Fortgesetzte Untersuchung über Kammerflimmern.

Von

Dr. S. de Boer.

Privatdozent der Physiologie.

Mit 3 Textabbildungen.

(Eingegangen am 12. Januar 1921.)

Es erwies sich mir als notwendig, die Untersuchungen über Kammerflimmern beim Froschherzen mittels Registrierung der Aktionsströme bei dem doppelt suspendierten Herzen fortzusetzen. Wenn man nämlich die Aktionsströme von dem einfach suspendierten Froschherzen ableitet, kann man das Verhalten der Vorhöfe während des Flimmerns der Kammer nicht genau verfolgen. Die Suspensionskurven klären uns dann darüber nicht hinlänglich auf, und während des Flimmerns der Kammer gehen die P-Ausschläge völlig verloren.

Durch doppelte Suspension lassen sich diese Übelstände ganz beseitigen.

Bei meinen vorigen Untersuchungen¹⁾ hatte sich schon herausgestellt, daß während des Flimmerns der Kammer die Vorhöfe entweder in regelmäßigem Tempo weiter pulsierten (Abb. 1 und 3) oder einen

Abb. 1.

unregelmäßigen Rhythmus zeigten (Abb. 2). Diese Unregelmäßigkeiten des Schlagtempos schrieb ich dem Umstande zu, daß während des Flimmerns der Kammer jedesmal Erregungen nach den Vorhöfen

¹⁾ S. de Boer, Herzwühlen. 3. Mitteilung. Königl. Akad. der Wissenschaften in Amsterdam. Bericht der ordentlichen Versammlung der mathematischen und physischen Abteilung vom 23. IV. 1920. Teil 28, Seite 1206 und Proceedings **23**, 533. S. de Boer, Herzwühlen, Flimmern, Flattern, gehäufte Extrasystolie, paroxysmale Tachykardie. Arch. f. d. ges. Physiol. 1921.

zurückliefen und diese zu Extrasystolen veranlaßten. Der Beweis der Richtigkeit dieser Auffassung wird im nachstehenden geliefert werden (Abb. 2).

Abb. 1 gibt die Suspensionskurven der Kammer (*V*) und diejenigen der Vorhöfe (*A*) unter gleichzeitiger Registrierung der Elektrogramme an¹⁾. Bei 1 wurde noch vor dem Ende des T-Ausschlages die Kammerbasis von einem Induktionsreiz getroffen, worauf in den Suspensionskurven und Elektrogrammen der Kammer ein deutliches Flimmern zutage tritt. Die Vorhöfe aber pulsieren in ihrem ungestörten Rhythmus weiter.

Abb. 2.

Wird nun an derselben Stelle der gleich starke Induktionsreiz kurze Zeit nach Ablauf des T-Ausschlages bei 2 wiederholt, dann entsteht eine Extrasystole der Kammer, der eine kompensatorische Pause folgt.

Die obere Reihe von Abb. 2 zeigt die Kurven eines Froschherzens, bei dem die Reizelektrode an den Vorhöfen angebracht war, während der 2. Herzperiode wurde ein Induktionsreiz verabfolgt, der keinen Effekt zeigte²⁾. Bei 1 wurde der Reiz wiederholt, wodurch eine Extra-

¹⁾ In allen Abbildungen wurden die Elektrogramme in der Weise registriert, daß eine unpolarisierbare Elektrode auf die Kammerspitze und eine zweite auf die Vorhöfe placiert wurde. Die Spannung der Saite war derart, daß 1 m V einen Ausschlag von $1\frac{1}{2}$ mm bewirkte.

²⁾ Den Augenblick, in welchem der Induktionsreiz die Vorhöfe in dieser Abbildung und in Abb. 3 trifft, kann man aus den Elektrogrammkurven ersehen,

systole der Vorhöfe veranlaßt wurde. Danach wurde die Erregung nach der Kammer geleitet und verursachte gegen das Ende des T-Ausschlages eine verfrühte Systole der Kammer. Dieser Systole folgt keine kompensatorische Pause; sie ist also interpoliert. Darauf verlangsamt die Herzfrequenz in erheblicher Weise. Bei 2 werden die Vorhöfe aufs neue durch einen Induktionsschlag gereizt, worauf eine Extrasystole der Vorhöfe entsteht. Die Erregung erreicht nun die Kammer gegen das Ende des T-Ausschlages und veranlaßt diese Herzabteilung zum Flimmern. Während dieses Flimmerns sehen wir eine Reihe von 4 schnell aufeinanderfolgenden Vorhofsystolen auftreten¹⁾.

Abb. 2 a.

In meiner vorigen Mitteilung schrieb ich die Störungen des Vorhofrhythmus während des Flimmerns der Kammer Erregungen zu, die von der flimmernden Kammer nach den Vorhöfen zurückliefen. Der Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht wird durch diese Aufnahme erbracht. Wenn nämlich eine Vorhofsystole durch eine Erregung zustande kommt, welche die Vorhöfe von der Atrioventrikulärgrenze an in retrograder Richtung durchläuft, wird der P-Ausschlag des Elektrogrammes negativ werden. Und dies ist hier tatsächlich der Fall. Von den Vorhofsystolen, die während des Wühlens vorkommen, verschwinden die P-Ausschläge in den unregelmäßigen Elektrogrammkurven des Kammerflimmerns. Doch hier erscheint noch eine Vorhofsystole direkt nach Ablauf des Wühlens. Der vorangehende P-Ausschlag ist nun negativ. (Ich bezeichnete diesen letzteren durch ein darunter gesetztes Pfeilchen ↑²⁾).

die dann eine Lücke aufweisen. Diese letztere entsteht infolge von sich einschleichenden Stromschleifen, wodurch die Saite während eines kurzen Augenblickes wegschlägt.

¹⁾ Die durch Haken angegebenen Stellen von Abb. 2 und 3 sind in Abb. 2 a und 3 a unverkleinert reproduziert.

²⁾ Der langsame positive Ausschlag nach diesem negativen P-Ausschlag ist wahrscheinlich ein künstliches Erzeugnis. Wir sehen nämlich auch nach allen vorhergehenden P-Ausschlägen einen Beginn solch eines langsamen positiven Ausschlages. Wenn nun diese langsamen Ausschläge physiologisch zu den Vorhofelektrogrammen gehörten, dann müßte nach dem negativen P der langsame Ausschlag auch nach unten gerichtet sein. Man könnte noch vermuten, daß infolge einer Verlangsamung der Reizleitung durch die Vorhöfe der langsame Ausschlag nach dem negativen P umgekehrt sei, ebenso wie dies unter gleichen Verhältnissen bei dem T-Ausschlag des Kammerelektrogramms vorkommt. Die Verlangsamung der Reizleitung durch die Vorhöfe läßt sich jedoch ferner durch nichts nachweisen. Der negative P-Ausschlag ist nämlich nicht verbreitert und die Suspensionskurven der Vorhöfe steigen steil an und haben einen schmalen Gipfel. Diese Ansicht ist

Merkwürdig sind auch die Kurven der mittleren und unteren Aufnahme, die einem anderen entbluteten Froschherzen entlehnt sind. Die Reizelektrode war auch hier an den Vorhöfen angebracht. In der mittleren Kurvenreihe wurde zu verschiedenen Zeitpunkten den Vorhöfen ein Induktionsreiz verabfolgt. Nach den derart erzeugten Extrasystolen der Vorhöfe erreichte somit die Erregung die Kammer an verschiedenen Zeitpunkten der Kammerperiode. Wenn die Erregung die Kammer in einem späteren Zeitpunkte der Kammerperiode erreichte, war der Kammermuskel besser restauriert, als wenn die Kammer früher durch die Erregung getroffen wurde. Diese bessere Restauration hatte zur Folge, daß die Kammersystole, welche auf die Erregung folgte, größer war und daß die Erregung sich während dieser Kammersystole schneller durch die Kammer fortpflanzte. Eine in einem früheren Zeitpunkt auftretende Kammersystole war also kleiner infolge der mangelhafteren Restauration, während die Erregung sich dann langsamer durch die Kammer fortpflanzte. Die Größe der Kammersystolen können wir unmittelbar von den Suspensionskurven ablesen. Über die Geschwindigkeit der Reizleitung durch die Kammer geben uns die Kammerelektrogramme nähere Auskunft. Wir wissen nämlich aus einer früheren Mitteilung von meiner Hand¹⁾, daß durch eine Verlangsamung der Reizleitung durch die Kammer:

1. die Breite der R-Ausschläge zunimmt;
2. die T-Ausschläge in negativem Sinne verändern, d. h. daß ein positiver T-Ausschlag kleiner wird oder in einen negativen Ausschlag umschlägt;
3. die Verbindungslinien zwischen den R- und T-Ausschlägen sich senken.

Diese Veränderungen treten um so stärker in die Erscheinung, je mehr die Geschwindigkeit der Reizleitung abgenommen hat. Im vorliegenden Falle werden diese Veränderungen um so stärker auftreten, in einem je früheren Zeitpunkt der Kammerperiode die von den Vorhöfen kommende Erregung die Kammer erreicht.

Betrachten wir nun einmal die Kurven der mittleren Aufnahme näher. Den Vorhöfen wurde sechsmal ein Induktionsreiz verabfolgt, nach welchem jedesmal eine Extrasystole der Vorhöfe veranlaßt wurde. Nach allen sechs Extrasystolen der Vorhöfe erreichte die Erregung die

also nicht aufrechtzuerhalten. Ich vermute, daß der langsame Ausschlag dadurch entstanden ist, daß während des Kontrahierens der Vorhöfe die Vorhofelektrode auf einer kleineren Strecke mit den Vorhöfen Kontakt macht als während des schlaffen Zustandes dieser Herzabteilungen. Seit dieser Wahrnehmung ist die Frage berechtigt, ob nicht in vielen anderen Fällen die langsamen Ausschläge der Vorhofelektrogramme derselben Ursache ihr Entstehen zu danken haben.

¹⁾ S. de Boer, Über den Einfluß der Geschwindigkeit der Reizleitung auf die Form des Kammerelektrogramms. Arch. f. d. ges. Physiol. 173, 78. 1918.

Kammer in der absteigenden Linie des T-Ausschlages. Nach dem bei 5 verabfolgten Reize erreichte die Erregung die Kammer an der tiefsten Stelle in der absteigenden Linie des T-Ausschlages, nach dem bei 3 gegebenen Reize etwas früher, nach 4 wieder höher, nach 6 noch wieder höher als nach 4, nach 7 wieder höher als nach 6¹⁾. In dieser Reihenfolge muß also die Größe der Kammersystole abnehmen. Wir sehen in der Tat, daß nach 3 die Kammersystole kleiner ist als nach 5, nach 4 wieder kleiner als nach 3, nach 6 kleiner als nach 4 und nach 7 abermals kleiner. Auch die Geschwindigkeit der Reizleitung durch die Kammer nimmt in derselben Reihenfolge ab. Die Breite der R-Ausschläge können wir hier nicht als Maßstab nehmen, da die R-Ausschläge auf verschiedener Höhe der absteigenden Linien der T-Ausschläge anfangen. Die R-Ausschläge kommen also unvollständig in den Kurven zum Ausdruck. Die T-Ausschläge, welche während der periodischen Kammersystolen positiv waren, sind während der verfrühten Kammersystolen negativ geworden, und zwar in einem um so stärkeren Grade, je verfrühter die Kammersystolen waren, je langsamer also die Erregung durch die Kammer fortgeleitet wurde²⁾.

Nach 5 wies das Kammerelektrogramm einen kleinen negativen T-Ausschlag auf; nach 3 ist der letztere größer, nach 4 wieder größer als nach 3, nach 6 noch größer als nach 4 und endlich nach 7 wieder größer als nach 6. Je früher in der Kammerperiode also die Kammersystole entsteht unter dem Einflusse einer von den Vorhöfen kommenden Erregung, desto geringer ist die Contractilität und desto langsamer wird die Erregung durch die Kammer fortgeleitet. Nun werden die Vorhöfe nach 8 abermals zu einer Extrasystole angeregt. Die Erregung erreicht hierauf die Kammer in einem noch höher in der absteigenden Linie des T-Ausschlages gelegenen Punkte als nach 7. Jetzt erreicht die Erregung die Kammer in einem Moment, in welchem die Contractilität der Kammer und das Leitungsvermögen durch dieselbe noch schlechter

¹⁾ Deutlichkeitshalber weise ich nachdrücklich darauf hin, daß es entscheidend ist, in welchem Zeitpunkt der Kammerperiode die Erregung nach einer Extrasystole der Vorhöfe die Kammer erreicht. Der Moment, in welchem die Vorhöfe gereizt werden, entscheidet nicht, nimmt doch unter dem Einflusse der jedesmal wiederholten kompensatorischen Pausen die Breite der Kammersystolen und zugleich die Höhe der T-Ausschläge zu. Nach einer etwas später in der Kammerperiode erzeugten Extrasystole der Vorhöfe kann während einer breiteren Kammerystole die Erregung die Kammer wohl früher erreichen als nach einer etwas früher erzeugten Vorhofextrasystole während einer schmaleren Systole der Kammer. Über die Zunahme in Größe und Dauer der Kammersystolen unter dem Einflusse einer Reihe vergrößerter Kammerpausen werde ich in einer folgenden Mitteilung berichten.

²⁾ In einer vorigen Mitteilung (Dieses Archiv **173**, 99, 1918) wurde schon festgestellt, daß die Erregung umso langsamer durch die Kammer fortgeleitet wird, je verfrühter die Kammersystolen nach einem Extrareiz anfangen.

ist als nach 7. Infolgedessen entsteht nun ein kurzdauerndes Flimmern der Kammer. Diese Kurvenreihe erläutert also am deutlichsten, daß unter dem Einfluß der Erregung nach einer Extrasystole der Vorhöfe dann Kammerflimmern entsteht, wenn diese Erregung die Kammer in einem Augenblicke erreicht, in welchem die Restauration der Kammern noch schlecht ist. Dann wird die Erregung selbst derart schlecht durch die Kammer fortgeleitet, daß sie dieselbe ruckweise durchläuft, so daß der Kammermuskel etappenweise zur Kontraktion gebracht wird. Dann dauert eine Umlaufszeit der Erregung lange. Infolge der äußerst schlechten Contractilität entstand bei der Eintrittsstelle der Erregung eine kurzdauernde Kontraktion mit einem ebenfalls kurzdauernden Refraktärstadium. Wenn nun nach einer langen Umlaufszeit die Erregung wieder beim Ausgangspunkt angelangt, ist das Refraktärstadium hier abgelaufen, so daß die Erregung aufs neue, und zwar ruckweise rundkreisen kann. Das Entstehen des Kammerflimmerns nach einem indirekten Reiz (der Vorhöfe) wird durch diese Kurvenreihe wohl besonders deutlich demonstriert.

In der unteren Aufnahme wurden die Vorhöfe 4 mal von einem Induktionsreiz getroffen. Zweimal (nach 9 und nach 11) erreichte die Erregung nach der künstlichen Extrasystole der Vorhöfe die Kammer im unteren Teile der absteigenden Linie des T-Ausschlages, also spät in der Kammerperiode. In beiden Fällen entstand eine verfrühte Kammersystole. Die beiden anderen Male (nach 10 und nach 12) erreichte die Erregung die Kammer ungefähr in der Mitte der absteigenden Linie des T-Ausschlages, also früh in der Kammerperiode. Nun entstand auch in diesen beiden Fällen Wühlen der Kammer¹⁾.

In Abb. 2 wurde also mittels doppelter Suspension und durch Registrierung der Elektrogramme deutlich nachgewiesen, daß sich nach einer Extrasystole der Vorhöfe Kammerflimmern einstellen kann, wenigstens, wenn die Erregung darauf die Kammer nur in einem frühen Zeitpunkt der Kammerperiode erreicht. Hieraus folgerte ich in einer früheren Mitteilung²⁾, daß das Vorhof- oder Kammerflimmern beim Menschen entstehen könnte, wenn infolge einer plötzlichen Herzbeschleunigung in einem gegebenen Augenblick ein periodischer Impuls die Vorhöfe oder die Kammer direkt nach Ablauf des Refraktärstadiums erreicht. Diese Schlußfolgerung war in jeder Hinsicht berechtigt³⁾.

¹⁾ Während der letzten Kammerperiode der unteren Aufnahme machte der Frosch eine Schluckbewegung, wodurch das Elektrogramm und die Suspensionskurve eine Verschiebung erfuhren (durch Pfeilchen ↑ angedeutet).

²⁾ l. c.

³⁾ Die zwei letzten Kurvenreihen von Abb. 2 zeigen uns auch, daß nach einer Extrasystole der Vorhöfe, am Anfang der reizbaren Periode hervorgerufen, die kompensatorische Pause verkürzt sein kann gleich wie bei den Säugetieren. Weitere Experimente werden von mir ausgeführt, um die Frage

Die Kurven von Abb. 3 bestätigen diese Auffassung und veranlassen mich zu einer fernerer Erweiterung meiner früheren Ansicht. Hier wurde wieder doppelte Suspension angewandt unter gleichzeitiger Registrierung der Elektrogramme. Bei 1 erhielten die Vorhöfe einen Induktionsreiz, worauf eine Extrasystole der Vorhöfe (E) entstand. Hiernach erreichte die Erregung die Kammer am Ende des T-Ausschlages; es folgte eine verfrühte Kammersystole. Bei 2 wurden die Vorhöfe aufs neue zu einer Extrasystole ($\bar{E}$) angeregt. Die Erregung erreichte danach die Kammer viel früher, und zwar oben in der absteigenden Linie des T-Ausschlages. Danach trat Kammerflimmern

Abb. 3.

Abb. 3 a.

ein¹⁾. Das Tempo der Vorhofsystolen blieb nach der kompensatorischen Pause der Vorhöfe unverändert. Nach dem Kammerflimmern folgte eine sehr lange postundulatorische Pause. Infolgedessen ist die nächstfolgende Kammersystole **stark** vergrößert und verbreitert. Während dieser stark verbreiterten Kammersystole erreicht der erstfolgende Sinusimpuls (nach der Vorhofsystole, die durch ein A angedeutet ist) die Kammer bereits oben in der absteigenden

Linie des T-Ausschlages. Ebenso wie nach 2 entsteht ein ziemlich lange dauerndes Flimmern; jedoch diesmal, **ohne daß** eine Extrasystole der Vorhöfe unmittelbar vorhergeht. Während des Kammerflimmerns pulsieren die Vorhöfe ungestört weiter. Wir haben hier also ein Beispiel von Kammerflimmern vor uns, das unter dem

zu beantworten, ob diese Verkürzung auch um so stärker ist, je früher die Vorhofextrasystole hervorgerufen wird. Dieselbe Erklärung, welche Wenckebach (Königl. Akademie der Wissenschaften zu Amsterdam, Proceedings of the Meeting of Saturday Dec. 27, 1902) dafür gegeben hat bei den Säugetieren, kann auch hier gelten.

¹⁾ Die postkompensatorische Systole ist stark verbreitert. Daher erreicht die Erregung nach 2, obwohl der Reiz den Vorhöfen in einem späteren Zeitpunkt der Kammerperiode verabfolgt wurde, die Kammer viel früher als nach 1. — Siehe auch Fußnote 1 Seite 71.

Einfluß eines periodischen Sinusimpulses entstanden ist. Dieses Kammerflimmern konnte somit darum eintreten, weil eine Kammersystole stark verbreitert war, so daß der nächstfolgende Sinusimpuls die Kammer in einem Momente traf, in welchem die Restauration der Kammer noch mangelhaft war. Nach diesem Kammerflimmern folgt nun eine kürzere postundulatorische Pause¹⁾. Die derselben folgende Kammersystole ist daher weniger verbreitert als die vorige. Aus diesem Grunde erreicht darauf der periodische Sinusimpuls die Kammer etwas später, so daß noch gerade eine kleine Systole der Kammer folgen kann²⁾.

Das Entstehen des Kammerflimmerns in dem hier vorliegenden Falle nötigt uns, die vorhin von mir aufgestellte Theorie über das Entstehen von Vorhof- oder Kammerflimmern beim Menschen zu erweitern. Wie ich darlegte, können wir uns denken, daß bei einer plötzlichen Herzbeschleunigung ein periodischer Impuls die Vorhöfe oder die Kammer in einem Augenblicke trifft, wo die Restauration der betreffenden Herzabteilung noch schlecht ist. Dann kann Flimmern entstehen. Indessen können wir uns nach der in Abb. 3 wiedergegebenen Aufnahme das Entstehen von Vorhof- oder Kammerflimmern beim Menschen auch noch anders denken. Wenn aus einem oder dem andern Grunde eine lange Vorhof- oder Kammerpause entsteht, kann die nächstfolgende Vorhof- oder Kammersystole (ebenso wie in Abb. 3) derart verbreitert sein, daß danach der periodische Impuls die Vorhöfe oder die Kammer in einem Augenblicke erreicht, in welchem diese noch schlecht restauriert ist. Auch dann kann Flimmern der betreffenden Herzabteilung eintreten.

Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

1. Wenn nach einer Extrasystole der Vorhöfe die Erregung die Kammer erreicht, entsteht eine Kammersystole, die verkleinert ist; die Reizleitung durch die Kammer ist während solch einer vorzeitigen Kammersystole verzögert. Die Abnahme der Contractilität und die Verzögerung der Reizleitung durch die Kammer kommen um so stärker zum Ausdruck, je verfrühter die Kammersystole ist. Wenn dann die Erregung die Kammer direkt nach Ablauf des Refraktärstadiums trifft, kann Kammerflimmern entstehen.

¹⁾ Über die Dauer der postundulatorischen Pause siehe vorige Mitteilung in diesem Archiv. l. c.

²⁾ Der T-Ausschlag der stark verfrühten Kammersystole ist negativ. Nach 1 war die Kammersystole viel weniger verfrüht, so daß hier der T-Ausschlag positiv geblieben war, wohl aber verkleinert.

2. Während des Flimmerns der Kammer können die Vorhöfe ungestört weiter pulsieren. Auch kann das regelmäßige Tempo der Vorhofschläge durch Extrasystolen gestört werden, welche unter dem Einflusse von Erregungen entstehen, die von der flimmernden Kammer an durch retrograde Reizleitung die Vorhöfe erreichen.

3. Kammerflimmern beim Froschherzen kann entstehen unter dem Einflusse eines periodischen Sinusimpulses, der die Kammer nach einer verbreiterten Kammersystole direkt nach Ablauf des Refraktärstadiums erreicht.

4. Die Theorie über das Entstehen von Vorhof- oder Kammerflimmern beim Menschen, die im vorigen Jahre aufgestellt ward, wurde weiter ausgedehnt.