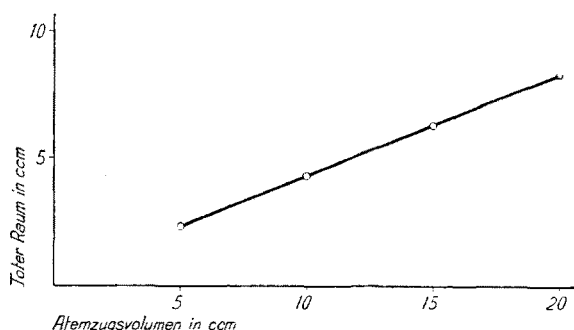


stimmt werden nach der Formel

$$x = 100 - \left(\frac{\%_0 \text{ CO}_2 \text{ in der Expirationsluft}}{\%_0 \text{ CO}_2 \text{ in der Alveolarluft}} \cdot 100 \right)$$

Dabei ist x die Größe des toten Raumes in Prozenten des Atemzugsvolumens. Die Hauptschwierigkeit bei Bestimmungen dieser Art ist die, «wahre» Alveolarluft erhalten zu können (vgl. dazu auch CORDIER¹). Wir haben deshalb eine spezielle Methode ausgearbeitet (isoliertes Lungenpräparat des Kaninchens²), die erstens erlaubt, wahre Alveolarluft zu entnehmen, und die zweitens in besonderem Maße geeignet ist, die Abhängigkeit des toten Raumes von verschiedenen Faktoren der Atmung einzeln zu studieren.

Mit dieser Methodik haben wir vorerst abgeklärt, wie beim Kaninchen der tote Raum vom Volumen des Atemzuges abhängig ist. Für den Menschen ist hierüber bereits bekannt³, daß mit zunehmendem Atemzugsvolumen auch der tote Raum zunimmt; die Angaben über



Toter Raum (Ordinate) und Atemzugsvolumen (Abszisse). Die Dauer der einzelnen Atemzüge beträgt 2 Sekunden; die Residualluft beträgt 30 cm³. Die Kurve stellt das Mittel aus den entsprechenden Kurven von 15 Kaninchen von etwa 2 kg Gewicht dar.

die absolute Größe des toten Raumes bewegen sich um 30% des einzelnen Atemzuges. In unseren Untersuchungen am Kaninchen zeigte sich nun, daß – von einer gewissen Atemzugsgröße an – zwischen dem toten Raum und dem Atemzugsvolumen eine auffallend lineare Beziehung besteht (s. Abbildung); dabei beträgt der tote Raum etwa 40% des Atemzugsvolumens.

Es soll nun weiter untersucht werden, wie der tote Raum von andern Faktoren der Atmung (wie Atemlage, Atmungstypus, Atemzugsdauer usw.) abhängig ist⁴.

K. TANNER und K. BUCHER

Pharmakologisches Institut der Universität Basel, den 14. April 1948.

Summary

A linear relationship was found for rabbits between the dead space and the volume of each inspiration.

¹ D. et G. CORDIER, XV^e Réunion des Physiologistes de langue française, Toulouse, 17–19 avril 1947.

² Erscheint ausführlich in *Helv. physiol. et pharmacol. acta*.

³ J. S. HALDANE, *Am. J. Physiol.* 38, 20 (1915). – Y. HENDERSON und H. W. HAGGARD, *Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem.* 130, 126 (1923). – H. ENGHOF, *Skand. Arch. Physiol.* 63, 15 (1932). – F. ROHRER, *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 162, 281, 292 (1915). – A. MONCRIEFF, *Lancet* 956 (1933/I).

⁴ Erscheint ausführlich in *Helv. physiol. et pharmacol. acta*.

Experimentelle Untersuchungen über eine röntgenkymographische Methode zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes

Es sind bisher folgende röntgenologische Methoden zur Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes beschrieben worden:

1. Visuelle Verfolgung des Kontrastmitteldurchflusses am Leuchtschirm und Messung der Durchflußzeit mit der Stoppuhr (FRANCK-ALWENS¹);

2. Serienaufnahmen mit bestimmtem Zeitintervall zwischen je zwei Aufnahmen (DOS SANTOS²);

3. Röntgenkinematographie (BOEHME³);

4. Röntgenkymographie, eine Methode, von deren Möglichkeit BOEHME schon 1937 sprach, ohne sie jedoch praktisch anzuwenden. 1946 berichtete dann ZEHNDER⁴ über die Kymographie der Hirngefäße, führte aber keine Geschwindigkeitsberechnung des Blutstromes durch. – Seit zweieinhalb Jahren beschäftigen wir uns eingehender mit der röntgenkymographischen Messung der Strömungsgeschwindigkeit von Flüssigkeiten, namentlich von Blut. Wir bezeichnen das Verfahren als «Strömungskymographie» und möchten mit diesem Ausdruck andeuten, daß die Bewegung einer strömenden Flüssigkeit mittels des Röntgenkymographen registriert wird. Die Bezeichnung «Vasokymographie» dagegen sollte für die röntgenkymographische Registrierung der im Pulsrhythmus erfolgenden Kaliberschwankungen der Gefäße reserviert bleiben.

Prinzipiell beruhen alle vier Methoden auf der Messung der Durchflußzeit eines Kontrastmittels durch einen bestimmten Gefäßabschnitt. Dabei wird angenommen, daß sich die Kontrastsubstanz mit der gleichen Geschwindigkeit fortbewegt wie das Blut selbst. Voraussetzung dazu wäre jedoch, daß sie gegenüber dem Blut und den Gefäßen absolut indifferent ist, und daß sie die gleichen physikalischen Eigenschaften wie das Blut besitzt. Unter den Handelspräparaten stehen dem idealen Kontrastmittel das *Vasoselectan* und das *Thorotrast* wohl am nächsten. Wie unsere Versuche ergeben haben, kann man bei annähernd horizontalem Gefäßverlauf trotz dem höheren spezifischen Gewicht und der höheren Viskosität des *Lipiodols* im Vergleich zum Blut die Jodöltropfenmethode anwenden, ohne einen großen Fehler zu begehen.

Unsere Versuchsanordnung ist folgendermaßen aufgebaut: Siemens-Universalgerät (Pantostat) horizontal gestellt, Röntgenröhre unter dem Tisch, Stumpfscher Kymograph über dem Tisch, zwischen Tischplatte und Kymograph die zu untersuchende Gefäßstrecke, bei unsern Modellversuchen ein Glasrohr oder ein Gummischlauch. Bei den Versuchen mit konstanter Strömung fließt die Flüssigkeit (Blut) aus einer erhöht aufgestellten Mariotteschen Flasche durch das Gefäß. Bei andern Versuchen erfolgt zur Erzielung einer pulsierenden, inkonstanten Strömung in einem bestimmten Rhythmus eine vorübergehende Drosselung des Flüssigkeitsstromes. Mit einer gewöhnlichen Injektionsspritze mit weitlumiger Nadel wird ein Tropfen *Lipiodol* vor dem Anfang der zu untersuchenden Gefäßstrecke in den zuführenden Gummischlauch injiziert. Zur gleichen Zeit erfolgt die Auflösung der Aufnahme, welche 2–3 (–4) Sekunden dauert. Die Aufnahmezeit bzw. die Ablaufzeit des Kymographen wird genau gemessen (Zeitrelais am Schalttisch des Röntgenapparates), da diese Größe zur Berechnung der Geschwindigkeit notwendig ist.

Die Versuche wurden sowohl mit stehendem Raster und bewegtem Film (= *Filmkymographie*, identisch mit der Bezeichnung «Stufenkymographie» nach STUMPF) als auch mit stehendem Film und bewegtem Raster (= *Rasterkymographie*) durchgeführt. Die Rasterkymographie ist infolge ihrer übersichtlicheren Darstellung der ana-

¹ O. FRANCK und W. ALWENS, *Münch. med. Wschr.* 950 (1910).

² R. DOS SANTOS, *Bull. Soc. nat. Chir. Paris* 59, 35 (1933).

³ W. BOEHME, *Fortschr. Röntgenstr.* 57, 59 (1937).

⁴ M. ZEHNDER, *Schweiz. med. Wschr.* 76, 29 (1946).

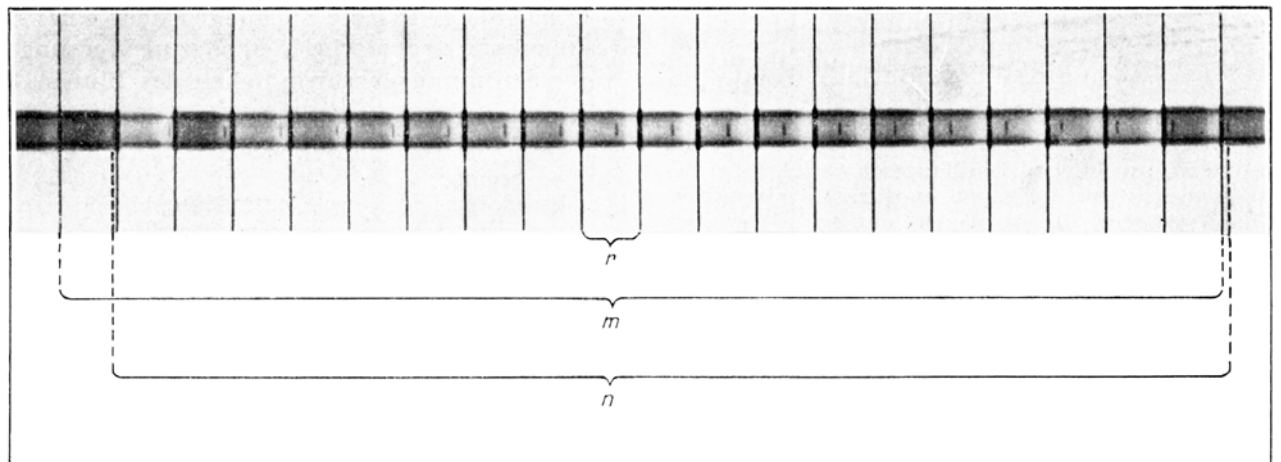


Abb. 1. Bedeutung der Symbole (r , m , n , T), erläutert am Beispiel der Filmkymographie: r Breite der Rasterbalken bzw. Distanz zwischen zwei benachbarten Nulllinien (= Trennungslinien zwischen je zwei Kymogrammfeldern); m auf dem Kymogramm meßbare Distanz zwischen zwei beliebigen Nulllinien; n auf dem Kymogramm meßbare Distanz zwischen den entsprechenden Schatten des Kontrastmittels; T Ablaufzeit des Kymographen.

tomischen Verhältnisse für die Aufnahme von Strömungskymogrammen besser geeignet.

Die Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit erfolgt bei der Filmkymographie nach der Formel:

$$v = \frac{r \cdot m}{(m - n) \cdot T},$$

bei der Rasterkymographie nach der Formel:

$$v = \frac{r \cdot n}{(n - m) \cdot T}.$$

Die Bedeutung der Symbole (r , m , n , T) ist aus Abb. 1 ersichtlich. Bezüglich der Ableitung der Formeln muß auf die demnächst erscheinende ausführliche Abhandlung verwiesen werden.

Abb. 1 zeigt einen Ausschnitt aus einem Strömungskymogramm. Bei diesem Versuch liegen der Geschwindigkeitsberechnung folgende Meßresultate zugrunde: $m = 24,65$ cm; $n = 23,60$ cm; $r = 1,25$ cm;

$T = 3,4$ sec. – Da es sich um eine Aufnahme nach der Technik der Filmkymographie handelt, so ist:

$$v = \frac{r \cdot m}{(m - n) \cdot T} = \frac{1,25 \cdot 24,65}{(24,65 - 23,60) \cdot 3,4} = 8,65 \text{ cm/sec.}$$

Die mitgeteilten Formeln haben nur dann Gültigkeit, wenn die untersuchte Gefäßstrecke in einer dem Kymographen parallelen Ebene und senkrecht zu den Rasterschlitten verläuft. Um auch bei allen andern möglichen Verlaufsrichtungen der Gefäße Geschwindigkeitsberechnungen durchführen zu können, haben wir die Formeln in entsprechender Weise weiterentwickelt. Dabei hat es sich gezeigt, daß nebst dem Strömungskymogramm eine seitliche Aufnahme des Gefäßes notwendig ist, um dessen Abweichungen vom horizontalen Verlauf mit dem Winkelmaß zu bestimmen. – In praxi wird dies eine Vasographie mit laterolateralem Strahlengang sein.

Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

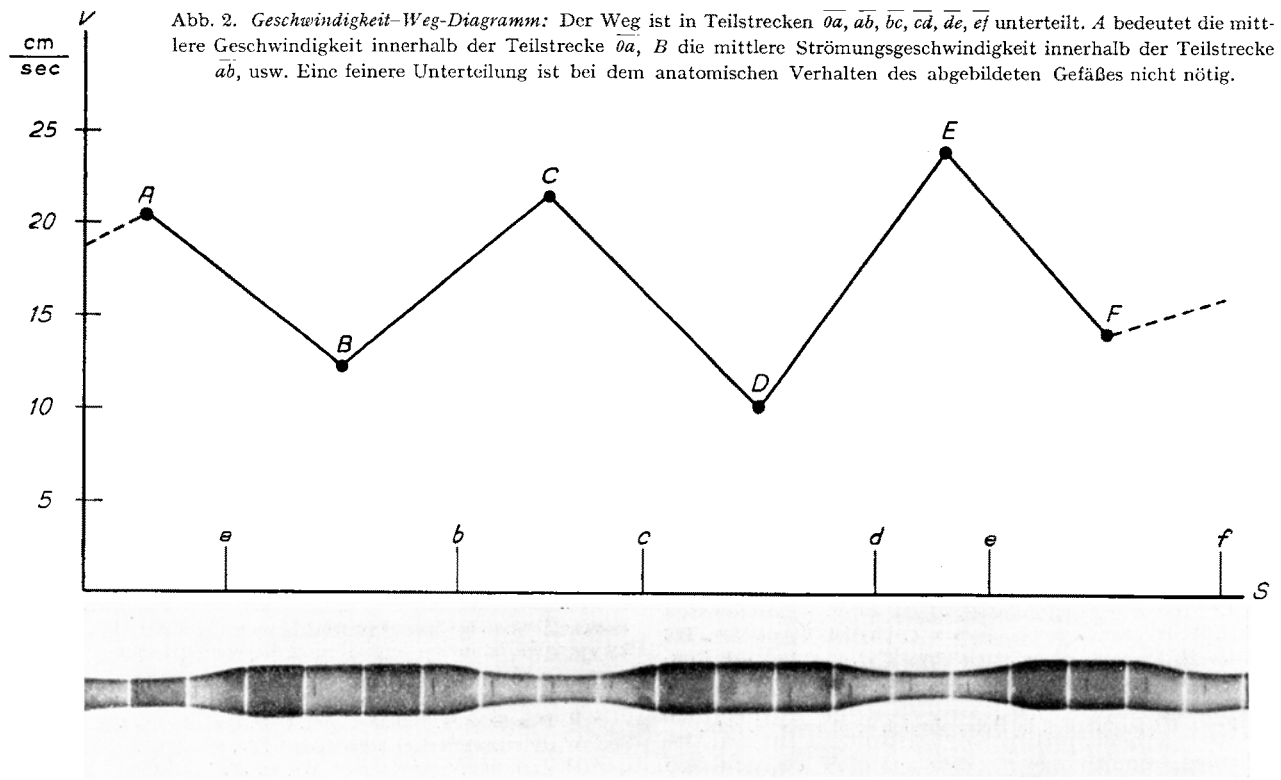


Abb. 2. Geschwindigkeit-Weg-Diagramm: Der Weg ist in Teilstrecken $\overline{0a}$, \overline{ab} , \overline{bc} , \overline{cd} , \overline{de} , \overline{ef} unterteilt. A bedeutet die mittlere Geschwindigkeit innerhalb der Teilstrecke $\overline{0a}$, B die mittlere Strömungsgeschwindigkeit innerhalb der Teilstrecke \overline{ab} , usw. Eine feinere Unterteilung ist bei dem anatomischen Verhalten des abgebildeten Gefäßes nicht nötig.

1. Die röntgenkymographisch festgestellte Strömungsgeschwindigkeit entspricht im wesentlichen der *wirklichen Strömungsgeschwindigkeit*, da nämlich die Resultate der vergleichenden Untersuchungen (Berechnung der mittleren Strömungsgeschwindigkeit aus dem Rohrquerschnitt und der Durchflußmenge pro sec) eine gute Übereinstimmung mit denjenigen der röntgenkymographischen Methode zeigten. Differenzen von einigen Prozenten sind noch als innerhalb der Fehlergrenze zu betrachten, da infolge der Verstärkerfolien keine absolut scharfe Begrenzung des Kontrastmittelschattens zustande kommt.

2. Da man theoretisch annehmen muß, daß oberhalb einer gewissen Geschwindigkeit infolge der Kürze der Verschattungsdauer kein genügender Kontrastmittelschatten mehr zustande kommt, so wurde versucht, die mittels Röntgenkymographie *meßbare Höchstgeschwindigkeit* des Flüssigkeitsstromes zu ermitteln. Dabei hat sich gezeigt, daß bei $v = 100$ cm/sec die exakte Ausmessung des Strömungskymogrammes durchaus noch gelingt.

3. Je kleiner der *Gefäßdurchmesser* ist, desto geringer ist auch die Dicke der Kontrastmittelschicht. Bei sehr kleinem Durchmesser ist somit eine ungenügende Schattendichte zu erwarten. Versuche mit verschiedenen weiten Gefäßen haben ergeben, daß bei einem Durchmesser von 1,13 mm selbst bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten noch ein genügender Schatten erzielt werden kann.

4. Da sich das Jodöl nicht mit dem Blute mischt, ergibt es einen scharf begrenzten, intensiven Röntgens Schatten und kann daher als ein für unsere Zwecke sehr brauchbares Kontrastmittel angesprochen werden. Andererseits aber muß gegen seine Anwendung am Menschen prinzipiell eingewendet werden, daß die Gefahr der Fettembolie bestehen könnte. Aus diesem Grund wurde die für eine Messung erforderliche *minimale Lipiodolmenge* bestimmt. Mittels einer Tuberkulinspritze konnten wir feststellen, daß 0,05–0,1 cm³ Lipiodol bei den höchsten gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten zur Erzielung eines genügenden Schattens ausreicht. Diese Dosis ist 20 mal kleiner als die von LEIBOVICI¹ zur Arteriographie verwendete «unschädliche Menge» von 1–2 cm³, welche auch von zahlreichen andern Autoren auf Grund ihrer Erfahrungen als völlig gefahrlos bezeichnet wird.

5. Die *Unterschiede der Strömungsgeschwindigkeit*, die in einem Rohr von ungleichmäßigem Querschnitt auftreten, können im Strömungskymogramm nachgerechnet werden. Abb. 2 zeigt das Strömungskymogramm eines solchen Versuches, der mit der Technik der Rasterkymographie durchgeführt worden ist. Die Geschwindigkeit (v) ist an sechs verschiedenen Stellen berechnet und als Ordinate in der graphischen Darstellung eingetragen, während der Weg (s) als Abszisse dargestellt ist. Bei Verwendung eines 12-mm-Rasters kann man entlang der

ganzen Gefäßstrecke alle 12 mm die Geschwindigkeit bestimmen, wodurch auch die Möglichkeit gegeben ist, Geschwindigkeitsänderungen im Gefäßverlauf genau zu lokalisieren. Gerade diese Versuche zeigen den *besondern Wert der röntgenkymographischen Geschwindigkeitsmessung*, da diese Methode im Gegensatz zu allen andern nebst der Messung der mittleren Geschwindigkeit, eine feine Analyse des Geschwindigkeitsablaufes entlang dem ganzen Gefäß erlaubt.

6. Zum Studium der *Strömungsverhältnisse in aneurysmaartig erweiterten Gefäßen* wurden Glasröhren mit blasigen Erweiterungen angefertigt und in das Kreislaufmodell eingebaut. In den Erweiterungen zeigten sich folgende Besonderheiten der Strömung: infolge von Wirbelbildungen zerfällt ein Jodöltropfen in zahlreiche kleinste Tröpfchen, welche über einen längern Zeitraum nach und nach das Aneurysma in der Strömungsrichtung verlassen. Die Verweildauer der letzten Kontrastmittelreste ist manchmal ganz bedeutend und läßt sich genau berechnen.

Durch einige Vorversuche wurde bereits die Anwendbarkeit der Methode bei pulsierender Strömung erwiesen, so daß wir auf Grund der mitgeteilten experimentellen Studien im Begriffe sind, mit einer verbesserten Versuchsanordnung und entsprechenden Registriervorrichtungen die Strömungskymographie zur Anwendung am Menschen auszubauen.

W. GÜNTERT und E. A. ZIMMER

Röntgeninstitut des Kantonsspitals Freiburg i.Ü., den 5. Mai 1948.

Summary

The röntgenokymographical measurement of the speed of flow of the blood is based on the observation that, with the Stumpf kymograph, progressive movements taking place longitudinally can be recorded with the same ease as periodically recurrent, sinusoid movements. From the time during which the kymograph operates, which can be read off the time relay, and a few measurable stretches of the kymogram defined in detail in the text, the speed of propagation of a directed process of movement can be calculated. If a drop of iodized oil traverses the vessel at the same speed as the blood, the speed of flow of the blood can be ascertained. In numerous tests on models not only was the practicability of the method as such proved, but more specialized conditions of flow in tubes of irregular lumen or having aneurysmal sacculations were examined. In this connection vortical formations are very clearly shown. The particular merit of this new röntgenokymographical method (flow kymography) is seen to reside in the fact that the cycle of speeds can be followed along a considerable length of vessel, and also that circumscribed alterations in speed within the part-sections examined can be anatomically localized. Experiments in the use of the method on human subjects are in preparation.

¹ R. LEIBOVICI, J. Chir. 34, 293 (1929).

Nouveaux livres - Buchbesprechungen - Recensionen - Reviews

Livres sur l'Endocrinologie

Ecrire actuellement un précis d'Endocrinologie peut paraître une gageure. Dans ce domaine, touchant à la fois à la biologie expérimentale, à la génétique, à l'histophysiologie et à la pathologie médicale, ainsi qu'à la chimie, l'énormité des connaissances est de nature à décourager le travailleur le plus robuste.

La meilleure formule semble être encore la collaboration d'un nombre appréciable de grands spécialistes, telle qu'elle a été réalisée dans *Sex and internal Secretions* sous l'égide de E. ALLEN¹. Encore cet ouvrage n'embrassait-il qu'une partie de l'Endocrinologie. Seule la vaste érudition, l'expérience étendue, mais surtout la

¹ Williams and Wilkins, Co., Ba. 1939, 2^e édition, 1346 p., 60 Fr.