

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

Wissenschaftlicher Film C 742/1957

**Kapillare Blutgefäße an Körper-
und Organoberflächen**

Begleitveröffentlichung von

Dr. W. SEIDL, Göttingen

GÖTTINGEN 1975

Film C 742

Kapillare Blutgefäße an Körper- und Organoberflächen

E. DUNKER, Hamburg

Begleitveröffentlichung von W. SEIDL, Göttingen

Allgemeine Vorbemerkungen¹

Als erster beobachtete MARCELLO MALPIGHI (1628—1694) kapilläre Gefäße an Mesenterium und Lungen des Frosches. Er lieferte damit zu HARVEYS Theorie des Blutkreislaufs den wichtigen Befund der Verbindung von Arterien und Venen durch das Kapillarsystem.

Kapillaren bestehen aus einem Endothelrohr, einem sehr dünnen einschichtigen Plattenepithel, das an seiner Basalseite von einer zarten Basalmembran und schließlich von einer Hülle aus argyrophilen Fasern (Gitterfasern) umgeben ist. Die Zellelemente des Endothels weisen meist eine längliche Gestalt auf, ihre ovalen Zellkerne bedingen eine sanfte Vorwölbung der Endothelzellen ins Kapillarlumen. Die lichtmikroskopisch erkennbaren Poren in vielen Endothelien erwiesen sich nach elektronenoptischen Untersuchungen zumeist als durch eine Cytoplasmamembran verschlossen (RHODIN [10]). Die Basalmembran (Grundhäutchen) ist ca. 400—600 AE dick, weist im elektronenoptischen Bild vielfach eine Schichtung auf. Gelegentlich ist die Basalmembran unvollständig oder fehlt ganz.

Den Kapillaren außen angelagert findet sich eine lückenhafte Schicht von Zellen (Perizyten), die mit ihren Zellausläufern das Kapillarrohr korbartig umgreifen.

¹ Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 10 u. 11.

Der Kapillardurchmesser schwankt je nach Funktionszustand beträchtlich: es finden sich in vivo Kapillarweiten von 0—13 μm , als Mittelwert dürfte für menschliche Kapillaren 8—10 μm angenommen werden (FLEISCH [4]). Da der Durchmesser von menschlichen Erythrozyten ca. 7,7 μm beträgt, können sie die Kapillarstrecke eben noch passieren. Die Länge einzelner Kapillaren bewegt sich in der Größenordnung von 0,1 bis 1 mm.

Die Kapillaren bilden untereinander ein Raumgitter. Seine Form ist lokal unterschiedlich und hängt von der Gestalt des umgebenden Bindegewebskörpers ab. Z.B. zeigen die Kapillaren im Muskelgewebe ein Gitter gestreckter Maschen, an Drüsen umhüllen sie als Kapillarkorb die Endstücke (BARGMANN [1]). Die Dichte der Kapillarisation ist lokal sehr unterschiedlich. Ob sie allerdings eine Folge unterschiedlichen Blutbedarfs ist, muß zumindest als fraglich bezeichnet werden. Die außerordentlich starke Aufsplitterung der peripheren Gefäße im kapillären sowie im prä- und postkapillären Gebiet führt zu einer enormen Zunahme des Gesamtquerschnitts des Kapillarstrombetts gegenüber den zentralen Gefäßen. Bei einem Hund von 13 kg Gewicht beträgt der Querschnitt des Kapillarbetts mehr als das 600fache des Aortenquerschnitts (GREEN [5]). Als Folge davon findet sich eine starke Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit des Blutes. Dies, zusammen mit dem sehr dünnen Wandbau der kapillaren Gefäße, macht sie geeignet zu intensivem Stoffaustausch zwischen Blut und interstitieller Flüssigkeit. Hierin liegt eine wichtige biologische Funktion des Kapillarsystems.

Für den Stoffaustausch zwischen Blut und Interstitium im Bereich der Kapillarstrecke sind zwei Mechanismen als bedeutsam erkannt: die Diffusion und die Flüssigkeitsbewegung durch die Kapillarwand durch Filtration und Reabsorption. Die Größe des Stoffaustausches wird dabei durch die treibenden Kräfte (Partialdruckgefälle, Filtrationsdruck), die Permeabilität der Kapillarwand und durch die Größe der Austauschfläche bestimmt, die von der Zahl und der Weite der Kapillaren abhängt. Kapillarerweiterung bzw. Verengung und die Öffnung bzw. der Verschluss von Kapillaren spielen daher beim Stoffaustausch zwischen Blut und Interstitium eine maßgebliche Rolle.

Die Gefäßweite kann dabei einerseits auf eine passive Dehnung durch den Gefäßinnendruck, andererseits auf aktive Vorgänge in der Gefäßwand (Kontraktion und Erschlaffung) zurückgeführt werden (vgl. NAUMANN [14]). Während an Arterien, Arteriolen, Venen und Venolen muskuläre Elemente der Gefäßwand für die aktive Veränderlichkeit der Gefäßweite verantwortlich gemacht werden können, ist bei den Kapillaren die Frage, ob die Kapillarendothelien selbst zur Kontraktion befähigt sind oder ob die der Kapillarwand angelagerten Pericyten hier als kontraktile Elemente im Sinne einer Kapillarmuskulatur funk-

tionieren, noch ungeklärt. Sicher ist jedoch, daß auch die Kapillaren aktiv kontraktile sind und ihre Weite unabhängig vom Blutdruck variabel ist (ROY und BROWN [11]).

Dabei konnte auch gezeigt werden, daß die Kontraktion und die Dilatation der Kapillaren von der Vasomotorik der muskulären Gefäße unabhängig sein können (EBBECKE [3], KROGH [6]). Eine gleichzeitige Dilatation der Kapillaren und der vorgeschalteten Arteriolen wird — sofern der Druck in den großen Arterien aufrechterhalten wird — eine Steigerung der Durchblutung bedingen (arterielle Hyperämie). Eine alleinige Erweiterung der Kapillaren würde dagegen nur zu einer Verlangsamung des Blutstroms im Kapillarbett führen.

Umgekehrt kann durch Vasokonstriktion ein Teil des Kapillarbetts vom Blutstrom ausgeschaltet werden. Betrifft die Konstriktion nur den arteriellen Schenkel, strömt das Blut in den Kapillaren langsamer und kommt im Extremfall zum Stillstand (TANNENBERG, FISCHER-WASELS [13]).

Die Kontraktilität der Kapillaren äußert sich einerseits in einer spontanen Vasomotorik. Dabei kontrahieren sich alternierend verschiedene Kapillarstrecken eines Kapillarnetzes. Nach den Gesetzen der Stromverzweigung (KIRCHHOFFSche Gesetze) wird mit den veränderten Widerstands- und Druckverhältnissen der Blutstrom anders verteilt, so daß die Anteile des Kapillarnetzes unterschiedlich wechselnd durchströmt werden, gewisse Kapillarstrecken ganz aus dem Blutstrom ausgeschaltet werden und dann scheinbar verschwinden, oder der Blutstrom den geänderten Druckverhältnissen entsprechend sich in einigen Kapillarstrecken sogar umkehrt. Deutlicher als an den Kapillaren läßt sich die spontane Vasomotorik allerdings an kleinen Arterien verfolgen.

Auf der anderen Seite ist die Vasomotorik von einer Reihe von exogenen und endogenen Einflüssen abhängig, die man im Experiment durch physikalische und chemische Eingriffe hervorrufen bzw. nachahmen kann:

Die nervöse Beeinflussung der Gefäßweite geschieht über vegetative Nervenfasern (vorwiegend sympathische). Gefäßaktive Hormone bewirken ebenfalls eine Änderung der Gefäßweite: Noradrenalin, ein Neurohormon, das in sympathischen Nerven gebildet wird, Adrenalin aus dem Nebennierenmark z.B. wirken vasokonstriktorisch, Acetylcholin, ebenfalls ein Neurohormon, wirkt vasodilatatorisch. Daneben gibt es noch weitere gefäßaktive Stoffe, teils natürlicherweise im Körper gebildet, teils von außen als Pharmaka applizierbar. Andererseits liegen zahlreiche Hinweise dafür vor, daß die Kapillarweite auch durch lokal im Binnengewebe entstehende Stoffwechselprodukte verändert wird (REIN [8]) (lokal-chemische Reaktion). Ein spezifisches Stoffwechselprodukt hat sich allerdings nicht nachweisen lassen. Es handelt sich

vielmehr um viele sehr unterschiedliche Stoffe, die sich z. T. gegenseitig in ihrer Wirkung steigern können: CO_2 , Milchsäure, Adenosin, Histamin, Polypeptide wie z. B. Bradykinin u. v. a. (REIN-SCHNEIDER [9]). Auch die Dilatation der Kapillaren bei einer venösen Stauung (venöse Hyperämie) beruht neben der mechanischen Druckwirkung auf lokal-chemischer Reaktion (TANNENBERG, FISCHER-WASELS [13]). Ebenso wird die Änderung der Muskeldurchblutung in hohem Maße von lokal-chemischen Einflüssen (REIN [8]) bestimmt. Da die vasodilatatorischen Stoffwechselprodukte bei Muskelarbeit erst mit Verzögerung entstehen, aber auch nur verzögert wieder verschwinden, setzt die Durchblutungssteigerung nicht sofort bei Muskelkontraktion ein, überdauert sie dann aber (MÜLLER [7]).

Neben den lokal im Gewebe entstandenen Stoffwechselprodukten spielt auch die Zusammensetzung des Blutes eine maßgebliche Rolle für das Verhalten der Gefäße durch direkte Beeinflussung der lokalen Gefäßumgebung oder auch über Vermittlung des Nervensystems. Im Gehirn z. B. ist die Gefäßweite von den Partialdrucken $p \text{CO}_2$ und $p \text{O}_2$ des Blutes abhängig, wohingegen der Einfluß der Innervation auf den Gefäßtonus zurücktritt. Während eine Veränderung des $p \text{CO}_2$ ohne Schwelle eine Veränderung der Hirndurchblutung bewirkt, macht sich eine Verminderung des $p \text{O}_2$ erst von einer — recht tief liegenden — Reaktionsschwelle in einer Vasodilatation bemerkbar. Im Bereich sehr niedriger O_2 -Drucke verliert der CO_2 -Druck jeden Einfluß auf die Gefäßweite des Gehirns (SCHNEIDER [12]). Hier ist dann die Gefäßweite Ausdruck des Einflusses der $p \text{O}_2$ -Verminderung im Blut.

Erläuterungen zum Film¹

Schwimmhaut (Frosch) — Unbeeinflusste Blutströmung

Durch die transparente Oberhaut können das netzförmige Kapillarsystem der Froschhaut, ebenso Arteriolen und kleinere Arterien beobachtet werden. Man sieht einen gleichmäßigen Blutdurchfluß.

(Durchlicht; Objektiv 6,5x; Okular 4x; Bogenlicht 35 A)

Einwirkung von Adrenalin 1 : 1000

Unter Einwirkung von Adrenalin verlangsamt sich der Blutdurchfluß bis zum Stillstand der Blutsäule in den Kapillaren, die teilweise auch blutleer werden. Schließlich bleibt der Blutstrom auch in der am oberen Bildrand sichtbaren kleinen Arterie stehen. Beim Abklingen der Adrenalineinwirkung kommt der Blutstrom wieder in Gang und ist gegen Ende der Einstellung fast wieder normal.

(Durchlicht; Objektiv 6,5x; Okular 4x; Bogenlicht 35 A)

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

Flughaut (Fledermaus) — Spontane Vasomotorik

In der Flughaut der Fledermaus wird das Kapillarsystem gezeigt. Die unbeeinflusste Blutströmung ist hier nicht gleichmäßig. Vielmehr ist die Stärke des Blutstroms in den verschiedenen Anteilen des Kapillarnetzes beständig wechselnd, gewisse Gefäßabschnitte werden vorübergehend nicht durchblutet und scheinen dann ganz zu verschwinden, oder die Richtung des Blutstroms kehrt sich in einigen Kapillarstrecken vorübergehend um. Gefäßkurzschlüsse sind sichtbar. Dieser Wechsel in der Durchblutung des Kapillarsystems bei unbeeinflusster Blutströmung ist Ausdruck einer spontanen Vasomotorik. An kleinen Arterien mit ihren Begleitvenen, die sodann gezeigt werden, ist die spontane Vasomotorik, die diese Gefäße fast rhythmisch erweitert und verengt, besonders deutlich.

Nagelfalzkapillaren (Mensch) — Spontane Vasomotorik

In dieser Einstellung sind durch die Oberhaut hindurch die schlingenförmigen Kapillaren des Nagelfalzes sichtbar. Auch sie werden nicht gleichmäßig, sondern alternierend durchblutet. Teilweise sieht man Kapillaren plötzlich auftauchen und wieder verschwinden. Diese Erscheinungen sind Folgen einer spontanen Vasomotorik.

(Auflicht; Objektiv 6,5x und 11x; Okular 6x; Bogenlampe 40 und 20 A)

Nagelfalzkapillaren (Mensch) — Biersche Stauung

Bei venöser Stauung nimmt die Blutfülle in den Kapillaren des Nagelfalzes zu. Die Zahl der blutgefüllten und damit sichtbaren Kapillaren steigt stark an. Dabei nimmt die Durchströmungsgeschwindigkeit ab. Nach Beendigung der Stauung tritt wieder die normale Durchströmung ein.

(Auflicht; Objektiv 11x; Okular 4x; Bogenlampe 40 A)

Oberschenkelmuskulatur (Frosch) — Unbeeinflusste Blutströmung

Die Muskelkapillaren im Froschschenkel werden demonstriert. Die Kapillaren sind vorwiegend parallel zu den Muskelfasern angeordnet. Durch kurze Querverbindungen wird ein Kapillarnetz von strickleiterartiger Anordnung gebildet. Die Blutströmung ist gleichmäßig.

(Auflicht; Objektiv 11x; Okular 4x; Bogenlampe 60 A)

Nach elektrischer Reizung

Nach elektrischer Reizung sind die Kapillaren deutlich erweitert.

(Auflicht; Objektiv 11x; Okular 4x; Bogenlampe 60 A)

Unterschenkelmuskulatur (Maus) — vor und nach Arbeit

Die Kapillaren in der Unterschenkelmuskulatur der Maus zeigen eine sehr ähnliche Anordnung wie in der Muskulatur des Frosches. Während der Aufnahme kommt es zu aktiver Bewegung der gezeigten Muskulatur. Die Durchblutung nimmt daraufhin deutlich zu. Die Gefäßweiterung überdauert die Zeit der Muskelbewegung.

(Auflicht; Objektiv 11 x; Okular 4 x; Bogenlampe 45 A)

Großhirn (Hund) — bei Luftatmung

In der weichen Hirnhaut der Großhirnrinde des Hundes werden kleine Arterien und Venen gezeigt, aus denen Kapillaren mit bogenförmigem Verlauf entspringen. Die Durchblutung ist bei Luftatmung völlig gleichmäßig.

(Auflicht; Objektiv 6,5 x; Okular 4 x; Projektionslampe 130 V)

Bei Stickstoffatmung

Bei O₂-Mangelatmung (Stickstoffatmung) verlangsamt sich der Blutstrom in den weiten Gefäßen, wird schließlich stockend. Eine Cyanose wird allmählich deutlich.

(Auflicht; Objektiv 6,5 x; Okular 4 x; Projektionslampe 130 V)

Leber (Maus) — unbeeinflusste Blutströmung

Das Gefäßsystem der Leber ist kompliziert gebaut. Seine Anordnung steht in direktem Zusammenhang mit dem Läppchenbau des Lebergewebes. Während die zuführenden Pfortaderäste an der Läppchenperipherie in den bindegewebigen Zwickeln zwischen den einzelnen Läppchen sich finden (GLISSONSche Dreiecke), entspringen die abführenden Gefäße im Zentrum eines Läppchens (Vena centralis). Die verbindenden Kapillaren (Sinusoide) sind zwischen Peripherie und V. centralis radiär geordnet. Durch die Serosa der Leberoberfläche hindurch kann man die Läppchenstruktur der Leber aufgrund der Gefäßzeichnung erkennen. Von dem zu Beginn gezeigten zuführenden Gefäß erstrecken sich die hiervon ausgehenden Kapillaren an die angrenzenden Läppchen wie die Äste eines Baumes. Schließlich fährt die Kamera über das Gebiet der Sinusoide zu einem im Zentrum eines Läppchens gelegenen abführenden Gefäß, in das sich die Blutströme der Sinusoide dieses Läppchens ergießen.

(Auflicht; Objektiv 11 x; Okular 4 x; Bogenlampe 40 A)

Lunge (Frosch) — Unbeeinflusste Blutströmung

Das Kapillarsystem der Lunge ist in dem spärlichen Bindegewebe zwischen den Alveolen der Lunge gelegen. Es handelt sich dabei um

ein sehr feinmaschiges Gefäßnetz. In einer Übersichtsaufnahme fährt die Kamera von einem etwas größeren zuführenden zu einem abführenden Gefäß. Neben diesen Gefäßen können Felder kleiner Bläschen beobachtet werden, der Lungenalveolen, die durch ihre Luftfüllung silbrig glänzen. Dann werden zwei Gefäße gezeigt, die in entgegengesetzter Richtung aufeinander zufließen. Der Blutstrom verteilt sich im dichten Netz der Kapillaren zwischen den Alveolen und fließt nach beiden Seiten ab. Durch das Gebiet der Lungenbläschen läuft der Blutstrom wie durch ein Gradierwerk. Dabei läßt sich beobachten, daß Blutkörperchen einzeln oder auch in ganzen Bündeln an den Zwickeln der Kapillarverzweigungen hängenbleiben und deformiert werden.

(Auflicht und Durchlicht; Objektive 8x, 11x, 20x; Bogenlicht 60 A)

Zweifache Zeitdehnung (48 B/s)

Die Deformation der Blutkörperchen im Kapillarstrom läßt sich hier besonders deutlich sehen.

(Durchlicht; Objektiv 20x; Okular 9x; 50 B/s)

Niere (Frosch) — Unbeeinflusste Blutströmung

Die auffälligste Erscheinung im komplizierten Gefäßapparat der Niere sind kugelige Kapillarknäuel (Glomerula), die an das erweiterte Anfangsstück der Harnkanälchen hineinragen. Hier wird der Primärharn aus dem Blut abfiltriert. Im Film sind diese Glomerula als blutgefüllte, kugelige, leicht gelappte Gebilde zu erkennen. Dabei lassen sich auch einzelne Glomerulumschlingen beobachten. Am sog. Gefäßpol des Glomerulums treten zu- und abführende Arteriolen ein und aus. Daneben läßt sich ein gewundenes Nierenkanälchen als doppelt konturierter, heller Streifen sehen.

(Auflicht; Objektive 6x, 5x, 11x; Okular 4x, Beck-Licht 53 und 60 A)

Einwirkung von Adrenalin 1 : 1000

Unter Einwirkung von Adrenalin verlangsamt sich der Blutstrom und stagniert. Das rechts im Bild gelegene Glomerulum wird blutleer und verblaßt, schließlich stagniert auch der Blutstrom im links gelegenen Glomerulum. Der beobachtete Bezirk wird im ganzen blasser.

(Auflicht; Objektiv 11x; Okular 4x; Beck-Licht 65 A)

Einwirkung von Acetylcholin 1 : 100

Nach Einwirkung von Acetylcholin setzt die Blutströmung wieder ein. Sie übersteigt schließlich die normale Durchblutung (Hyperämie).

Literatur und Filmveröffentlichung

- [1] BARGMANN, W.: Histologie und mikroskopische Anatomie des Menschen. 5. Aufl. Thieme, Stuttgart 1964.
 - [2] BIER, A.: Hyperämie als Heilmittel. Vogel, Leipzig 1903.
 - [3] EBBECKE, U.: Die lokale vasomotorische Reaktion der Haut und der inneren Organe. Pfügers Arch. ges. Physiol. **169** (1917), 1—81.
 - [4] FLEISCH, A.: Gestalt und Eigenschaften des peripheren Gefäßapparats. In: Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie Bd. 7, 2. Hälfte. Hrsg.: BETHE, A. v., BERGMANN, G., EMBDEN, G., ELLINGER, A. Springer, Berlin 1927.
 - [5] GREEN, H. D.: Circulation. In: GLASSER, O. (Hrsg.): Medical Physics Bd. I (repr.) Year book publishers, Chicago 1947.
 - [6] KROGH, A.: Anatomie und Physiologie der Capillaren. Springer, Berlin 1924.
 - [7] MÜLLER, E. A.: Physiologie der körperlichen Leistungsfähigkeit. In: LANDOIS-ROSEMANN: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Hrsg.: ROSEMANN, H.-U. Bd. 2, 28. Aufl. Urban u. Schwarzenberg, München-Berlin 1962.
 - [8] REIN, H.: Vasomotorische Regulation. Ergebn. Physiol. **32** (1931), 28—72.
 - [9] REIN-SCHNEIDER: Einführung in die Physiologie des Menschen. 15. Aufl. Springer, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1964.
 - [10] RHODIN, A. G.: The diaphragm of capillary endothelial fenestrations. J. Ultrastruct. Res. **6** (1962), 171—185.
 - [11] ROY, C. S., J. G. BROWN: The blood-pressure and its variations in the arterioles, capillaries and smaller veins. J. physiol. **2** (1879/80), 323—359.
 - [12] SCHNEIDER, M.: Durchblutung und Sauerstoffversorgung des Gehirns. Verh. dtsh. Ges. Kreislaufforsch. **19** (1953), 3—25.
 - [13] TANNENBERG, J., B. FISCHER-WASELS: Die lokalen Kreislaufstörungen. In: Hdb. der norm. und path. Physiol. Bd. 7, 2. Hälfte. Hrsg.: BETHE, A., v. BERGMANN, G., EMBDEN, G., ELLINGER, A. Springer, Berlin 1927.
-
- [14] NAUMANN, H. H.: Die terminale Strombahn. Film C 887 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1956.

Anschrift des Verfassers:

Dr. W. SEIDL, Anatomisches Institut der Universität, D-3400 Göttingen, Kreuzberg ring.

Angaben zum Film

Der Film wurde 1957 veröffentlicht und ist für die Verwendung im Hochschulunterricht bestimmt. Stummfilm, 16 mm, farbig, 140 m, 13 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden 1956. Veröffentlichung aus dem Physiologischen Institut der Universität Hamburg (Direktor: Prof. Dr. R. MOND), Doz. Dr. E. DUNKER, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. Wolf), Dr. K.-H. HÖFLING; Aufnahme: H. H. HEUNERT.

Inhalt des Films

In dem Film werden kapilläre Gefäße sowie kleine Arterien und Venen an den Körperoberflächen und Oberflächen verschiedener Organe an lebenden Tieren und am Menschen untersucht. Die Abhängigkeit der Blutströmung von der Vasomotorik im Bereich der kleinen Gefäße und Kapillaren wird demonstriert. Neben der spontanen Vasomotorik werden das Gefäßverhalten und die Blutströmung unter unterschiedlichen experimentellen Bedingungen gezeigt.

Summary of the Film

In this film capillaries, small arteries and veins of the surfaces of the body and of the surfaces of various organs are examined in live animals and in man. The dependency of blood flow on vasomotoricity in small vessels and capillaries is shown. Spontaneous vasomotoricity and the behaviour of blood vessels and of the blood stream under various experimental conditions are demonstrated.

Résumé du Film

Le film présente une étude de vaisseaux capillaires ainsi que de petites artères et veines situés à la surface du corps et de différents organes de l'homme et de l'animal vivant. Il démontre que la circulation sanguine dépend de la vasomotricité au niveau des petits vaisseaux et capillaires. A côté de la vasomotricité spontanée, le film montre le comportement vasculaire et la circulation sanguine dans différentes conditions expérimentales.