

XV.

Aus dem pharmakologischen Institut zu Heidelberg.

Die Thätigkeit des überlebenden Säugethierherzens bei Durchströmung mit Gasen.

Von

R. Magnus.

(Mit 7 Curven im Text.)

Die vorliegende Untersuchung nahm ihren Ausgang von einer zufälligen Beobachtung, welche bei Gelegenheit eines Versuches am isolirten, frei schlagenden Katzenherzen gemacht wurde. Das Herz befand sich am Durchblutungsapparat und wurde nach der Methode von Langendorff¹⁾ bei leeren Herzhöhlen von der Aorta aus durch die Coronargefässe mit defibrinirtem Blute durchströmt, wobei bekanntlich die rhythmische Thätigkeit viele Stunden hindurch andauert. Als Druckerzeuger diente eine Bombe mit comprimirtem Sauerstoff. Durch ein Versehen wurde die rechtzeitige Erneuerung des Blutes in der Durchleitungsflasche unterlassen, und es strömte, nachdem der Blutvorrath erschöpft war, jetzt der gasförmige Sauerstoff statt des Blutes in die Coronargefässe ein, verdrängte das Blut zuerst aus den Arterien, dann aus den Venen und trat in Blasen aus dem rechten Vorhofs aus. Die Erwartung, dass das Herz darauf sofort stillstehen oder wenigstens flimmern würde, ward nicht erfüllt, vielmehr dauerten die rhythmischen Contractionen fort, an Grösse allmählich abnehmend, so dass 9 Minuten nach dem Einströmen des Gases in die Gefässe das Herz noch regelmässig schlug.

Diese Beobachtung forderte zu einer systematischen Untersuchung der Bedingungen auf, unter denen ein Herz ohne Blutzufuhr durch die Coronargefässe seine rhythmische Thätigkeit fortsetzen kann. Ueber die Resultate dieser Versuche soll im Folgenden berichtet werden.

1) Langendorff, Pflüger's Archiv Bd. LXI S. 291. 1895.

Methodik.

Sämmtliche Versuche wurden am isolirten Katzenherzen nach der Langendorff'schen Methode angestellt. Das körperwarmer defibrinirte Blut floss aus einer Flasche in die Canüle, an welcher die Aorta befestigt war. In den Blutstrom tauchte M. unmittelbar vor dem Einfluss in die Aorta ein Thermometer. Durch den Druck des Blutes schliessen sich die Aortenklappen, und dieses kann nur durch die Coronargefässe abfliessen. Es wird also die Herzwand bei leeren Herzhöhlen durchblutet, und aus dem rechten Vorhof fliesst das Blut darauf in eine untergestellte Schale. An der Herzspitze wurde ein Häkchen befestigt, und von da aus die Bewegungen des Herzens mittels eines Fadens, der über eine Rolle lief, auf den Schreibhebel übertragen, welcher die Herzthätigkeit auf dem Kymographion registrirte. Zur Druckerzeugung diente zunächst compimirter Sauerstoff in einer Bombe mit regulirbarem Reductionsventil, der Druck des einströmenden Blutes konnte an einem Manometer abgelesen werden. Von der Sauerstoffbombe ging nun noch eine zweite Schlauchleitung für das Gas ab, welche zu einem gläsernen Schlangenrohr in einem erwärmbaren Wasserbade führte. Von diesem Schlangenrohr ging die Schlauchleitung weiter zu der Herzcanüle, in welche sie dem Blutzufuss gegenüber einmündete. Sie blieb am Anfang des Versuchs geschlossen. Wollte man statt des Blutes Sauerstoff in die Herzcanüle und den Coronarkreislauf eintreten lassen, so wurde der Blutzufuss abgestellt und statt dessen die Zuleitung für das Gas geöffnet. Dieses strömte nun aus der Bombe durch das Schlangenrohr, wo es erwärmt wurde, und von da direct in die Herzcanüle.

Tritt jetzt das Gas in die Aorta, so kann es vorkommen, dass die Semilunarklappen, welche dem Blute gegenüber gut geschlossen hatten, nicht mehr dicht halten und ein Theil des Gases in den linken Ventrikel dringt, diesen ballonartig aufblähend; dadurch wird das Herz geschädigt, und es ist daher rathsam, in den linken Vorhof einen kleinen Einschnitt zu machen und von hier aus ein Glasröhrchen in den linken Ventrikel zu stecken. Das Herz verträgt diesen Eingriff ohne jede Störung, und etwa in den linken Ventrikel dringendes Gas kann entweichen, ohne Schaden zu stiften.

Die angewendeten Durchblutungsdrucke schwankten zwischen 100 und 200 mm Hg. Beim Einströmen des Gases empfiehlt es sich, nicht niedrigere Drucke als 150 mm Hg zu wählen, da nur so das Gas schnell in die Coronargefässe einschiesst und das Blut daraus verdrängt.

Die Temperatur des Gases liess sich, trotzdem es durch ein heisses Wasserbad geleitet wurde, im Allgemeinen nicht höher als 27° C steigern. Da mit dem Uebergang von den Coronararterien in die Capillaren eine nicht unbeträchtliche Erweiterung des Strombettes verbunden ist, so wird das Gas an diesen Stellen expandiren, und hiermit ist eine weitere Abkühlung verbunden. Sämmtliche Versuche sind demnach an Herzen angestellt, welche niedriger temperirt waren, als im Körper. Den Einfluss der Abkühlung auf die Thätigkeit des isolirten Herzens hat bereits Langendorff¹⁾ untersucht und gefunden, dass noch bei 6—7° C das Herz rhythmisch schlagen kann.

Versuchsergebnisse.

a) Sauerstoff.

Wenn man durch die Gefässe eines unter Blutdurchfluss rhythmisch schlagenden Herzens statt des Blutes Sauerstoff unter Druck einströmen lässt, so sieht man das Gas in die Arterien einschiesse, darauf den Herzmuskel erblassen und das Blut aus den Venen herausgedrängt werden. Anfangs perlt der Sauerstoff noch durch Blutreste in den Gefässen hindurch, bald aber werden auch diese ausgetrieben, es strömt nun das reine Gas durch die Gefässe der Herzwand und tritt unter Zischen aus dem rechten Vorhof aus. Das Herz fährt dabei fort, sich rhythmisch zusammenzuziehen. Im Anfang sind die Contractionen oft etwas unregelmässig in Grösse und Zeitfolge, dann aber werden sie meist regelmässig, und dauern nun mehr oder weniger lange Zeit an. Das Maximum, das ich beobachten konnte, ergab sich in einem Versuch mit einer 69 Minuten lang fortgesetzten ununterbrochenen Gasdurchströmung, während welcher das Herz fortfuhr zu schlagen. Auch am Schluss des Experiments dauerte die rhythmische Thätigkeit noch an. In der Regel aber werden nach ca. 1/2 Stunde die Coronargefässe undicht, es perlt Gas an der Oberfläche des Ventrikels aus, und dann erlischt auch im Allgemeinen der Herzschlag. In einigen Versuchen war die Grösse der Excursionen jeder Herzcontraction gegen die Norm nicht vermindert, dagegen nahm die Frequenz ab, in anderen sank die Grösse der Contractionen ohne wesentliche Verlangsamung, in den meisten war sowohl Verlangsamung als auch Kleinerwerden der Schläge ausgesprochen.

Einige Beispiele mögen das Geschilderte veranschaulichen:

1) Langendorff, Pflüger's Archiv Bd. LXI. S. 355. 1897.

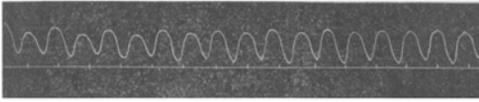


Fig. 1.

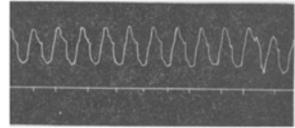


Fig. 2.

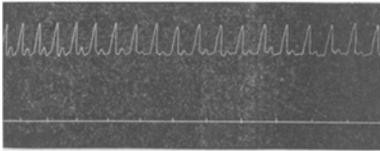


Fig. 3.

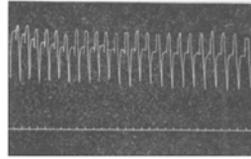


Fig. 4a.

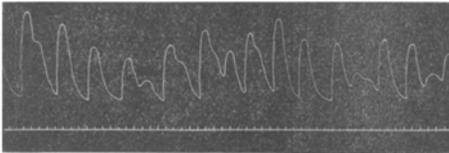


Fig. 4 b.

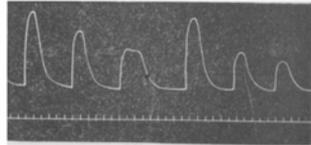


Fig. 4 c.

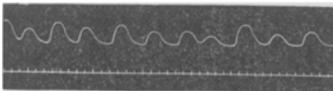


Fig. 4 d.

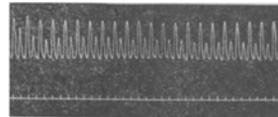


Fig. 4 e.

Fig. 1 entstammt einem Versuch (V), in welchem zuerst 15 Minuten lang Sauerstoff durch das Coronargefäßssystem strömte, dann wurde kurz Blut durchgetrieben und gleich darauf wieder das Gas. Die Figur giebt die rhythmischen Contraktionen 10 Minuten nach Beginn der zweiten Sauerstoffdurchströmung: ca. 73 Pulse pro Minute. Druck 190 mm Hg.

Fig. 2 (Versuch VI) zeigt die Contraktionen eines Herzens nach ununterbrochener Sauerstoffdurchleitung von 20 Minuten. — Puls 60, Temperatur des einströmenden Gases 28° C., Druck 175 mm Hg.

Fig. 3 (Versuch VII). Contraktionen des Katzenherzens, nachdem es 24 Minuten lang von Sauerstoff durchströmt ist. Puls 104, Druck 200 mm Hg., Temperatur des Gases 24°.

Fig. 4 (Versuch XVIII):

- | | | | | | | | |
|----|------|----|---------|-----------|------------------|------|-----|
| a. | nach | 6 | Minuten | dauernder | Gasdurchströmung | Puls | 46 |
| b. | = | 24 | " | " | " | " | 17 |
| c. | = | 27 | " | " | " | " | 9 |
| d. | = | 57 | " | " | " | " | 17. |

Nachdem 69 Minuten Sauerstoff durch die Coronargefäße geströmt war, wurde wieder Blut hindurch geleitet. Das Herz führte darauf wieder schnelle Contraktionen aus: Fig. 4 e. Puls 80.

Druck 150 mm Hg. Temperatur des Gases unter 25°. Temperatur des Blutes (e) 30°.

Zeit in sämtlichen Figuren in Secunden.

Man sieht aus den beigegebenen Curven die schöne rhythmische Thätigkeit, welche ein Herz auszuüben vermag, durch dessen Coronargefässe Sauerstoff unter Druck hindurchgetrieben wird. Der zuletzt angeführte Versuch lehrt ausserdem, dass ein Herz nach mehr als einstündiger Sauerstoffdurchströmung soweit intact ist, dass es bei Versorgung mit frischem Blut alsbald wieder mit beträchtlicher Frequenz schlägt. Figur 4b giebt ausserdem ein Beispiel für Irregularitäten, wie sie im Verlauf der Gasdurchströmung manchmal auftreten.

Es ergibt sich aus dem Geschilderten, dass die rhythmische Thätigkeit des überlebenden Katzenherzens fort dauern kann bei completer Anämie der Herzwände, und dass die motorischen Apparate der Zufuhr von Nährflüssigkeit sehr lange Zeit entbehren können.

Welches ist nun aber die Wirkung des Sauerstoffs? Zuerst glaubte ich die beobachteten Erscheinungen in Parallele setzen zu sollen mit Versuchen, welche Porter¹⁾ auf dem 4. int. Physiologencongress in Cambridge demonstrirte. Er konnte isolirte Hundeherzen lange Zeit am Schlagen erhalten, wenn er sie mit Serum durchleitete, das Sauerstoff unter hohem Druck enthielt. Ich glaubte also, dass der unter hohem Druck befindliche Sauerstoff für die lange fortgesetzte rhythmische Thätigkeit verantwortlich sei, und stellte daher Controllversuche mit Wasserstoff an in der Erwartung, nun das Herz seine Schlagfolge einstellen zu sehen.

b) Wasserstoff.

Zu diesen Experimenten diente eine Bombe mit verdichtetem Wasserstoff. In den ersten Versuchen schien es nun allerdings, dass H den rhythmischen Herzschlag nicht zu unterhalten vermöge; die Herzen standen nach der Gaszuleitung still. Demgegenüber fuhr in anderen Experimenten das Herz fort, regelmässig zu schlagen, während Wasserstoff durch seine Blutgefässe strömte. Es war möglich, andauernde, regelmässige, coordinirte Herzthätigkeit noch nach einer 1/2 stündigen Gasdurchleitung zu beobachten.

1) Porter, Journal of physiol. Vol. XXXIII. p. 18. 1899.

Fig. 5 zeigt solche Contractionen nach einer Wasserstoffdurchströmung von 6 Minuten. — Druck 150 mm Hg., Temperatur des Gases 27,5°, Puls 60.

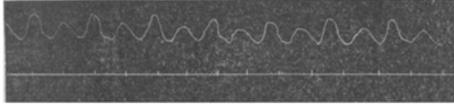


Fig. 5.

Fig. 6 a (Versuch XIV) zeigt die normale Thätigkeit des durchbluteten Herzens (Druck 100 mm Hg, Temperatur des Blutes 31°, Puls 46). — Fig. 6 b. 3 Minuten nach dem Beginn der Gasdurchleitung (Puls 34). — Fig. 6 c. 20 Minuten nach dem Beginn der Gasdurchleitung (Puls 8).

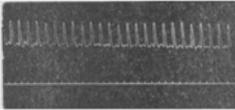


Fig. 6 a.

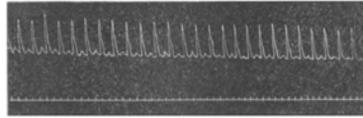


Fig. 6 b.

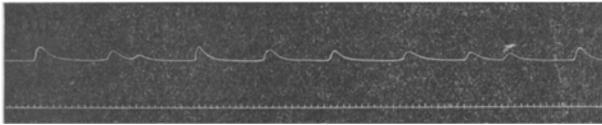


Fig. 6 c.

Diese Beispiele zeigen, dass auch bei Durchströmen des Coronarkreislaufs mit Wasserstoffgas das Herz fortfahren kann, rhythmisch zu schlagen. Es gelingt freilich nicht in allen Versuchen, dieses nachzuweisen, aber ich verfüge über eine Reihe Experimente, welche die Erscheinung auf das Allerdeutlichste zeigen.

Danach kann es also nicht der unter Druck stehende Sauerstoff sein, welcher die Vorbedingung für den andauernden Herzschlag abgibt, sondern es genügt die Durchleitung eines indifferenten Gases durch die Kranzgefäße, um das Herz weiter pulsiren zu lassen.

Die Versuche lehren weiter, dass das schlagende Herz von einer dauernden Sauerstoffzufuhr von aussen in einem hohen Grade unabhängig ist. Es sind zwar gewiss nicht die letzten Spuren O aus der Herzantile und den Coronargefäßen durch den Wasserstoff ausgetrieben worden, sind doch stets geringe Reste rothen Blutes an den Glaswänden der Cantile zu bemerken. Aber es kann sich in den Wasserstoffversuchen doch nur um ganz minimale Spuren von Sauerstoffbeimengungen gehandelt haben. Trotzdem dauert der Herzschlag an.

Aehnliche Erfahrungen wurden auch in Langendorff's Laboratorium¹⁾ gemacht. Es war nicht möglich, mit entgastem Blut oder mit gewöhnlichem CO-Blut ein Herz zum Stillstand zu bringen. Dazu war nöthig, dass durch ein besonders complicirtes Verfahren auch die letzten Spuren von O aus dem Blute ausgetrieben wurden; dann trat allmählich der Herzstillstand ein.

Auch Locke²⁾ konnte zeigen, dass ein Kaninchenherz, mit Ringer'scher Flüssigkeit gespeist, lange rhythmisch fortschlägt, und dass es genügt, bei Beginn des Erlahmens Sauerstoff unter atmosphärischem Druck durch die Nährflüssigkeit perlen zu lassen, um alsbald wieder die Pulsationen in alter Stärke zu bekommen. Hier genügt also die kleine Menge O, welche sich in dem Salzwasser auflöst, um ein Herz sich sogar wieder erholen zu lassen.

Man kann deshalb aus dem vorliegenden Material folgern, dass das schlagende Säugethierherz ausserordentlich unabhängig von der Sauerstoffzufuhr durch seine Gefässe ist, dass es eine gewisse Zeit sogar ohne resp. mit einer minimalen Menge zugeführten Sauerstoffs die rhythmische Thätigkeit fortsetzen kann³⁾.

Hiermit steht in Einklang, dass das Herz bei allen Todesarten, die durch Ersticken zu Stande kommen, also bei der Erstickung selbst, bei der CO-Vergiftung u. s. w. das ultimum moriens ist. Seine Resistenz ist hierin sogar noch grösser, wie die des Athemcentrums, welches nach gelegentlichen Beobachtungen⁴⁾ bei verbluteten Thieren noch 20 Minuten lang fortfahren kann, langsam, aber deutlich zu arbeiten.

Die Zufuhr von Nährmaterial ist nach den geschilderten Erfahrungen also nicht nöthig für die zeitweise Fortdauer des Herzschlags, dagegen kann sich der Gasstrom dem arbeitenden Herzen durch die Fortschaffung von Stoffwechselfproducten nützlich erweisen. Hier kann es sich natürlich nur um gasförmige Substanzen handeln, also besonders um die Kohlensäure. Es ist anzunehmen, dass der lebhafteste, durch die Kranzgefässe schiessende Gasstrom einen Theil der in der arbeitenden Muskelsubstanz gebildeten Kohlensäure entführt, ähnlich wie auch die alkalische Kochsalzlösung und Ringer's

1) Strecker, Pflüger's Archiv Bd. LXXX. S. 161.

2) Locke, Verhandlungen des 5. internationalen Physiologencongresses zu Turin. 1901.

3) Hierdurch wird natürlich die Frage nicht berührt, ob das arbeitende Herz O-Depots, etwa in den Muskeln, besitzt oder sich den zur Arbeit nöthigen O als intermediäres Product selbst abspaltet.

4) Vgl. auch v. Cyon, Pflüger's Archiv Bd. LXXVII. S. 280. 1899.

Flüssigkeit im Wesentlichen durch Bindung saurer Stoffwechselproducte wirken dürfte. Dass CO_2 in der That die rhythmische Thätigkeit des Herzens hemmt, lehren die folgenden Versuche.

c) Kohlensäure.

Benutzt wurde comprimirte Kohlensäure, welche vollständig frei von HCl war. Leitete man dieses Gas durch die Coronargefässe eines gut schlagenden Herzens, so werden dessen Contractionen schnell kleiner, um schliesslich zu erlöschen. Der Ventrikel flimmert dann und steht nach einiger Zeit still.

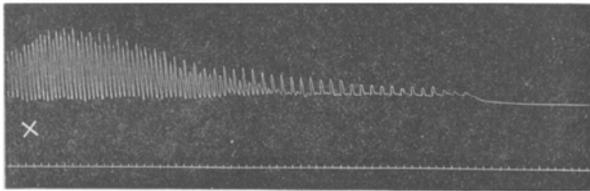


Fig. 7.

Fig. 7 zeigt das Erlöschen des Herzschlags auf CO_2 -Durchleitung (Beginn bei x).

Dieser Erfolg wurde bei sämtlichen Versuchen erhalten. Reine CO_2 hemmt die rhythmische Schlagfolge des Herzens sehr schnell und lässt es flimmernd stillstehen.

Trotzdem ist ein solches Organ nicht todt. Es ist mir gelungen, ein Herz, das nach 7 Minuten dauernder Durchleitung von CO_2 vollständig stillstand, durch nachheriges Durchleiten von Blut wieder zu regelmässigem und rhythmischem Schlagen zu bringen.

Dieser Befund lehrt, wie eigentlich schon sämtliche hier angeführte Versuche, ein wie ausserordentlich resistentes Gebilde das Katzenherz ist.

Zusammenfassung.

Wenn durch den Coronarkreislauf eines isolirten, künstlich durchbluteten Katzenherzens Sauerstoff unter Druck hindurchgeleitet wird, so können die rhythmischen Contractionen über eine Stunde fort dauern.

Auch bei Durchströmung mit Wasserstoff kann das Herz längere Zeit fortfahren, regelmässig zu schlagen.

Dagegen bringt Kohlensäure das Organ schon nach kurzer Zeit unter Flimmern zum Stillstand.

Diese Versuche lehren, dass beim Katzenherzen complete Anämie der Herzwand nicht zum Flimmern führt, vielmehr die rhythmischen Contractionen fort dauern lässt.

Sie zeigen ferner, dass das Herz ohne Zufuhr von Nährmaterial von aussen längere Zeit fortschlägt, und dass es ohne resp. mit einem Minimum von Sauerstoffzufuhr weiter pulsiren kann.

Man sieht daraus, mit welcher Zähigkeit auch bei Säugethieren das Organ, von dessen dauerndem rhythmischen Schlagen der Bestand des Lebens abhängt, seine Thätigkeit festhält, und wie resistent es gegen die ungünstigsten Ernährungsbedingungen ist.
