

(Aus dem Anatomischen Institut der Universität Würzburg.)

Kurz- und Nebenschlüsse des menschlichen Lungenkreislaufes in der Pleura.

Von
H. v. HAYEK.

Mit 14 Textabbildungen.

(Eingegangen am 29. Juli 1942.)

Bei der Betrachtung des Lungenkreislaufes wird im allgemeinen immer nur der Kreislauf durch das Capillarnetz der Alveolen betrachtet, wenn auch seit langer Zeit andere Äste der Arteria pulmonalis bekannt sind, und zwar ihre Äste zu den Bronchuli und zur Pleura. Äste der Arteria pulmonalis zu den Bronchuli wurden nach ZUCKERKANDL schon von REISSEISEN und SÖMMERING (1808), dann von ARNOLD, SCHULTZE, HENLE, TOLDT, KÜTTNER und ausführlich von ZUCKERKANDL untersucht, ich selbst (1940) habe festgestellt, daß es sich dabei um Sperrarterien mit starker innerer Längsmuskelschicht handelt. Die Äste zur Pleura wurden ebenfalls von REISSEISEN und SÖMMERING, dann von ADRIANI, ZUCKERKANDL und MILLER, zuletzt noch von SPANNER (1939) beschrieben. Die älteren Arbeiten, in denen die Versorgung der Pleura von der Arteria pulmonalis aus beschrieben wird, scheinen aber völlig in Vergessenheit geraten zu sein, da in den neuen Lehrbüchern von BRAUS, RAUBER-KOPSCH und SIEGLBAUR nur angegeben wird, daß die Pleura von der Arteria bronchialis versorgt wird. Außerdem sind Anastomosen der Arteria pulmonalis mit der Arteria bronchialis längst bekannt, und zwar konnte sie schon, wie ZUCKERKANDL zusammenfaßt, RUYSCH (1721), dann HALLER, REISSEISEN, KRAUSE, HUSCHKE, VIRCHOW, HOYER, KÜTTNER und ZUCKERKANDL (1883), während das Vorhandensein solcher Anastomosen von MILLER (1907) gelegnet wird. Daß die an die Bronchuli herantretenden Sperrarterien außer den Anastomosen mit der Arteria bronchialis auch arteriovenöse Anastomosen besitzen, habe ich selbst (1940) beobachtet. Ich habe nun diese Gefäße an demselben Material untersucht, an dem meine früheren Untersuchungen über Lungengefäße durchgeführt wurden, nämlich an Schnittserien von in situ mit Formolalkohol durchspülten Lungen vom Hingerichteten. Außerdem habe ich mehrere Lungen vom Erwachsenen und vom Neugeborenen mit verschiedenfarbiger Gummimasse (NEUMAYER) von der Arteria pulmonalis, Vena pulmonalis und Arteria bronchialis injiziert, so daß die Arteriolen, nicht aber die Capillaren, gefüllt wurden, wobei sich allerdings nicht vermeiden ließ, daß gelegentlich auch eine Füllung der Capillaren erreicht wurde. Diese Lungen wurden dann von der Trachea aus mit Formolalkohol fixiert. Bei der Einbettung zur mikroskopischen Untersuchung zeigte sich, daß die Gummimasse besonders in Benzol leicht quillt, so daß die größeren Gefäße zerplatzen, während die kleineren Gefäße dadurch nicht wesentlich geschädigt wurden. Die Einbettung über Methylbenzoat dagegen ergab befriedigende Resultate für die mikroskopische Untersuchung. Die Schnittdicke der injizierten Präparate, die, wo nötig, auch in Serien geschnitten wurden, betrug $20\ \mu$ und teils auch mehr.

An meinen Injektionspräparaten zeigt sich, daß Arteria bronchialis und Arteria pulmonalis an der Versorgung der Pleura beteiligt sind und zwar wird der kleinere Teil der Pleura von der Arteria bronchialis, der größere von der Arteria pulmonalis aus versorgt. Die Arteria bronchialis versorgt einen Teil der Pleura in der Tiefe der Fissura interlobaris mit 1—2 Ästen, außerdem finde ich etwa ein Dutzend Ästchen (Abb. 1), die vom Hilus

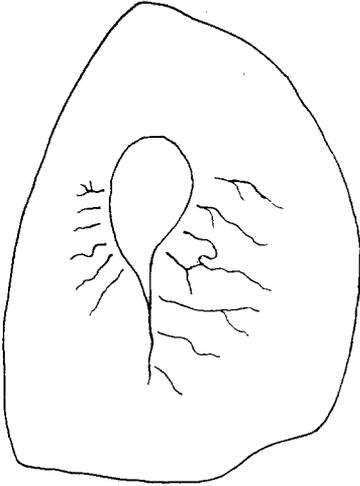


Abb. 1. Äste der Arteria bronchialis zur Pleura, mediastinale Fläche der linken Lunge.

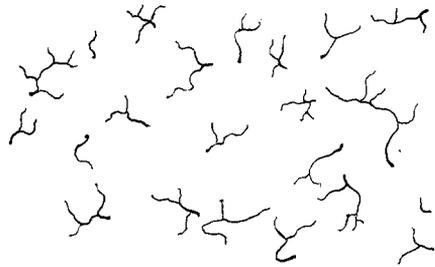


Abb. 2. Äste der Arteria pulmonalis zur Pleura. Häutchenpräparat, Gummijektion, costale Fläche. Natürliche Größe.

aus zur Pleura ziehen, von denen kleinere den dorsalen Abschnitt, größere das Gebiet der Impressio cardiaca versorgen.

Die ganze übrige Pleura, d. h. ein Teil der mediastinalen Fläche, ein Teil der Facies interlobaris und die ganze konvexe Fläche der Lunge wird von Ästen

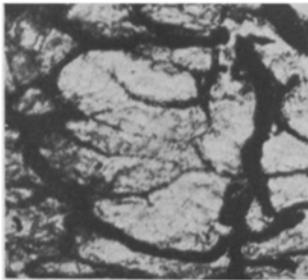


Abb. 3. Riesencapillarnetz der Pleura. Natürliche Füllung mit Blut, Häutchenpräparat, Azan.

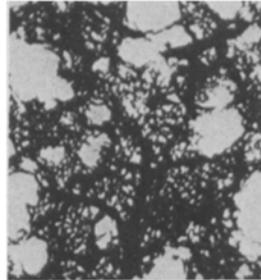


Abb. 4. Injektionspräparat der Lungencapillaren. Gleiche Vergrößerung wie Abb. 3.

der Arteria pulmonalis versorgt. Diese Pleuraäste der Arteria pulmonalis haben eine Dicke von $\frac{1}{5}$ — $\frac{1}{10}$ mm, durchschnittlich finden sich 2 auf dem Quadratzentimeter (Abb. 2), wobei jedoch die größeren gelegentlich auch Flächen von über 1 qcm versorgen können. Es ist also nicht richtig, wenn MILLER (1900) betont, daß Äste der Arteria pulmonalis zur Pleura „außerordentlich selten“ sind.

Die Pulmonalis- und Bronchialisäste zur Pleura sind kleine dünnwandige Arterien und Arteriolen, an denen ich besondere Sperreinrichtungen nicht gesehen habe. Die Arterien, welche die Pleura versorgen, bilden in der tiefen Schicht

der Pleura, die auch als subpleurales Bindegewebe bezeichnet wird, ein weitmaschiges Netz von Gefäßen, aus welchem die abführenden Pulmonalvenen hervorgehen. Das Zusammenstoßen der verschiedenfarbigen Injektionsmassen der Arterien und Venen in diesen Gefäßen konnte ich verschiedentlich beobachten. Die

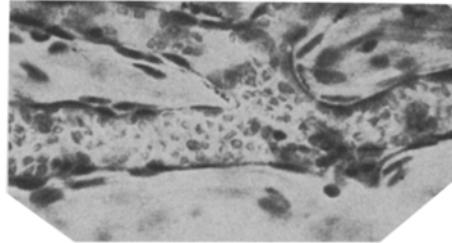
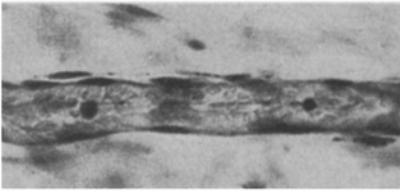


Abb. 5. Riesencapillare der Pleura. Häutchenpräparat. H.-E. Pericyten mit Rußkörnchen.

Weite dieses Gefäßnetzes der Pleura (Abb. 3) und die Größe der Gefäße ergibt sich am besten aus dem Vergleich mit dem Capillarnetz der Alveolen (Abb. 4), die in den beigegebenen Bildern bei gleicher Vergrößerung aufgenommen gegenübergestellt sind. Die Weite der Gefäße ist 2—6mal größer als die der Lungencapillaren und die Weite der Maschen des Netzes oft 10mal und mehrmal so groß.

Der Bau der Wand dieser Gefäße von 20—50 μ Durchmesser entspricht dem von Capillaren, sie wird von Endothelzellen gebildet (Abb. 5), an welche sich Pericyten anlegen, die durch feine Häutchen miteinander in Verbindung stehen und von den Endothelien durch einen deutlich erkennbaren Spalt getrennt sind. Besonders auffallend ist an den Pericyten der einen daraufhin untersuchten Lunge, daß sie kleine schwarze Körnchen (Abb. 5), offenbar Rußpartikelchen enthalten, da sonst von Pericyten nur eine spärliche Vitalfärbung (MAXIMOW) oder zarte Speicherung (BENNINGHOFF 1926) bekannt ist, keineswegs aber eine Aufnahme größerer Körperchen, wie von Rußteilchen, wie dies für die ruhenden Wanderzellen gilt.

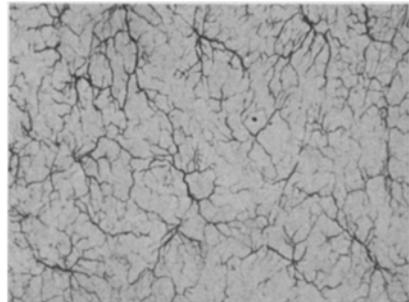


Abb. 6. Gummiinjektion der Pleuravenen. Häutchenpräparat. Vergr. 2fach.

Da kein anderes Gefäßnetz für die Ernährung der Pleura in Frage kommt, und nach dem Bau der Gefäßwand kann dieses Gefäßnetz der Pleura funktionell als Capillarnetz angesprochen werden, wegen der Weite der Gefäße möchte ich es Riesencapillarnetz der Pleura nennen und damit dem von BENNINGHOFF (1930) und EZLE (1941) so bezeichneten subpapillären Gefäßnetz der Cutis an die Seite stellen. Funktionell als Capillaren sind auch die muskelfreien 40 μ weiten Präcapillaren der Lunge zu bezeichnen, die direkt ohne Zwischenschaltung eines Capillarnetzes an die Alveole grenzen (HAYEK 1940, S. 592), da offenbar auch durch ihre Wand der Gaswechsel erfolgen kann.

Der Abfluß aus dem Riesencapillarnetz der Pleura erfolgt in zahlreiche kleine Ästchen der Vena pulmonalis (Abb. 6), die sich sternförmig in der Pleura ver-

zweigen, ohne daß irgend eine regelmäßige Beziehung der Venensterne zu den Verzweigungen der Pleuraarterien zu erkennen wäre. Nur im Bereich der Pleuraäste der Arteria bronchialis bilden die Pulmonalvenenästchen paarige Begleitvenen der Arterien, die, wie ZUCKERKANDL das beschrieben hat, mit dem Cava-kreislauf im Mediastinum durch kleinste Ästchen verbunden sind. Die Bedeutung

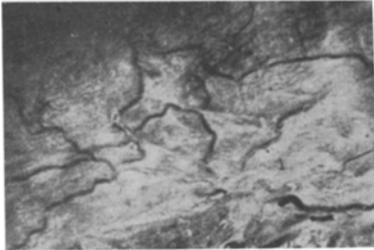


Abb. 7. Injektionspräparat der Sperrarterien in der Pleura 2:1.

des Riesencapillarnetzes der Pleura liegt in bezug auf den Gesamtkreislauf darin, daß Arteria und Vena pulmonalis dadurch einen Nebenschluß neben dem Capillarnetz der Lunge besitzen, der durch die Weite der Riesencapillaren offenbar das Blut gegen einen geringeren Widerstand in die Venen strömen lassen kann. Die Zahl der kleinen Pleuraästchen der Arteria pulmonalis beträgt durchschnittlich etwa 2 pro Quadratcentimeter an einer von dem Bronchus aus mit Formolalkohol gefüllten Lunge. Ihre von der Arteria pulmonalis versorgte Oberfläche betrug etwa 900 qcm, so daß auf beide Lungen zusammen eine Zahl von 3000 Pleuraästchen zu rechnen sind, und das bei einer durchschnittlichen Weite eines Ästchens von 0,15 mm. Lungenäste der Arteria pulmonalis gibt es nach MILLER (1893) etwa 60000 (Artrial arteries) von einer Weite von 0,16 mm, also nicht ganz 20mal mehr als Pleuraäste von der gleichen Weite.

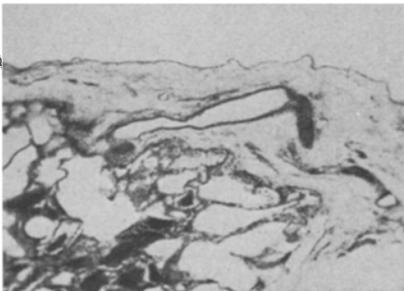


Abb. 8. Austritt eines Pulmonalisastes unter die Pleura. Übergang der dünnwandigen Arterie in die Sperrarterie. Mediastinale Fläche nahe dem vorderen Lungenrand.

Das würde bedeuten, daß etwa $\frac{1}{20}$ der Blutmenge der Arteria pulmonalis durch ihre Pleuraästchen strömen kann. Außer den zahlreichen kleinen Ästchen zur Pleura gibt es an jeder Lunge noch 10—25 größere Äste zur Pleura, die außer durch ihre Weite durch ihren stark geschlängelten Verlauf auffallen. Sie finden sich in der Fissura interlobaris an der Facies mediastinalis und an den scharfen Rändern der Lunge. Diese Äste sind es, die mit Ästen der Arteria bronchialis anastomisieren können (ZUCKERKANDL), sie verzweigen sich häufig und können auch ganze Netze bilden (Abb. 7).

Gleich nachdem diese Äste die Läppchengrenzmembran verlassen haben und unter die Pleura treten, ändert sich ihr Wandbau. Abb. 8 zeigt den plötzlichen Übergang eines dünnwandigen unter die Pleura tretenden Pulmonalisastes in eine dickwandige Sperrarterie. Diese Sperrarterien, die ich auch an Serienschnitten von mehrfarbig von Arteria pulmonalis, bronchialis und Vena pulmonalis aus injizierten Lungen untersucht habe, konnte ich in offenem (Abb. 9) und kontrahiertem Zustande und beinahe völlig geschlossenem Lumen (Abb. 10) beobachten. Die Wand der Sperrarterien wird von einer einschichtigen Lage äußerer Ringmuskulatur und von vielen Lagen innerer Längsmuskulatur gebildet. Diese Längsmuskulatur ist nun nicht rein längs angeordnet, sondern in 2 gegenläufigen steilen Schrauben (Abb. 11), ein Verhalten, das an die Nabelarterien erinnert,

bei welchen die völlige Schlußfähigkeit durch den schraubigen Verlauf der sog. Längsmuskulatur bedingt ist (v. HAYEK 1935). Wie bei den Nabelarterien erscheint die Längsmuskulatur der offenen Arterie nur aus 3—4 Lagen zu bestehen, während an der kontrahierten Arterie 8—10 Lagen zu erkennen sind.



Abb. 9. Offene Sperrarterie aus der Pleura. Schrägschnitt. Dünne äußere Ringmuskulatur und dicke innere Längsmuskulatur.



Abb. 10. Kontrahierte Sperrarterie aus der Pleura.

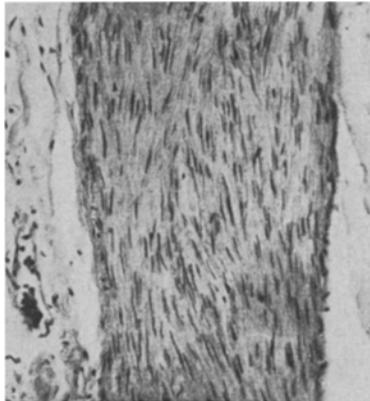


Abb. 11. Längsschnitt durch die Wand einer kontrahierten Sperrarterie. Schraubiger Verlauf der Muskelfasern.

Von diesen dickwandigen Sperrarterien — die, wie gesagt, teilweise mit den Ästen der Arteria bronchialis anastomosieren — gehen seitlich zahlreiche Äste ab (Abb. 12), die durch einseitig ausgebildete Muskelwülste charakterisiert sind (Abb. 13), die schließlich in die dünnwandigen, muskelarmen Venen übergehen. Erst im interlobären Gebiet finden sich die charakteristischen Lungenvenen mit ihrer kräftigen Ringmuskulatur. Das Verbindungsstück zwischen Sperrarterie und Vene, das durch die einseitigen Muskelwülste ausgezeichnet ist, kann als anastomotisches Gefäß bezeichnet werden.

Es finden sich also in der Pleura ähnlich, wie ich es früher an den Bronchien beschrieben habe, arteriovenöse Anastomosen, die von den Sperrarterien ausgehen, die ihrerseits meist eine Verbindung von Arteria pulmonalis mit Arteria bronchialis bilden. Die Tatsache, daß die Sperrarterien auch post mortem stark kontrahiert bleiben können, erklärt die Tatsache, daß die Injektion der Anastomosen zwischen Arteria bronchialis und pulmonalis und auch die der arteriovenösen Anastomosen



Abb. 12. Sperrarterie aus der Pleura mit Astabgängen.

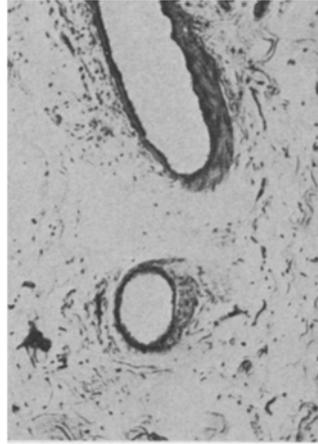


Abb. 13. Anastomotisches Gefäß aus der Pleura mit einseitigem Muskelwulst.

nicht immer gelingt und erklärt auch, daß MILLER (1900) das Vorhandensein der Anastomosen zwischen den beiden Arteriensystemen leugnet.

Haupt-, Kurz- und Nebenschlüsse des Lungenkreislaufes.

Außer dem Hauptschluß des Lungenkreislaufes, der durch die Capillaren der Alveolarsepten gebildet wird und dem kürzlich (1940) von mir beschriebenen Kurzschluß durch die arteriovenösen Anastomosen an den Bronchien gibt es also nach meinen neuen Beobachtungen noch zwei Wege des Blutes, um von den Lungenarterien in die Lungenvenen zu gelangen, durch die Sperrarterien und durch das Riesencapillarnetz der Pleura. In Abb. 14 sind die Kurzschlüsse durch die arteriovenösen Anastomosen und der Nebenschluß des Lungenkreislaufes durch die Riesencapillaren der Pleura schematisch an einem Randläppchen dargestellt. Die unter der Pleura nahe dem Septum interlobulare gelegenen Sperrarterie erscheint dabei in das Septum interlobulare hineinprojiziert. Am Bronchus sind die Einmündungen der anastomotischen Gefäße (schwarz) in das bronchiale Venennetz und dessen Abflüsse in die Vena pulmonalis und Vena bronchialis dargestellt.

Die Kurzschlußverbindung zwischen den Sperrarterien und den Lungenvenen durch die weiten anastomotischen Gefäße mit Muskelwülsten sind jedenfalls als arteriovenöse Anastomosen „im engeren Sinne“ (CLARA 1939) zu bezeichnen. Anders steht es meiner Meinung nach mit den Riesencapillaren der Pleura. Wenn es gelingt (wie meine Präparate zeigen), in Gefäßen von 50 μ und mehr Weite die rote und blaue Gumminjektionsmasse aus Arterien und Venen zusammenstoßen zu lassen, so scheint das Vorhandensein arteriovenöser Anastomosen sicher

und diese Bezeichnung zuerst gerechtfertigt. Dennoch möchte ich die Riesencapillaren der Pleura nicht als arteriovenöse Anastomosen bezeichnen, sondern als Nebenschluß des Lungenkreislaufes. Ihrem Wandbau nach und offenbar auch ihrer Funktion nach sind diese Gefäße Capillaren gleichzusetzen. Irgendwelche Einrichtungen, die einen vollkommenen Verschuß ermöglichen, konnte ich nicht

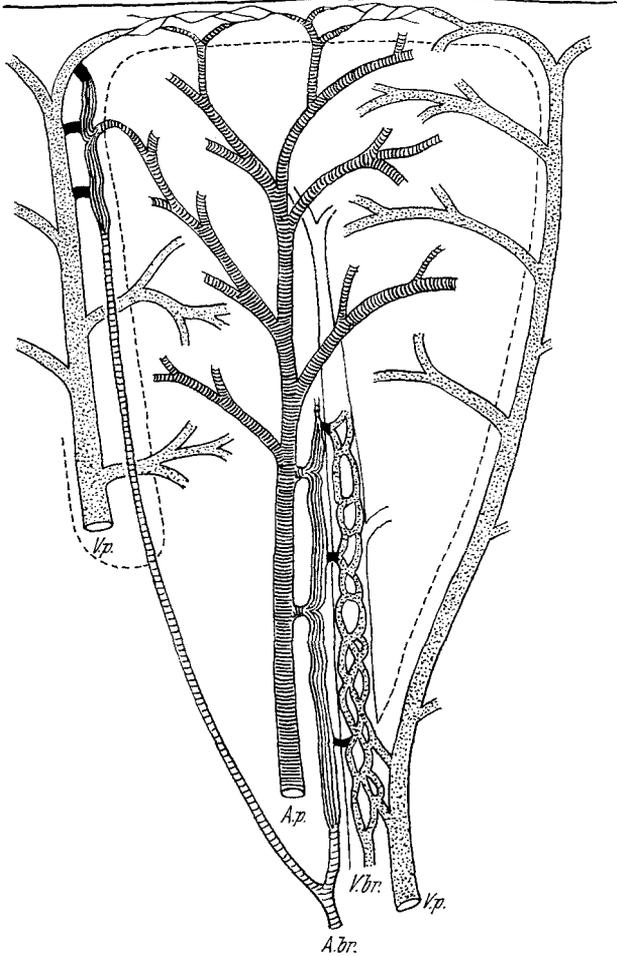


Abb. 14. Schema der Gefäße eines Lungenlappchens vom vorderen Lungenrand. Pleuraoberfläche —, elastische Lappchengrenzmembran - - - - -, Art. pulm. eng querschraffiert, Art. bronch. breit querschraffiert, Sperrarterien längsschraffiert, Venen und bronchiales Venennetz punktiert, Riesencapillaren der Pleura ausgezogen, arteriovenöse Anastomosen schwarz.

finden, der Zufluß wird nur von Arterien geregelt, die wohl eine Veränderlichkeit ihres Querschnittes durch ihre Muskulatur erlauben, keineswegs aber einen Verschuß. Eine dauernde Durchströmung dieser die Pleura ernährenden Riesencapillaren erscheint daher mindestens höchstwahrscheinlich. Ich möchte daher die Bezeichnung a. v. Anastomosen für die durch das Riesencapillarnetz der Pleura gebildete Verbindung zwischen Lungenarterien und Venen ablehnen; wenn auch SPANNER (1939, S. 479) in einer vorläufigen Mitteilung über die Befunde seines Schülers HOLM-DAHL arteriovenöse Anastomosen aus dem Netz der Pleurahervorgehend beschreibt.

Versucht man nun, sich über die Blutmenge ein Bild zu machen, die durch die Kurz- und Nebenschlüsse des Lungenkreislaufes unter Umgehung der Capillarnetze der Alveolen aus der Arteria in die Vena pulmonalis strömen kann, so ergibt sich folgendes:

Der Durchmesser der Sperrarterien, die zu den Bronchien ziehen, beträgt wie sich auch aus der Abbildung meiner früheren Arbeit ergibt, etwa $\frac{1}{5}$ des zugehörigen Pulmonalisastes. Da oft drei solche Ästchen hintereinander von einem Pulmonalisast abgehen, wird der Querschnitt dieser Ästchen zusammen etwa $\frac{1}{8}$ des Pulmonalisastes betragen. Die Zahl der Sperrarterien zur Pleura und damit ihr Gesamtquerschnitt ist etwas geringer zu veranschlagen. Daß die Zahl der kleinen Pleuraarterien etwa $\frac{1}{20}$ der Zahl der gleich großen Lungenarterien beträgt, habe ich vorhin beschrieben. Berücksichtigt man noch, daß die weiten Kurz- und Nebenschlüsse, wenn sie geöffnet sind, dem Blute einen geringeren Strömungswiderstand bieten als die engen Capillaren der Alveolen, so wird in diesem Falle mindestens $\frac{1}{5}$ der Blutmenge der Arteria pulmonalis durch diese Kurz- und Nebenschlüsse strömen können.

Daß die Kurz- und Nebenschlüsse des Lungenkreislaufes einen wesentlichen Einfluß auf den Gesamtkreislauf haben können, liegt auf der Hand, da ja das gesamte Blut durch die Lunge fließt. Die anderen Funktionen eines Kurzschlußkreislaufes (Wärmeregulierung, Thrombosenverhütung usw.) dürften bei der Lunge zurücktreten in ihrer Bedeutung gegenüber der Regelung der Durchflußgeschwindigkeit und des Strömungswiderstandes und vermutlich auch der Sauerstoffspannung, da ja ein Teil des Blutes ohne zu den Alveolen in Beziehung zu treten durch die Lunge fließen kann. Die Beeinflussbarkeit des Lungengaswechsels durch nervöse Einflüsse, die von MAAR u. a. angegeben wird, kann mit den Kurzschlüssen erklärt werden, so wie MAAR sie mit vasomotorischen Einflüssen im allgemeinen erklärt. Auch die von DOUGLAS und HALDANE gemachte Beobachtung, daß die Sauerstoffspannung des Blutes gewöhnlich geringer ist als die der Alveolarluft, bei O_2 -Mangel dagegen gleichhoch, kann mit den Kurzschlüssen in Zusammenhang gebracht werden. Bei anderen Organen (Speicheldrüse, Niere usw.) kann bei geringerer Durchströmung der Capillaren die Durchströmung des Gesamtorgans gedrosselt werden, ohne daß dabei ein einzelnes Organ für den Gesamtkreislauf eine große Rolle spielt; bei der Lunge dagegen muß immer die gesamte Blutmenge durchfließen, eine Drosselung kommt auch durch den Wandbau der Arteria pulmonalis vom elastischen Typus gar nicht in Frage.

Schrifttum.

- BENNINGHOFF: Z. Zellforsch. 4 (1926). — Handbuch der mikroskopischen Anatomie, Bd. 6/1. 1930. — CLARA: Arteriovenöse Anastomosen. Leipzig 1939. — DOUGLAS and HALDANE: J. of Physiol. 44 (1912). Nach Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. — ELZE: BRAUSE-ELZES Anatomie, Bd. 4. 1940. — HAYEK: Z. Anat. 105 (1935); 110 (1940). — HENLE: Handbuch der Anatomie, Bd. 2. 1873. — KÜTTNER: Virchows Arch. 73 (1878). — MAXIMOW: Handbuch der mikroskopischen Anatomie, Bd. 2, S. 1. 1927. — MILLER: Arch. f. Anat. 1900. — Amer. J. Anat. 7 (1907). — MAAR: Skand. Arch. Physiol. (Berl. u. Lpz.) 13 (1902); 15 (1904). Nach Handbuch der normalen und pathologischen Physiologie. — SPANNER: Z. Anat. 109 (1939). — ZUCKERKANDL: Sitzgsber. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. 87, 3. Abt. (1883); 84, 3. Abt. (1881).