

(Aus der Chir. Universitätsklinik Bonn [Prof. Frh. v. Redwitz].)

Tierexperimentelle röntgenkinematographische Versuche über die Lungenembolie^{1 2}.

Von

Th. Naegeli und R. Janker.

Mit 4 Textabbildungen (8 Einzelbildern).

(Eingegangen am 8. VIII. 1931.)

In Fortsetzung gemeinsamer Versuche über Strömungsverhältnisse im großen Kreislauf haben wir die Methode der *röntgenkinematographischen* Untersuchung zur Klärung der Frage des Ablaufs der Lungenembolie und dessen Beeinflussung herangezogen.

Eine Reihe von Autoren hat in letzter Zeit experimentell dieses Problem bearbeitet. Besonders hervorzuheben sind mit Rücksicht auf die Untersuchungsmethodik die Arbeiten von *Martin*, der mit Hilfe von Serienaufnahmen den „Marschvorgang“ der Lungenembolie bei Hunden im Röntgenbild wiedergegeben hat.

Unsere Versuchsordnung hat jener Methode gegenüber den großen Vorteil, daß es sich um kinematographische Aufnahmen von durchschnittlich 14—16 Bildern in der Sekunde handelt. Wir haben unsere „Thrombenmasse“, wie *Martin*, aus Barium, Eisenchlorid und Kochsalz, nur in einer etwas anderen Zusammensetzung, hergestellt (Bar. sulf. pur. 10, Eisenchlorid 1, physiol. NaCl-lösung 5). Sie hatte eine breiartige Konsistenz und ließ sich unter mäßigem Druck durch eine dünne Kanüle in die Vene einspritzen. Die Versuche wurden größtenteils an Katzen ausgeführt. In Narkose wurde das Tier in Rückenlage aufgespannt, der „Thrombus“ in die gestaute V. fem. oder V. jug. eingespritzt. Durch Lösung einer oberhalb davon gelegenen federnden Klemme gelang es meist ohne weiteres, den Thrombus in Bewegung zu versetzen, wenn die Blutzirkulation aus der Peripherie nicht unterbrochen war. Bei Thromben in der V. cava inf. wurde u. U. durch leichte Massage des nicht-thrombosierten anderen Beines der Embolus gelöst.

¹ Auszugsweise vorgetragen bzw. vorgeführt in der Niederrh.-westfäl. Chirurgenvereinigung, Osnabrück, Juni 31.

² Die Versuche wurden mit Unterstützung der Gesellschaft der Freunde und Förderer der Rhein. Friedrich Wilhelm-Universität Bonn ausgeführt.

Bei Lufteinblasung haben sich z. T. dieselben, z. T. auch etwas andersartige Befunde ergeben. Durch Verschiebungsmöglichkeit des aufgebundenen Tieres war es uns möglich, jederzeit den gewünschten Körperteil vor dem Schirm einzustellen. Auch wir stellten wie *Martin* fest,

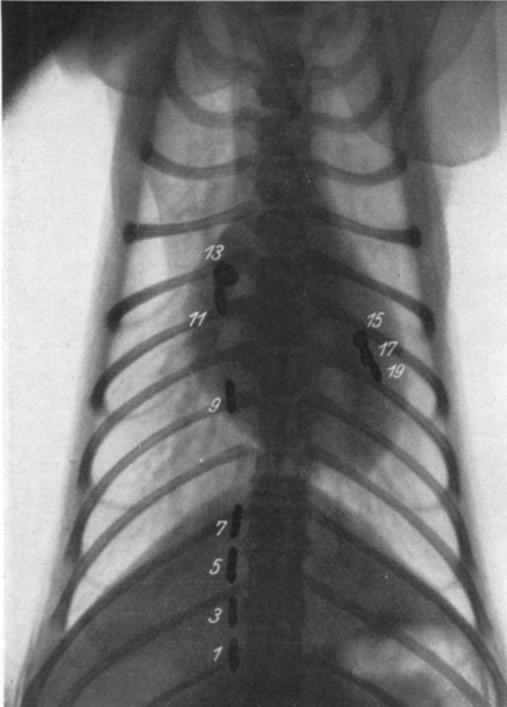


Abb. 1a. Einzelröntgenbild, in das die jeweilige Lage des Embolus bei jedem 2. Bild eines Filmstreifens eingezeichnet wurde. Die Bewegung oberhalb des Zwerchfells ist wesentlich schneller als unterhalb desselben (vgl. Abb. 3).

daß die Fortbewegung des losgelösten Embolus in verschiedener Weise erfolgt. Bei kleineren Pfröpfen aus der Femoralis geschah sie meist mit ziemlicher Schnelligkeit, die sich noch deutlich steigerte, nachdem der Embolus die Zwerchfellenge überschritten hatte (Abb. 1a und 3a). Die einzelnen Ziffern in den Abbildungen zeigen die verschiedenen Abstände, aus denen die verschieden schnelle Fortbewegung eindeutig ersichtlich ist. Bei größeren Emboli, vor allem der V. cava inf., war das Tempo der Bewegung meist etwas langsamer. Hier wurde häufiger konstatiert, daß der Embolus mehr oder weniger lange, manchmal überhaupt dauernd bei geschwächten Tieren kurz ante exitum)

unter dem Zwerchfell verweilte. Hier und da bröckelten kleine Teile von ihm ab, um dann meist mit ziemlicher Schnelligkeit ins rechte Herz zu fahren.

Ferner ließ sich zeigen, daß der Embolus nicht immer gleichmäßig sich bewegte, sondern zwischendurch kurze Zeit verweilte und manchmal etwas zurückwanderte. Diese letzteren Bewegungen erfolgten synchron mit der Herzaktion. Wir sahen häufiger die Spitze über die Zwerchfellenge sich zuspitzen, sich dann zurückziehen und wieder abrunden, und stellten fest, daß die Form oberhalb des Zwerchfells schlanker wie

unterhalb des Zwerchfells ist (Abb. 2). Stets ändert sich die Schnelligkeit der Bewegung, wenn der Embolus in den Thorax eintritt. Er fliegt dann mit einer mehrfach höheren Geschwindigkeit direkt ins Herz und zeigt

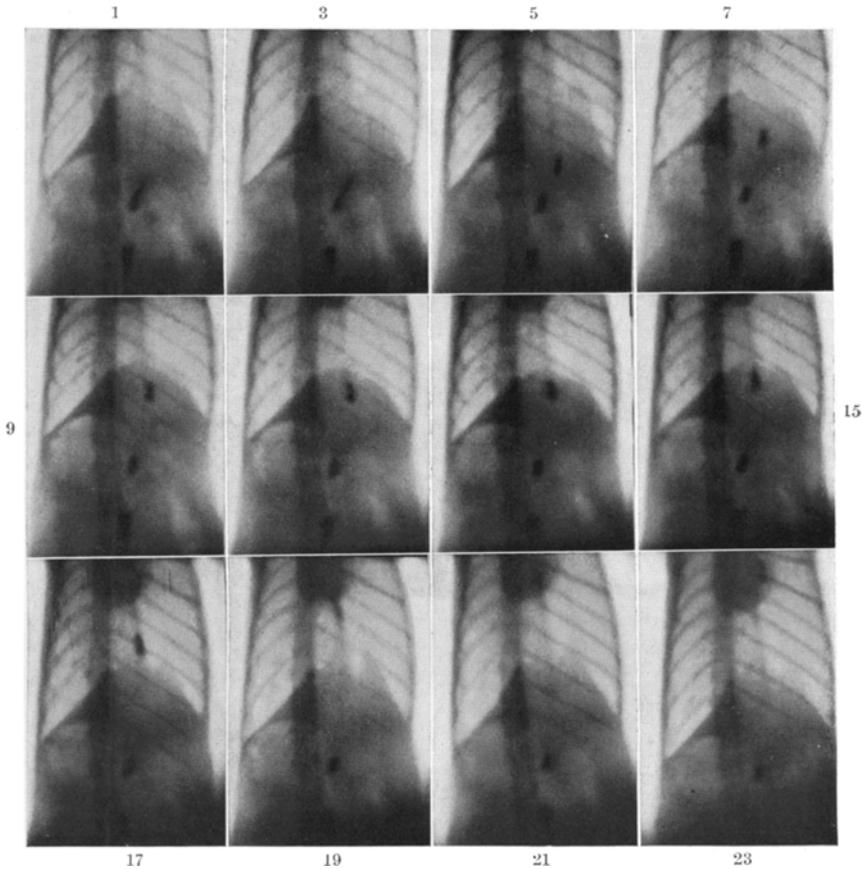


Abb. 1b. Es wurde aus einem Filmstreifen jedes 2. Bild entnommen. In Bild 1 hat sich von einem Embolus in der Cava inf. ein Teil losgelöst; er wandert fortschreitend zur Zwerchfellenge (bis Bild 15), gelangt dann (bis Bild 19) bis zum Herzen und schließlich in das Herz selbst (Bild, 21, 23).

keine der oben erwähnten Änderungen in der Bewegung¹. Im Herzen drin rollten sich die größeren Emboli auf, sofern sie nicht irgendwo festgehalten wurden.

¹ Dieser Befund deckt sich mit den Untersuchungsergebnissen von *Nissen* und *Wustmann*, die feststellten, daß der Rückfluß des Cavablutes im supra-diaphragmalen Teil durch Verkürzen des Gefäßes gefördert wird.

Der Ablauf der Bewegung im Herzen war verschieden. Kleinere Emboli konnten z. T. direkt Vorhof und Kammer durchheilen, um in eines der Pulmonalgefäße geworfen zu werden; andere wiederum wurden zu wiederholten Malen im Vorhof herumgewirbelt, wobei sie z. T. zerbröckelten und in einzelnen kleineren Stückchen in die Lungengefäße gelangten. In anderen Fällen blieb der Embolus in einer der beiden Herzhöhlen haften und flottierte, vom Blutstrom dauernd umspült, in diesem herum.

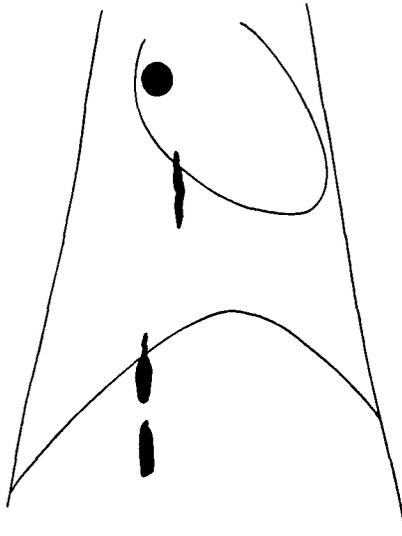


Abb. 2. Der längliche, gleichmäßig dicke Embolus wird wie unter einer saugenden Wirkung ganz spitz geformt, wenn er teilweise über das Zwerchfell emporragt. Auf dem Weg vom Zwerchfell bis ins Herz ist er schmal und langgezogen. Im Herzen nimmt er dann runde Gestalt an.

Von besonderer Bedeutung ist es, daß wir mit unserer Methode die *retrograde Embolie* im Bild festhalten konnten. Wir stellten bei einigen unserer Versuche fest, daß kleinere und mittelgroße Emboli, meist wohl bei schon überdehntem Herzen und daher insuffizienten Klappen, vom rechten Vorhof aus wieder zurück in die Cava inf., ja in eine der Lebervenen geschleudert wurden. Z. T. blieben sie dort haften; z. T. wurden sie aber wieder ins Herz geworfen. Auch in der Aorta thoracalis sahen wir nach Einspritzung von Kontrastflüssigkeit mit etwas Luft ins linke Herz eine große Luftblase sich zwischen- durch rückläufig bewegen.

Auch wir haben eine Bevorzugung der Gefäße der Unterlappen gefunden, in Übereinstimmung mit *Martin* nicht so, daß von der rechten

Seite her die rechte Lunge, bzw. von der linken Seite die linke Lunge bevorzugt worden wäre. Bei einzelnen Embolien von der Jugularis aus erfolgte gleichfalls die Embolie hauptsächlich in die Unterlappen.

Bei einigen Tieren wurde kurz ante exitum das Herz mechanisch gereizt, dadurch, daß wir eine Nadel in den rechten Ventrikel einstießen. Fast immer setzten danach Herztätigkeit und Atmung von neuem nochmals lebhafter ein. An Stelle des Herzflimmerns traten einige kräftige Kontraktionen, und gleichzeitig damit machte das Tier mehrere tiefe Atemzüge, wobei auch hier und da Fortbewegung festsitzender Emboli erfolgte.

Der Versuch der Herzentlastung durch Punktion des überdehnten rechten Ventrikels der im Experiment bei der Luftembolie mit Erfolg ausgeführt wurde (*Jehn und Naegeli*), gelang uns bisher bei unseren Versuchen nicht.

Nachdem wir uns über den normalen Ablauf der Embolie an Hand zahlreicher Versuche ein Bild verschafft hatten, gingen wir dazu über, den „Marschvorgang“ zu beeinflussen. Wir versuchten dies einmal durch Lähmung des rechten Zwerchfells nach Leitungsunterbrechung des Phrenicus am Hals mit Novocain. Bekanntermaßen übt das Zwerchfell auf die V. cava einen mechanischen Einfluß aus, womit die

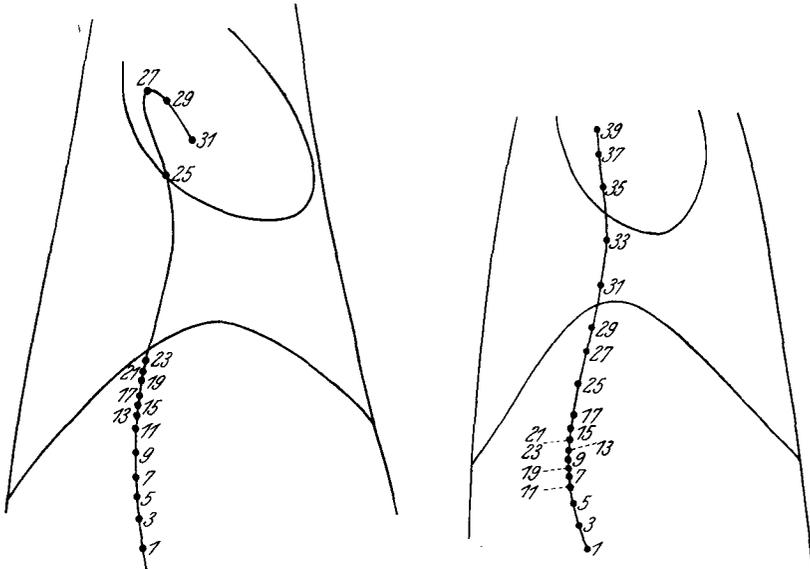


Abb. 3a.

Abb. 3b.

Abb. 3 a und b wurden so gewonnen, daß Bild für Bild eines Filmstreifens vergrößert projiziert und dann nachgezeichnet wurde. Die Zahlen mit den zugehörigen Punkten stellen die jeweilige Lage des Embolus bei jedem 2. Bild dar. Der ganze vom Embolus zurückgelegte Weg in Abb. 3a verteilt sich auf 31 Bilder (rund 2 Sek.). Der Unterschied in der Geschwindigkeit unterhalb und oberhalb des Zwerchfells läßt sich daraus ersehen, daß für den fast gleichlangen Weg bei gleicher Filmgeschwindigkeit das eine Mal 23, das andere Mal nur 2 Bilder gewonnen wurden. Zwischen Zwerchfell und Herz ist also die Geschwindigkeit *erheblich* größer (sie beträgt rund das Zehnfache). In Abb. 3b ist ohne weiteres ersichtlich, wie *unter Überdruck* die Marschbewegung im allgemeinen wesentlich verlangsamt ist. Unter dem Zwerchfell gleitet der Embolus zunächst einige Male hin und her; dann erst wandert er ziemlich gleichmäßig fortschreitend in das Herz. Den Unterschied in der ganzen Art der Bewegung ersieht man aus Vergleich von Abb. 3a und Abb. 3b.

Blutbewegung nach dem Herzen unterstützt wird. Beim Wegfall derselben wäre eine Verzögerung des Ablaufs denkbar¹. Dann versuchten wir durch Anwendung des Überdruckapparates, der nach allgemeinen Erfahrungen zu einer Drucksteigerung im rechten Herzen und im Pulmonalisgebiet führt, die Emboli zu „hemmen“. Bei der Prophylaxe der operativen

¹ Sie ist von *Nissen* und *Wustmann* im Experiment mit etwas anderer Versuchstechnik nachgewiesen worden.

Luftembolie wird bekanntlich die Überdruckatmung nach *Sauerbruch* auch praktisch angewandt. Während unsere bisherigen Resultate mit der Phrenicuslähmung uns kein einheitliches Bild gaben, jedenfalls den Schluß nicht gestatteten, daß damit der Ablauf der Embolie in typischer Weise beeinflußt würde, haben uns die Experimente unter Anwendung des Überdrucks deutlich positive Resultate ergeben (Abb. 3a und b). Wir haben des öfteren feststellen können, daß unter Einfluß des Überdrucks (7 cm H₂O) die Emboli sich nicht weiter über das Zwerchfell hinaus fortbewegen, daß aber kurz nach Weglassen des Überdrucks schlagartig kleinere oder größere Teilchen sich von den unter dem Zwerchfell gelegenen Pfröpfen lösen, um ins Herz bzw. die Lunge zu fahren.

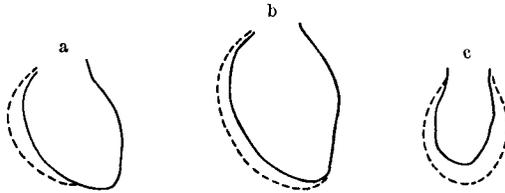


Abb. 4a und b. Erweiterung des r. Herzens nach Embolie (ausgezeichnet: — Herzgröße vor, gestrichelt - - - - Herzgröße nach Embolie).

Abb. 4c. Allseitige Herzerweiterung bei Erstickung mit CO₂ (ausgezeichnet: — Herzgröße vor, gestrichelt - - - - Herzgröße nach Erstickung).

Auch der ganze Marschvorgang von Emboli, die sich fortbewegten, war deutlich ein anderer (Abb. 3b).

Demnach bildet — wenigstens im Experiment — die Anwendung der Überdruckatmung während des Ablaufs einer Embolie einen gewissen Schutz gegen die Weiterverschleppung in den thorakalen Teil der Cava bzw. in das Herz oder die Lunge. Wieweit diese im Experiment gemachten Erfahrungen sich auch praktisch ausnutzen lassen, können wir heute noch nicht entscheiden.

Daß es nach einer Lungenembolie zu einer meßbaren Herzvergrößerung kommt, ist schon lange bekannt (*Jehn*). Auch wir hatten sie immer wieder feststellen können. Mit Rücksicht auf die Todesursache bei der Lungenembolie ist es nun von Bedeutung, daß die Vergrößerung nur die rechte Herzhälfte betrifft, während bei der Erstickung und gewissen Druckänderungen im Thorax das ganze Herz sich verbreitert (Abb. 4).

Zusammenfassung.

Der Marschvorgang der Emboli wird oberhalb des Zwerchfells wesentlich rascher. Dabei ändert sich meistens auch die Form der Emboli. Emboli können „unterwegs“ abbröckeln. Im Herzen erfolgt häufig

eine Zertrümmerung. Emboli können mitunter längere Zeit unterhalb des Zwerchfells sitzen bleiben. Sie werden hier und da aus dem Herzen wieder in die V. cava (u. U. V. hepatica) zurückgeworfen (*retrograde Embolie*). Die Verschleppung der Emboli — auch von der oberen Thoraxhälfte aus — erfolgt meist in einen der Unterlappen. Überdruckatmung beeinflusst den Ablauf der Embolie deutlich im Sinne einer Verlangsamung bzw. der völligen Hemmung.

Die Lungenembolie führt zu einer erheblichen Herzerweiterung, die sich auf das rechte Herz beschränkt.

Jehn u. Naegeli: Z. exper. Med. 6. — Martin: Arch. klin. Chir. 155. — Naegeli u. Janker: Dtsch. Z. Chir. 232 (1931). — Nissen u. Wustmann: ebenda 203/204.