überhaupt dabei nicht zur Beobachtung kamen. Somit sind diese Versuche zwar geeignet, zu beweisen, daß im Gefäßsysteme unter den genannten Umständen eine Steigerung des Blutdruckes unabhängig vom Herzen stattfinden kann, aber sie geben keinen Aufschluß über die Art der Entstehung der uns hier interessirenden periodischen Schwankungen des Blutdruckes. Übrigens ist der Zustand, in welchen ein curarisirtes Thier nach Unterbindung des Herzens geräth, doch in mehreren Beziehungen von demjenigen verschieden, in welchen es durch Aussetzen der künstlichen Athmung versetzt wird.

Bessere Resultate haben wir jedoch bei einer Abänderung der Methode erhalten. Wir haben nämlich zunächst durch Aussetzen der Ventilation eine starke Dyspnoe erzeugt, und erst als in Folge davon der Blutdruck bereits bedeutend, und zwar wellenförmig angestiegen

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

war, das Herz abgebunden. Hierbei muß offenbar wegen der starken, schon im Momente der Abbindung stattfindenden Contraction der betheiligten Gefäße das Überfließen des Blutes aus den Arterien in die Venen erschwert sein, und demnach das in Folge der Abbindung des Herzens entstehende Sinken des Blutdruckes viel langsamer erfolgen. Treten nun während dieses Sinkens periodische Verstärkungen der Gefäßcontraction ein, so muß auch die Curve des absinkenden Blutdruckes entsprechende periodische Verzögerungen des Falles zeigen; und dies war in der That der Fall, wie Curve V deutlich zeigt.

Ein Mangel der zuletzt beschriebenen Versuche liegt darin, daß durch das enorme Absinken des Blutdruckes und durch das rasche Ersticken des Thieres im günstigsten Falle nur noch einige wenige Perioden der rhythmischen Gefäßcontraction sich an der Curve ausprägen können. Deshalb wurde zur Ergänzung dieser Versuche noch ein anderer Weg eingeschlagen.

Schon früher haben wir wiederholt mit Erfolg versucht, in größeren Bezirken des lebenden Thieres einen künstlichen Kreislauf herzustellen. So haben wir im Verlaufe der mit Herrn Dr. Breuer angestellten Untersuchungen über die Athembewegungen öfters bei Katzen die beiden vom Aortenbogen aufsteigenden Gefäßstämme dicht an der Aorta, sowie die obere Hohlvene dicht am Herzen abgebunden und in dem auf diese Weise ziemlich vollständig isolirten Abschnitte des Gefäßsystems eine künstliche Circulation geschlagenen Hundeblutes unterhalten, indem wir dieses Blut durch den *Truncus anonymus* eintrieben und aus der oberhalb der Unterbindung geöffneten *Cava superior* wieder abfließen ließen, während im übrigen Gefäßsysteme das Blut der Katze in gewöhnlicher Weise kreiste. Man ist auf diese Weise im Stande, die Ernährung des Gehirns und der *Medulla oblongata* unabhängig zu machen von der Ernährung des übrigen Körpers, z. B. in ersteren Theilen Dyspnoe und Erstickung zu erzeugen, während der ganze übrige Körper eupnoisch ist, oder umgekehrt das Gehirn von eupnoischem Blute durchfließen zu lassen, während im Körper die heftigste Dyspnoe herrscht. Die Wichtigkeit dieser Methode für viele tiefgehende Fragen liegt auf der Hand. An einer anderen Stelle soll ausführlicher darüber berichtet werden.

Diese Erfahrungen ermuthigten uns zu dem Versuche, den ganzen Körperkreislauf des Thieres künstlich zu unterhalten und

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

dadurch vom Herzen vollständig unabhängig zu machen. Von drei Versuchen, welche wir bisher angestellt haben, gaben zwei wegen störender Zwischenfälle keine brauchbaren Curven; der erste, weil das Pumpwerk, welches das Herz ersetzte, noch nicht vollkommen genug eingerichtet war, der zweite, weil das Kymographion gerade im entscheidenden Augenblicke versagte, der dritte Versuch jedoch gelang vollständig. Das arterielle Blut eines großen Hundes wurde geschlagen, durch ein Tuch geseiht, zum großen Theile mit Kohlensäure, zum kleineren kurz vor dem Gebrauche noch etwas mit atmosphärischer Luft geschüttelt. Letzteres Blut wurde nun durch ein Pumpwerk einer curarisirten Katze in die vom Herzen abgebundene Aorta eingespritzt, nachdem der rechte Vorhof ausgiebig eröffnet worden war, um dem Venenblute freien Abfluß zu gestatten. Beide Vagi und Sympathici waren am Halse durchschnitten und eine *Arteria carotis* mit dem Manometer des Kymographions in Verbindung gebracht. Das kleine Pumpwerk mußten wir, in Ermanglung einer anderen Triebkraft, mit der Hand nach dem Tacte eines Metronoms in Bewegung setzen, welches zugleich bei jedem zweiten Schlage einen elektrischen Strom schloß, der mit Hilfe eines Elektromagnets auf der Trommel des Kymographions die Zeit markirte. Es wurden auf diese Weise anfangs 77, später 107mal in der Minute je 2 Grm. Blut in die Aorta eingetrieben.

Kurz vor der Herstellung der künstlichen Circulation war an demselben Thiere ein Erstickungsversuch gemacht worden. Der Blutdruck, welcher während der künstlichen Athmung 46 Mm. Quecksilb. betragen hatte, hob sich beim Aussetzen der Athmung rasch auf 62 Mm., was als Folge des Lungencollapses und der dadurch geminderten Widerstände im Lungenkreislauf anzusehen ist. In den nächsten 6 Minuten blieb der Blutdruck constant und stieg sodann in Folge der wachsenden Venosität des Blutes innerhalb 48 Minuten langsam bis auf 140 Mm. Die Curve zeigte diesmal leider nur Andeutungen der Wellen, wie dies, wie gesagt, bei Katzen öfter als bei Hunden vorkommt; gleichwohl waren die Wellen bei genauerer Betrachtung nicht zu verkennen. Ihre Zeitlänge betrug 4—5,5 Secunden.

Nachdem nun der Blutdruck in Folge der wieder eingetretenen künstlichen Athmung auf 68 Mm. gesunken war, wurde die Aorta dicht am Herzen abgeklemmt, und unmittelbar nachher durch die schon zuvor eingeführte Ludwig'sche Canüle das auf 38° C. er-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

wärmte Hundeblut in der oben beschriebenen Weise eingetrieben. Der durch das Abklemmen der Aorta rasch auf 22 Mm. gesunkene Blutdruck hob sich jetzt schnell auf 48 Mm. und blieb nunmehr, abgesehen von den sogleich zu erwähnenden sehr regelmäßigen wellenförmigen Schwankungen ganz constant. Nach Ablauf von 72″ wurde der Rhythmus der Bluteintreibungen derart geändert, daß jetzt, statt 77, fortan 107 Eintreibungen auf die Minute kamen. Sogleich hob sich der Blutdruck auf circa 60 Mm. und blieb dann abermals, von den noch deutlicher gewordenen, regelmäßig periodischen Schwankungen abgesehen, auf der gleichen Höhe. Nach weiteren 92 Secunden wurde statt des arteriellen Blutes das mit Kohlensäure geschüttelte in genau derselben Weise eingetrieben; sofort hob sich langsam der Blutdruck auf circa 160 Mm., sank dann allmählig bis auf circa 100 Mm. und hielt sich auf dieser Höhe durch mehrere Minuten, bis der Versuch abgeschlossen wurde. Die periodischen Schwankungen waren während der Einspritzung des mit Kohlensäure geschüttelten Blutes nirgends deutlich entwickelt.

Curve VIII ist die bei diesem Versuche während der Einspritzung des arteriellen Blutes gezeichnete Curve. Im ersten Theile derselben (*c—d*), sind die periodischen Druckschwankungen nicht so deutlich, wie im zweiten (*d—f*), aber auch im ersteren wird man sie leicht erkennen, wenn man die Curve von der Seite betrachtet, so daß sie dem Auge in starker Verkürzung erscheint. Die mittlere Dauer der Periode oder Welle beträgt im ersten Theile der Curve 6″, im zweiten 6,6″. Von besonderer Wichtigkeit scheint uns, daß auch an diesen Wellen der aufsteigende Schenkel kürzer ist als der absteigende.

Wir finden es höchst wahrscheinlich, daß diese bei der künstlichen Circulation, also ganz unabhängig vom Herzen, auftretenden periodischen Schwankungen des Blutdruckes aus einer periodischen Erhöhung des Widerstandes zu erklären sind, welchen der Strom des künstlich eingetriebenen Blutes findet. Eine solche periodische Widerstandsänderung läßt sich beim curarisirten Thier nicht wohl anders als aus einer periodischen Thätigkeit der Gefäßmusculatur erklären. Da nun überdies die Zeitlänge und Form der hier beobachteten Wellen der Zeitlänge und Form derjenigen entspricht, welche wir an demselben Thiere beobachteten, als sein Kreislauf noch vom Herzen besorgt wurde, so glauben wir schließen zu dürfen, daß beide Arten von Wellen denselben Ursprung hatten. Damit wäre

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

ein weiterer Beweis dafür geliefert, daß das vasomotorische System vom Athmungscentrum rhythmisch innervirt wird.

Wir haben hierbei die Einwände, welche sich gegen unsere Auffassung des zuletzt beschriebenen Versuches machen lassen, wohl erwogen. Zuvörderst kann man sagen, daß ein einziger Versuch hier, wo es sich um so verwickelte Verhältnisse handelt, nicht zum vollen Beweise hinreiche. Diesen Einwand lassen wir durchaus gelten, und haben zu unserer Entschuldigung nur anzuführen, daß andere Untersuchungen uns gehindert haben, diesen umständlichen Versuch öfter zu wiederholen. Zweitens läßt sich tadeln, daß nicht noch während des Versuches das Rückenmark durchschnitten wurde; wären hiernach die Perioden noch fortbestanden, so wäre bewiesen, daß sie nicht vom Athmungscentrum her verursacht wurden, sondern einen anderen Grund hatten, und wären sie verschwunden, so wäre das Gegentheil wahrscheinlich gewesen. Aber man bedenke, daß die Rückenmarkdurchschneidung eine heftige und ziemlich lang nachdauernde Erregung des vasomotorischen Systems bedingt. Das Ende dieser Erregung aber hätte abgewartet werden müssen, wenn der Versuch beweiskräftig sein sollte, wenigstens für den Fall, daß die Wellen nach der Durchschneidung verschwunden wären. So lange aber hätte unser Blutvorrath nicht ausgereicht.

Ein dritter Einwand liegt darin, daß die wellenförmigen Druckschwankungen, welche, wie die Curve VIII zeigt, beim Eintreiben des arteriellen Blutes so deutlich entwickelt waren, nicht mehr deutlich auftraten, als das mit Kohlensäure geschüttelte Blut eingetrieben wurde. Wir haben diesem Einwande nichts entgegenzusetzen, als den Hinweis darauf, daß auch sonst die Wellen verschwinden, sobald die Dyspnoe und mit ihr die Steigerung des Blutdruckes über einen gewissen Grad hinausgegangen sind, und daß sie ferner in vielen Fällen schon bei nicht übermäßiger Dyspnoe so seicht werden, daß man sie bei unserer Methode der künstlichen Circulation wegen der Größe und nicht zu vermeidenden Unregelmäßigkeit der einzelnen Pumpenstöße gar nicht bemerken könnte, wenn sie auch vorhanden wären. Möglich, daß schon das von uns benützte arterielle Blut, weil es schon länger als eine Stunde bei einer Temperatur von 38° C. gestanden hatte, eine Dyspnoe erzeugte, so daß dann das mit Kohlensäure geschüttelte Blut das Thier vollends erstickte.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Ein weiterer Einwand könnte sich auf die Möglichkeit stützen, daß die Wellen des Blutdruckes lediglich durch die Art des Pumpens entstanden. Wir haben an diese Möglichkeit schon vor dem Versuche gedacht, und deßhalb wurde dafür gesorgt, daß der das Blut Einpumpende die entstehende Curve wenigstens in der entscheidenden Zeit nicht sah, und zweitens wurde die Länge seiner Athemperioden gleichzeitig bestimmt, weil der Verdacht nahe lag, daß sich die Art, in welcher er die Pumpe handhabte, seinen Athembewegungen entsprechend periodisch ändern könne. Aber die Perioden der Curven und die seiner Athmungen waren weit verschieden. Somit müssen wir wahrscheinlich finden, daß die Wellen der Curve wirklich durch periodische Contractionen der Gefäßmusculatur erzeugt worden sind.

Alles zusammengenommen glauben wir, hinreichend bewiesen zu haben, daß auch das Gefäßsystem Athembewegungen ausführt, welche sich den schon bekannten Athembewegungen associiren, und wie diese vom sogenannten Athmungscentrum her in rhythmischer Weise ausgelöst werden. Daß unsere Versuche ausschließlich an curarisirten Thieren angestellt wurden, welche scheinbar nicht mehr spontan athmen, darf gegen unsere Auffassung nicht als Einwand benützt werden. Denn daß auch bei solchen Thieren das Athmungscentrum in rhythmischer Thätigkeit ist, und daß von letzterem die motorischen Nerven der quergestreiften Athmungsmuskeln rhythmisch innervirt werden, wenn auch wegen der Lähmung keine Bewegung hierdurch zu Stande kommt, wird wohl Niemand bezweifeln wollen.

Welche Theile des Gefäßsystems es sind, die vorzugsweise oder ausschließlich die genannten Athembewegungen ausführen, ob diese Bewegungen schon im Zustande der Eupnoe, oder erst in der beginnenden Dyspnoe deutlicher auftreten, ob die periodische Innervation der Gefäßnerven sich der Inspiration oder der Exspiration associirt und ob sie wirklich eine pressorische, wie wir im Obigen vorläufig angenommen haben, oder aber eine depressorische ist, dies Alles wird erst in unseren weiteren Mittheilungen zu untersuchen sein.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Erläuterung zu den Tafeln.

Die Curven stammen, sofern nicht weiter unten ausdrücklich etwas anderes bemerkt ist, von Thieren, welche mit *Morphium muriat.* und später mit Curare vergiftet und deren Vagi durchschnitten waren. Die Curven VI und VIII, sind von Katzen, alle übrigen von Hunden gewonnen.

Sämmtliche Curven sind von einem Quecksilbermanometer gezeichnet, dessen Canüle (mit Ausnahme der Curve VI) in die nach dem Kopfe hin unterbundene Carotis eingeführt war. Auf der Horizontalen unter jeder Curve sind die Schläge eines Metronoms mit Hilfe eines Elektromagneten markirt. Am Anfange jeder Horizontalen ist angegeben, um wie viele Millimeter die Horizontale über der Abscisse, welche dem Nullpunkte des Manometers entspricht, gelegen ist. Der Blutdruck für einen beliebigen Curvenpunkt wird also (in Millimeter *Hg*) gefunden, wenn man den Verticalabstand des fraglichen Punktes von der Horizontalen in Millimetern bestimmt, zu der gefundenen Zahl die am Anfange der Horizontalen stehende Zahl addirt und die erhaltene Summe verdoppelt.

Über den meisten Curven befindet sich noch eine dritte Linie (*R*), gezeichnet von einem zweiten Manometer, welches mit der Trachealcanüle in Verbindung stand. Der Rhythmus der Lufteinblasungen verräth sich durch die Erhebungen dieser Linie, während dieselbe bei ausgesetzter künstlicher Athmung eine Horizontale darstellt.

a bezeichnet den Zeitpunkt, wo die künstliche Athmung ausgesetzt. *b* den Zeitpunkt, wo sie wieder begonnen wurde.

Übrigens verräth sich die (meist sehr frequente) künstliche Athmung an den Curven schon von selbst durch mehr oder weniger deutliche Erhebungen derselben oder wenigstens durch Ungleichheiten der Pulswellen.

Tafel I.

Curve I, in zwei Hälften getheilt, von einem 11 Kilo schweren Hunde. Die Abstände der Marken auf der Horizontalen entsprechen je 2″

Curve II, von einem kleinen Pudel. Abstand der Zeitmarken = 1,76″

Tafel II.

Curve III, in zwei Theile getheilt, von einem 18,5 Kilo schweren Hunde. Abstand der Zeitmarken = 1,54″

Curve IV, von demselben Hunde, unmittelbar nach einem Erstickungsversuche gezeichnet. Abstand der Zeitmarken = 1,54″.

Tafel III.

Curve V, von einem jungen, 6 Kilo schweren Hunde nach Eröffnung des Thorax. Bei *g* wurde das Herz zwischen Vorhöfen und Ventrikeln zusammengeschnürt. Abstand der Zeitmarken = 2″.

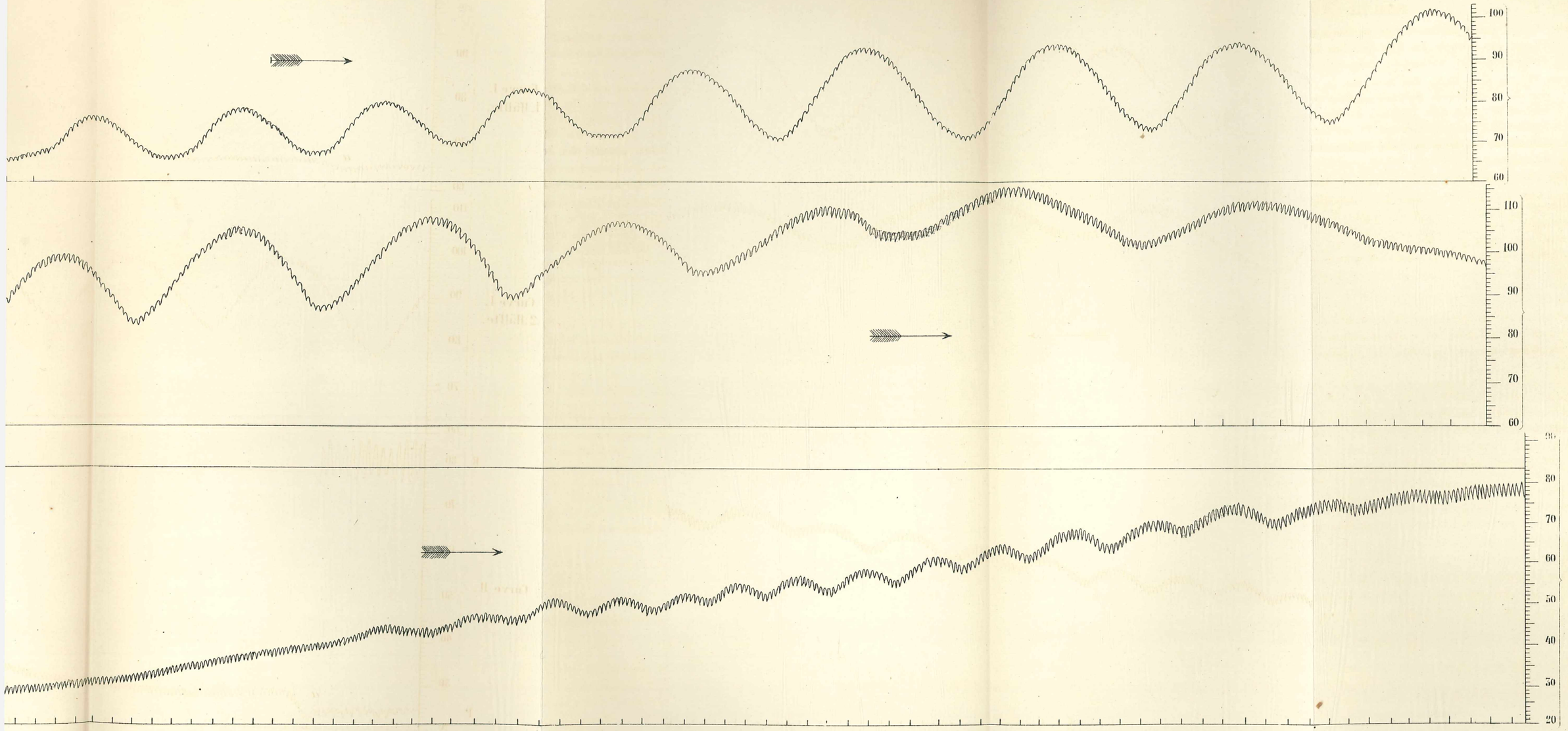
Curve VI, von einer Katze. Das Manometer in Verbindung mit der *Arteria cruralis*, welche nach der Peripherie hin unterbunden war. Die Curve beginnt 30″ nach dem Aussetzen der künstlichen Athmung, während welcher Zeit der Blutdruck von 78 auf 106 Mm. gestiegen war, ohne daß jedoch bis dahin deutliche Wellen auftraten. Abstand der Zeitmarken = 2″.

Curve VII, von demselben Hunde wie Curve I. Abstand der Zeitmarken = 2″.

Curve VIII, von einer Katze, deren Körperkreislauf durch eine Pumpe künstlich mit Hundeblut unterhalten wurde. Von *c* bis *d* 77, von *d* bis *f* 107 Pumpenstöße und entsprechende Erhebungen der Curve in der Minute. Die Horizontale unter der Curve ist die Abscisse des Nullpunktes.

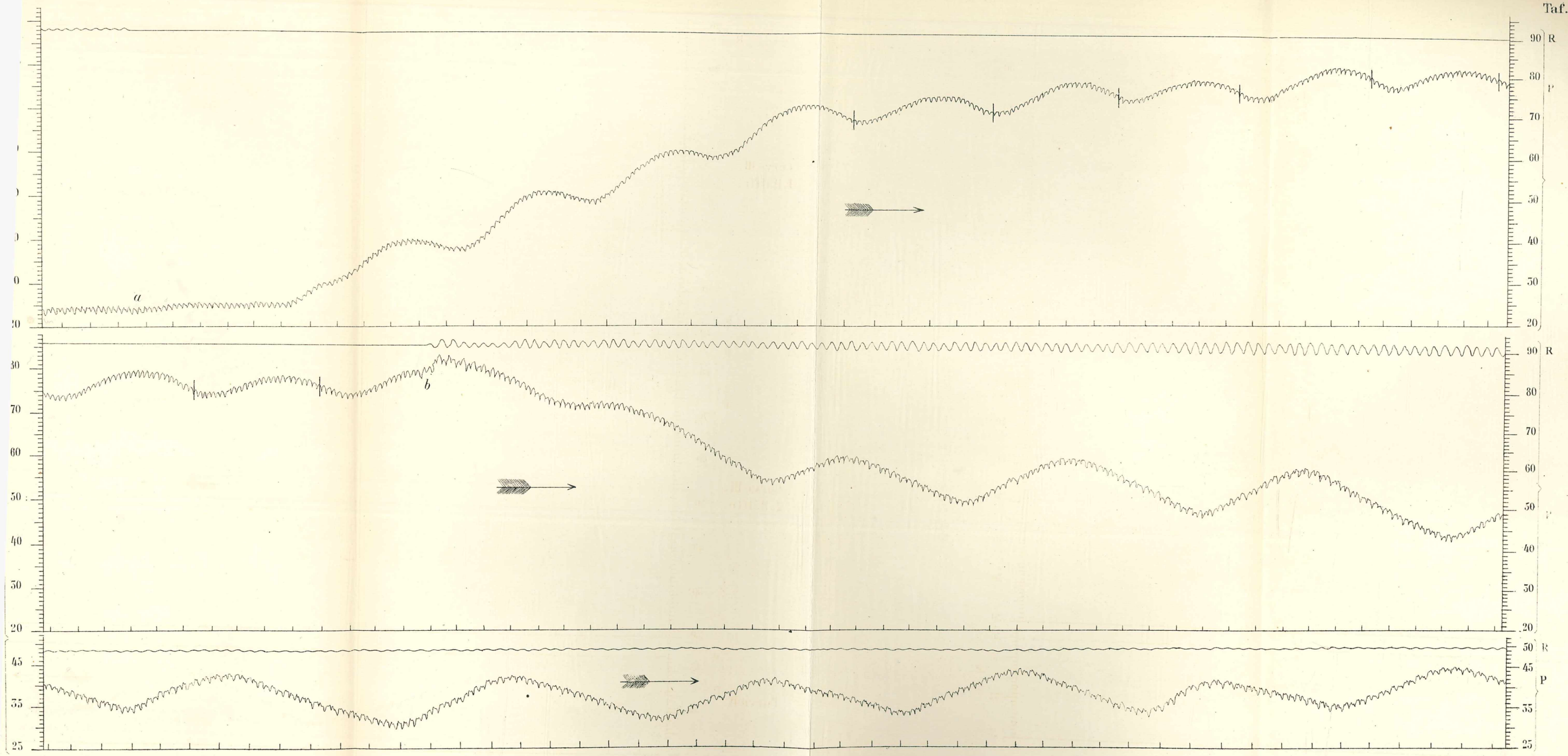
©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Taf. I.



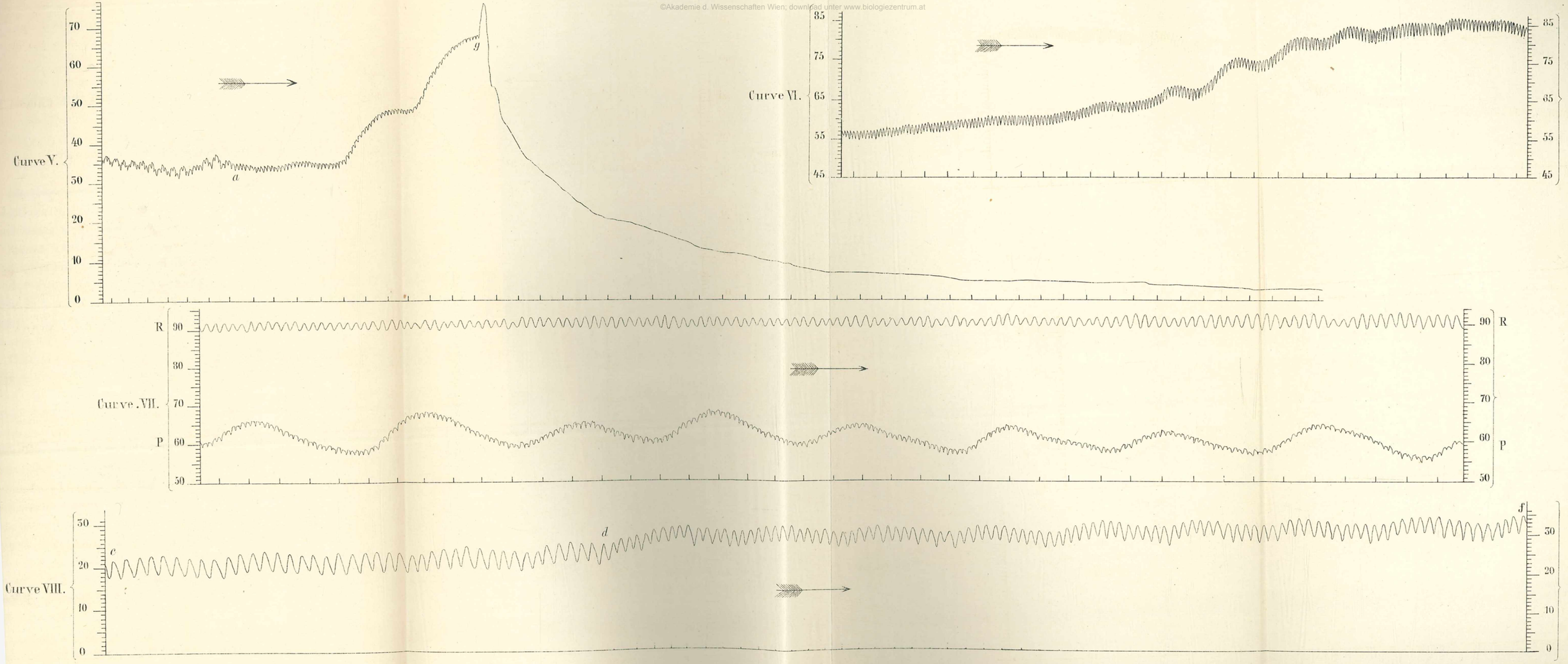
Aus d. k. k. Hof- u. Staatsdruckerei.

Taf. II.



©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at



Aus d. k. k. Hof- u. Staatsdruckerei.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse

Jahr/Year: 1869

Band/Volume: 60_2

Autor(en)/Author(s): Hering Ewald [Karl Konstantin]

Artikel/Article: Über Athembewegungen des Gefässsystems. 829-856