

INSTITUT FÜR FILM UND BILD IN WISSENSCHAFT UND UNTERRICHT
ARCHIVFILM B 452/1950

**Kreislaufstudien
an Herz und großen Arterien
(Tierversuche)**

Von Prof. Dr. W. BÖHME

Göttingen 1952

Druck: Hubert & Co., Göttingen

Kreislaufstudien an Herz und großen Arterien (Tierversuche)

Von Prof. Dr. W. BÖHME

Mit Zeitdehneraufnahmen vom Röntgenbild werden in Versuchen an Katzen neben Gestaltveränderungen der Herzhöhlen speziell die Blutbewegungen in der Aorta und größeren Arterien sichtbar gemacht. Diese werden ergänzt durch die Blutbewegungen innerhalb des Herzens und in Vergleich gesetzt mit denen in den großen herznahen Venen.

Die Schmalfilmkopie (16 mm-Stummfilm) hat eine Länge von 44 m entsprechend 5 Minuten Vorfuhrdauer bei einer Vorfuhrgeschwindigkeit von 20 B/s.

I. Allgemeine Vorbemerkungen

Der Film entstammt kinematographischen und durchleuchtungs-mäßigen Röntgenuntersuchungen, die bereits längere Zeit vor dem Kriege begonnen wurden. Diese Untersuchungen hatten das Ziel, die Beziehung zwischen Zu- und Abstrom des Blutes in Verbindung mit der Funktion des Herzens zu erkennen¹⁾.

Ursprünglich waren die Filmstreifen mit Hilfe einer normalen Diagnostik-apparatur, einer 16 mm-Schmalfilmkamera (NIEZOLDI & KRÄMER) und einem ZEISS-Biotar 1:0.85 aufgenommen worden. Später wurden mit Unterstützung der ehemaligen Reichsanstalt für Film und Bild die Versuche mit Hilfe einer serienmäßigen ASKANIA-Z-Kamera und einer Optik 1:1.4 aufgenommen. Als Röhre diente eine 50 kW-Pantix der Firma SIEMENS, als Stromquelle ein Vier-Ventilapparat mit Kondensatorzusatz.

Früher war die Blutbewegung in der Aorta untersucht worden, nachdem ein dünner Ureterenkatheter durch die rechte Arteria carotis einer narkotisierten Katze bis in den Arcus Aortae

¹⁾ Weitere Ergebnisse enthält der Film „Kreislaufstudien an Herz und großen Venen“. In dem zugehörigen Begleittext findet sich eine ausführliche Behandlung der Probleme (mit Literaturzusammenstellung). Dort werden auch die beiden Methoden des Verfassers zur Darstellung der Herzzäume und der Blutbewegung („Kontrastblut“ und „schwimmende Marken“) sowie technische Einzelheiten, Aufnahmeanordnung usw. erläutert (siehe [1]; Literaturverzeichnis am Ende des Textes).

eingeschoben wurde, außerdem die Blutbewegung in den Bein-Arterien¹⁾, indem Jodöl, von der Arteria hypogastrica des Hundes aus, in die Femoralarterien infundiert wurde. Auch dabei hatte sich bereits eine intermittierende Blutbewegung ergeben. Die Tropfen blieben jeweils am Ende der systolischen Vorwärtsbewegung stehen, auch zu Beginn der Versuche, wenn die Peripherie noch nicht irgendwie verlegt sein konnte. Es erfolgte häufig ein doppelter kurzer Rückstoß und im zweiten Teil der Diastole eine langsame, geringfügige Weiterbewegung. Dies entsprach Tachogrammen von Hundearterien.

In der Aorta verlief der Vorgang analog: Während der Diastole war im Arcus Aortae an der Ausmündung des Katheters keine Vorwärtsbewegung des unter geringem Druck austretenden Jodöls sichtbar gewesen. Dadurch wurde es möglich, daß sich ein beliebig großer Tropfen bildete, der das Kaliber der Aorta etwa ausfüllte, und der dann bei der darauffolgenden Systole des Herzens von der hinter ihm befindlichen Blutmenge wie ein Geschöß im Lauf vorwärtsgetrieben wurde. Da die Tiere außerdem horizontal auf der Seite lagen, war das spezifische Gewicht des Jodöls gegenüber Blut kaum von Bedeutung, es sei denn bei größerem Gefäßkaliber, kleineren Tropfen und schrägem oder senkrechtem Gefäßverlauf. Die Tropfen wurden zu Beginn der Systole vom Katheter abgerissen und bis weit unter das Zwerchfell befördert, wo sie postsystolisch stoppten.

Auch die Vorgänge bei zunehmender Stauung im Kreislauf und Er-lahmung des Herzens wurden bereits damals studiert. Man erkannte, daß der Punkt, wo der Tropfen postsystolisch zum Stillstand kommt, nach und nach weiter aufwärts rückt, bis in den Thorax hinein. Auch wurde darauf hingewiesen, daß auf diese Weise am geschlossenen Thorax und im uneröffneten Gefäß die Geschwin-digkeit des Aortenblutes und annähernd auch die bei jeder Systole in ihr beförderte Blutmenge quantitativ bestimmt und kurven-mäßig ausgewertet werden kann. Diese Methode hat den Vorteil, daß für Messungen der Ausgangspunkt der Bewegungen der „schwimmenden Marken“ konstant bleibt, und daß der Brustkorb sowie das Gefäß in dem zu untersuchenden Bereich nicht verletzt bzw. geöffnet zu werden brauchen.

¹⁾ Zusammen mit R. MAATZ.

Später, während des Krieges, wurde vergleichsweise auch eine andere Möglichkeit erprobt, um Jodöl in den großen Kreislauf zu bringen, und zwar von den Lungenvenen her, in die eine kleine Kanüle eingebunden wurde. Das Verfahren hatte den Nachteil, daß der Brustkorb dabei nicht geschlossen bleiben konnte und die intrathorakalen Druckverhältnisse grundlegend geändert wurden. Dies ist allerdings bei der Arterienblutbewegung nicht so schwerwiegend wie beim venösen Rückstrom. Eine Einbringung von Kontrastmitteln in das Herz selbst, etwa durch Anstechen des Herzohres oder der Kammer mit dicker Kanüle, wurde als zu eingreifend für die Funktionen des Herzens angesehen und unterlassen.

Es erschien zunächst verwunderlich, daß die viel zitierte „Windkesselwirkung“, die von den elastischen Arterienwänden auf das Arterienblut ausgeübt wird, in den zentralen Arterien verhältnismäßig gering ist. Das heißt, daß nach jeder Diastole die Blutmenge in den großen Arterien von neuem beschleunigt werden muß, während man bisher geneigt war anzunehmen, daß dies nicht nötig sei und auf diese Weise das Herz durch die großen Arterien weitgehend entlastet würde.

Es ist nötig sich vor Augen zu halten, daß das arterielle Gefäßsystem einen völlig anderen Mechanismus darstellt als etwa eine technische Rohrleitung mit aufgesetztem starren aber lufthaltigen „Windkessel“. Hier am Gefäßsystem kann die Windkesselwirkung nur durch Summation hintereinander geschalteter elastischer Elemente entstehen, die ohne kompressibles Medium direkt auf die inkompressible Flüssigkeit wirken. Außerdem sinkt der Druck nicht wie beim Verlassen einer offenen Rohrleitung auf Null ab, sondern das Blut bleibt in einem in sich geschlossenen Gefäßsystem mit erheblichem inneren Widerstand, wo der Druck nur um einen Bruchteil des Ausgangswertes nach Ausklingen der Druckpumpenwirkung absinken kann, d. h. auf den diastolischen Blutdruck.

Ob eine Änderung der Vorstellung über die Blutbewegung in den zentralen Arterien auch eine Änderung der Ansicht über die Blutbewegung am Bestimmungsort haben muß, nämlich in der Peripherie, wo der Stoffwechsel stattfindet, mag dahingestellt bleiben. Da die Beschleunigung einer Flüssigkeit weniger Arbeit erfordert als eine Druckerhöhung, so braucht auch die Mehrbelastung des Herzens auf Grund des Fehlens der Windkesselwirkung in den

zentralen Arterien nicht sehr erheblich zu sein. Vermutlich ist die Mehrbelastung bei erhöhtem Blutdruck und vermehrtem Gefäßinhalt, die infolge vermehrter Starre und Weite des Gefäßrohres beim alternden Organismus eintritt, wesentlich größer. Immerhin wären hier weitere vergleichende Untersuchungen mit Druck- und Volumenmessungen am Modell erwünscht, um die Rolle der sogenannten Windkesselwirkung quantitativ zu bestimmen.

Die Grundlagen zu den vorliegenden Untersuchungen wurden in der Röntgenabteilung der Medizinischen Universitätsklinik Rostock (Dir.: Prof. Dr. H. CURSCHMANN †) erarbeitet. Die weitere Bearbeitung erfolgte in der ehemaligen Reichsanstalt für Film und Bild, Berlin. Leider ist das gesamte Negativmaterial durch Kriegseinwirkung verloren gegangen. Der Film mußte deshalb aus Restmaterial gebrauchter Kopien zusammengestellt werden, woraus sich die technischen Mängel erklären.

II. Erläuterungen zum Film

*Blutbewegung in den großen Arterien und Venen*¹⁾

Es wird ein dünner Katheter durch die rechte A. carotis bis an die Einmündung im Arcus Aortae eingebracht und eine Kanüle in die rechte V. axillaris eingebunden. Auf diese Weise ist es möglich, den Zu- und Abstrom des Blutes in der oberen Hohlvene und in der Aorta gleichzeitig sichtbar zu machen, und zwar mit und ohne Kontrastblut. Der besseren Übersicht wegen wurde hier vorher ein mäßig intensives Kontrastblut hergestellt, das die Blutbewegung, wie wiederholte Versuche ergaben, nicht nennenswert beeinflusst.

Man erkennt den während der Ventrikeldiastole aus der Kathetermündung in den Arcus Aortae austretenden Jodöltropfen, der sich vom Ende des Katheters nicht entfernt. Im Moment des Beginns der Systole wird er mit großer Vehemenz weggerissen. Darauf tritt in der nächsten Diastole ein neuer Tropfen langsam hervor und bleibt bis zur nächsten Systole im Arcus bzw. im Anfangsteil der Aorta descendens liegen. Eine deutliche „Windkesselwirkung“, die eine diastolische Weiterbewegung des Blutes während der Diastole verursacht, ist also in diesem Bereich der Aorta noch nicht zu verzeichnen (WELTZ).

Verschiebt man das Tier unter dem Leuchtschirm soweit nach oben, daß die Gegend unterhalb des Zwerchfells bzw. das Abdomen im

¹⁾ Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

Bildfeld erscheint, so erkennt man, daß die Jodöltropfen etwa in der Mitte der Bauchaorta erstmalig zum Stillstand kommen. Man erkennt auch hier — durch häufige Durchleuchtungen immer wieder bestätigt — den bereits früher in den Lungenarterien und auch den Beinarterien und in der Aorta nachgewiesenen postsystolischen Stop. Meist treten im Anschluß daran zwei kurze Pendelbewegungen auf, entsprechend dem zweimaligen kurzen Negativwerden der Arterientachogramme, und anschließend etwa ab Mitte der Herzpause eine sehr langsame und wenig weitreichende diastolische Weiterbewegung. Die diastolische Vorwärtsbewegung wird schließlich deutlicher, je weiter peripherwärts das betreffende Gefäßstück liegt.

Bei gleichzeitiger Injektion von Jodöltropfen in die V. axillaris kann man erkennen, daß die Blutbewegungen im zentralen arteriellen und venösen Gebiet einander weitgehend ähnlich sind. Auf beiden Seiten ist der postsystolische Stop, teilweise mit Rückstoß und starkem Zurücktreten der diastolischen Bewegung vorhanden.

Füllung von der Lungenvene her

Zur Darstellung der Blutbewegung in der Strecke, die bei der ursprünglichen Methode nicht erfaßt werden konnte, nämlich in der Aorta ascendens, wurde eine dünne Kanüle in eine Lungenvene eingebunden. Um hierbei so schonend wie möglich vorzugehen, wurde lediglich ein kleines Thoraxfenster von knapp 1 cm² Größe hergestellt, die Lunge vorgelagert, eine Lungenvene freigelegt und die Kanüle eingebunden. Anschließend wurde die Luft aus dem entstandenen Pneumothorax abgesogen und die Öffnung der Brustwand so gut wie möglich verschlossen.

Bereits 1936 hatte WELTZ [2] dargelegt, weshalb es in der Aorta ascendens keine Windkesselwirkung geben könne, und zwar auf Grund kymographischer Analysen von Pulsationen an den Randkonturen der menschlichen Aorta. TIMM [3] hat dieses mit der Methode der „schwimmenden Marken“ an Katzen oder Hunden bestätigt.

Im vorliegenden Filmstreifen erkennt man folgendes: Kleinere Tröpfchen von Jodöl treten im linken Ventrikel auf. Auch in den Lungenvenen ist zu erkennen (hier wegen der zum Leuchtschirm

nicht parallelen Lage des Gefäßes nur undeutlich). daß in den Lungenvenen die zentripetale Bewegung, wie in der oberen Hohlvene, synchron mit der Ventrikelsystole erfolgt¹⁾. Im linken Vorhof und linken Ventrikel sind Wirbelbildungen beim Einstrom erkennbar. Im Moment der Anspannung und während der Austreibung hört die Wirbelbildung auf. Die Tröpfchen ordnen sich kolonnenartig an und verschieben sich parallel zueinander durch die Ausflußbahn des Ventrikels zur Aorta hin. Während der Ventrikeldiastole erkennt man in der Aorta ascendens meist einen kurzen Rückstoß in Richtung auf die geschlossene Klappe zu Beginn der Diastole und dann einen Stillstand (WELTZ, TIMM).

Von der Scheitelhöhe des Arcus an verlaufen die Vorgänge wie bereits oben beschrieben: In Richtung auf die Peripherie tritt eine allmählich mehr und mehr sichtbar werdende diastolische Vorwärtsbewegung auf, die aber gegenüber der systolischen, was Geschwindigkeit und Ausmaß anbelangt, stets erheblich zurückbleibt. Je kleiner und peripherer das Gefäß ist, um so deutlicher wird sie.

In der eigentlichen Peripherie, wo die Gefäße sehr klein werden und in den verschiedensten Richtungen verlaufen, konnten die Vorgänge bisher mit Hilfe der Röntgenkinematographie noch nicht untersucht werden. Es ist jedoch anzunehmen, daß sich hier, wenn es gelänge, die Vorgänge zu filmen, ein mehr kontinuierlicher Blutstrom ergeben wird, wie dies bei mikroskopischen Untersuchungen an kleineren Arteriolen bereits sichtbar wurde.

Blutbewegung in der Aorta thoracalis bei geschädigtem Herzen

Die gleiche Art der Injektion wie oben. Man erkennt eine etwas deutlichere Bewegung während der Diastole in der Brusttaorta bei einem narkosegeschädigten Tier, das eine Überdosis Cardiazol erhalten hatte. Die diastolische Füllung des Herzens ist hier geringer als normal. Die systolischen Kontraktionen sind sehr stark und langdauernd. Die Förderung des Aortenblutes während der Systole ist verringert, die diastolische Vorwärtsbewegung tritt stärker hervor als gewöhnlich.

Ähnliche Versuche wurden mehrfach wiederholt. Dabei wurde insbesondere immer wieder festgestellt, daß die systolische Förderung des Arterienblutes sich ganz ähnlich verhält wie die des Blutes

¹⁾ In [1] wird hierauf ausführlicher eingegangen.

in den herznahen Venen, bzw. daß die Bewegungsform im großen arteriellen und venösen Kreislauf in der Nähe des Herzens eine gewisse Parallelität aufweist. Diese Ähnlichkeit bleibt auch bestehen bei pathologischen Zuständen, wenn das Herz insuffizient wird. Die systolische Förderung des Venenblutes geht etwa um den gleichen Prozentsatz zurück wie die arterielle Förderung. Dies weist darauf hin, daß der Halsvenenpuls, der früher vor Einführung des EKG zu diagnostischen Zwecken mehr herangezogen wurde als heute, auch für die Beurteilung der dynamischen Leistung des Herzens eine klinische Bedeutung hat.

(Eingegangen am 20.1.50)

Literatur:

1. BÖHME, W., Kreislaufstudien an Herz und großen Venen (Tierversuche). Archivfilm B 451 des Instituts für Film und Bild, Göttingen, 1950. (Im Begleittext weitere Literaturangaben.)
2. STUMPF, Pl., WEBER u. G. A. WELTZ. Röntgenkymographische Bewegungslehre innerer Organe. G. Thieme, Leipzig, 1936.
3. TIMM, C., Die Blutbewegung in der Aorta. Pflüg. Arch. **249** (1947), S. 261

Die Herstellung des Films erfolgte in den Jahren 1942/43.

Bearbeitet und veröffentlicht durch das

Institut für Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht
Abteilung Hochschule und Forschung, Göttingen (Dir.: Dr.-Ing. G. WOLF)
Sachbearbeitung: Irene BOLLWEG