

Aus dem Pathologischen Institut der Universität Münster
(Direktor: Prof. Dr. WILLY GIESE)

Die Endstrombahn der Lunge im postmortalen Angiogramm

Von

W. JUNGHANSS

Mit 9 Textabbildungen

(Eingegangen am 14. Dezember 1957)

Da die bisherigen röntgenologischen Untersuchungen die Endstrombahn der Lunge wenig berücksichtigten, haben wir versucht auf gleichem Wege den Endabschnitt, d. h. den Bereich der kleinsten Arterien und Venen, der Arteriolen und Venolen und der Capillaren darzustellen und über diesen Bereich neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Von den früheren Untersuchungen über die Kreislaufverhältnisse der Lunge ist vor allem die Arbeit von KÜTTNER hervorzuheben, der durch Injektionen mit nicht diffundierenden, in Wasser, Glycerin oder Leim suspendierten Stoffen die Gefäßbahnen der Lunge darstellte und in ausgezeichneten farbigen Zeichnungen festhielt. Seitdem wurde bis in die heutige Zeit von vielen Autoren immer wieder mit gleicher oder ähnlicher Methodik versucht, die normalen oder krankhaften Gefäßverhältnisse in der Lunge zu erforschen. Nach Einführung der Röntgenphotographie wurde auch die Angiographie mit Kontrastmitteln angewandt, um auf diese Weise die Gefäßversorgungen der einzelnen Organe zu erkennen und die Röntgendiagnostik der verschiedenen Krankheiten zu erweitern. 1939 stellte MRYATA den Gefäßbaum der Lunge durch Injektion mit Kontrastbrei bis zu den feineren Pulmonalarterien dar. Ausgedehnte Röntgenuntersuchungen aller Gefäßgebiete des menschlichen Körpers nach dem Tode führten in den letzten Jahren SCHOENMACKERS und VIETEN durch, die sich auch sehr eingehend den röntgenologisch nachweisbaren Lungengefäßveränderungen bei den verschiedensten Krankheitsbildern widmeten. Kürzlich teilte SCHOENGEN ein neues Verfahren mit, Hohlorgane und Gefäße zu untersuchen. Er setzte einem plastischen Material Mennige als Kontrastmittel zu, um sich von seinen Korrosionspräparaten vorher Röntgenbilder zum Vergleich anfertigen zu können. Im neuesten Schrifttum findet sich eine Arbeit von SCHOLTZE, KLINNER und LÖHR, die die zu Lebzeiten gewonnenen Angiogramme tuberkulöser Lungen mit dem postmortalen Gefäßbild der resezierten Lunge verglichen und dabei weitgehende Übereinstimmungen der krankhaften Gefäßveränderungen fanden.

Methodik

Zu unseren Injektionsversuchen verwandten wir die Lungen möglichst frühzeitig nach dem Tode obduzierter Leichen. Die Injektionen wurden am frischen, unfixierten Organ vorgenommen. Wir bevorzugten für unsere Untersuchungen den rechten Lungenmittellappen, der wegen seiner guten Abgrenzbarkeit und geringen Dicke an den Randpartien die beste Voraussetzung für die Analyse der Gefäßverzweigungen bietet. Andere Lungenabschnitte wurden zum Vergleich mitgefüllt. Die Injektionen wurden sowohl von der Arteria pulmonalis als auch

von der Vena pulmonalis aus vorgenommen, wobei die Injektionskanüle meist in der Segment- oder Subsegmentarterie, vereinzelt auch in der Lobulusarterie bzw. in den entsprechenden Lungenvenen lag. Als Kontrastmittel diente uns 40%iges, dickflüssiges Jodipin (Merck, Darmstadt), womit wir ein scharf gezeichnetes, selektives Füllungsbild erhielten. Dabei blieb das Netz der feinsten Blutcapillaren, die für dieses viscöse Kontrastmittel nicht oder schwer durchgängig waren, vorerst ausgespart. In wenigen Vergleichsaufnahmen verwandten wir wäßriges, 70%iges Joduron (Cilag, Schaffhausen), mit dem man sehr rasch eine diffuse Füllung sämtlicher kleinster Capillaren erreichte. Eine nähere Differenzierung der einzelnen Gefäßabschnitte war dabei wegen der diffusen Verschattung der Lunge nicht mehr möglich. Wir fertigten von den meisten Fällen stereoskopische Röntgenaufnahmen an, um uns vom aufgenommenen Objekt eine bessere räumliche Vorstellung zu verschaffen und um Fehldeutungen möglichst zu vermeiden. Von jeder Injektion wurden von 2 oder 3 hintereinanderfolgenden Füllungsstadien Röntgenbilder gemacht. Von der letzten Füllungsphase stellten wir außerdem noch ein primär vergrößertes Röntgenbild her, indem wir den Abstand zwischen Objekt und Film vergrößerten. Nach der Injektion wurden die Lungen in Formalin fixiert und die gefüllten Abschnitte histologisch untersucht.

Untersuchungsergebnisse

1. Verzweigungstypus der Arteria und Vena pulmonalis. Die Äste der Arteria pulmonalis lehnen sich in ihrem Verlauf vom Lungenhilus bis zum Bronchiolus terminalis an das Bronchialsystem an. Diese engen topographischen Beziehungen sind so konstant, daß man das dem Bronchus benachbarte und größtmäßig entsprechende Gefäß unfehlbar als Zweig der Pulmonalarterie ansprechen kann. Arterie und Bronchus sind auf ihrem Weg jeweils im Zentrum des zugehörigen Verzweigungsgebietes anzutreffen. Am Übergang vom Bronchiolus terminalis in die Bronchioli alveolares teilt sich die zugehörige Arteria terminalis dichotomisch in Arteriolen auf. Hier beginnt der arterielle Schenkel der Endstrombahn der Lunge. Die Arteriolen verästeln sich dann weiter nach dem gleichen Verzweigungsmodus in Präcapillaren und Capillaren, deren Blut am Gasaustausch der Alveolen im Acinus teilnimmt. Der venöse Schenkel der Endstrombahn der Lunge endet im Bereich der interacinösen Venolen, die das Blut der Postcapillaren aus dem Alveolarbereich aufgenommen haben.

Bei unseren Injektionsversuchen zeigte es sich nun, daß man die Grenzen eines bestimmten Lungenabschnittes scharf darstellen kann, wenn man die zentral liegende Arterie mit einem Kontrastmittel füllt. Nach Einspritzung von Jodipin in eine Lobulusarterie kann man vor dem Röntgenschirm deutlich die Ausbreitung des Kontrastmittels in den Ästen und peripheren Verzweigungen bis in die Arteriolen beobachten. Wir erhalten dann ein völlig scharf begrenztes, arterielles Füllungsbild des Lobulus, von dem aus keinerlei Verbindungen zu den Nachbarlobuli über irgendwelche Anastomosen oder Gefäßarkaden bestehen. Durch Injektionsversuche mit plastischer Masse hatten NAGA-

SAWA und YAMASHITA ebenfalls gefunden, daß die Lappchenarterie sich jeweils nur in einem einzigen Lappchen aufteilte. Bereits COHNHEIM und LITTEN stellten fest, daß die Verästelungen der Pulmonalarterien nirgends miteinander anastomosieren und somit Endarterien sind (Abb. 1). Stellt man nun 2 in der gleichen Ebene nebeneinanderliegende Lobulusarterien dar, so kommt es an der Grenze beider Lappchen weder zu einer teilweisen Überdeckung der jeweiligen Versorgungsgebiete noch zu einem Ineinandergreifen der Arterienäste. Auf den Röntgenaufnahmen ist weiterhin festzustellen, daß zwischen den scharf abgrenzbaren Verzweigungsfeldern der Lobulusarterien auffällige, streifenförmige, vom Kontrastmittel ausgesparte Bezirke vorerst auftreten. Auf den Kontaktabzügen der Röntgenbilder erscheinen diese vorerst nicht gefüllten Bezirke hell (Abb. 1). Nach weiterem Vortreiben der Injektion füllen sich von peripher nach zentral in diesen auf den Kontaktabzügen hellen Abschnitten abfließende Pulmonalvenenäste (Abb. 2).



Abb. 1. Arterielle Füllung eines Segmentes

Durch seine Injektionsversuche hatte bereits KÜTTNER (1878) festgestellt, daß die Lungenvenen von den kleinen Venen bis zum Hilus in den interlobulären Bindegewebszügen lokalisiert sind. Nach v. HAYEK (1) liegen die Lungenvenen zwischen den Sublobuli und Lappchen in den Septa interlobularia, und jede Lungenvene nimmt Blut aus dem Verzweigungsgebiet zweier entsprechend großer Arterien auf, womit das Blut jeder Arterie durch 2 Venen abfließt. Bei der Betrachtung der stereoskopischen Röntgenaufnahmen unserer Injektionsversuche fand sich, daß der venöse Rückfluß in 2, 3 und teilweise auch 4 septalen Venen erfolgte. PETERSEN hat dieses entsprechende Anordnungsprinzip auch für die kleinen Venen im Bereich der Lobuli beschrieben und diese Gefäße als Venae interlobulares bezeichnet. Die Pulmonalvenen sind in den Septen durch lockeres Bindegewebe fixiert, so daß sie in ihrer Weite vom Volumen der Lunge abhängig sind. Die Arterien sieht v. HAYEK (1) als zug- und biegeunfähige Stützorgane an, da sie wie elastisch biegsame Stäbe das Gewebe der kollabierten Lunge spreizen.

Außerdem wurde das venöse Gefäßsystem durch retrograde Injektion des Kontrastmittels in die Pulmonalvenen dargestellt. Dabei entsteht ein ähnliches, ebenfalls scharf begrenztes Füllungsbild wie das der Pulmonalarterien. Auch hier findet keine Überschneidung der venösen Versorgungsgebiete statt, wenn man 2 benachbarte, in der gleichen Ebene liegende Pulmonalvenen injiziert. Bei stärkerer Auf-



Abb. 2. Arterielle Füllung eines Segmentes mit beginnendem venösen Rückfluß. A Arterie; V Vene

füllung erhielten wir lediglich ein dichteres Füllungsbild, als wir es von den Arterien gewohnt waren. Wir konnten auch bei dieser Versuchsanordnung keinerlei Gefäßverbindungen zu den benachbarten Lungenabschnitten feststellen (Abb. 3). Das Kontrastmittel tritt dagegen rückläufig in die Lungenarterien ein, wenn eine größere Menge des Jodipins unter stärkerem Druck über längere Zeit injiziert wird. Das venöse Füllungsfeld reicht jeweils unmittelbar bis zu den zentrolobulär gelegenen Lobulararterien. Im venösen Gefäßbild kommen Aussparungen für die Arterien — wie wir sie bei der arteriellen Füllung für

die Venen gesehen hatten — bei dieser Versuchsanordnung nicht ganz so deutlich zum Vorschein. Dies muß wohl auf die oben schon erwähnte dichtere Gefäßzeichnung zurückgeführt werden.

Beim Vergleich des arteriellen mit dem venösen Füllungsbild sind am Verlauf und den Verzweigungen der Gefäße wesentliche Unterschiede festzustellen. An der normalen Lunge gehen die Arterienäste von ihrem Stammgefäß im allgemeinen in einem spitzen Winkel zur Stromrichtung ab. Eine größere Abweichung dieses Verzweigungswinkels gibt uns wichtige Hinweise für das Vorliegen bestimmter krankhafter Veränderungen an den Lungen. Im Gegensatz zu den Arterien münden die Äste der Lungenvenen bogenförmig wie ein hängender Zweig ein und bilden dadurch abgestumpfte, oft sogar rechte Winkel.

Bei der Betrachtung der arteriellen und venösen Füllungsbilder im stereoskopischen Röntgenbild fällt eine ganz bestimmte und immer wiederkehrende topographische Anordnung der beiden Gefäßsysteme auf. Die Äste eines arteriellen Gefäßabschnittes dehnen sich allseits von der zentrolobulär liegenden Arterie nur bis zu den entsprechenden Interlobularvenen aus und schneiden hier scharf ab. Die Verzweigungen der Pulmonalvenen erstrecken sich jeweils nur bis zu den im Zentrum angeordneten Arterienstämmen der benachbarten Lungenlappchen. Es ergibt sich somit, daß die arteriellen und venösen Versorgungsgebiete nebeneinanderliegender Lobuli jeweils bis zur Hälfte, d. h. jeweils bis zur zentralen Arterie und zur septalen Vene, mit ihren Ästen ineinandergreifen. So wird es auch verständlich, daß eine am Rande des Lappchens gelegene Vene das Blut aus 3—4 benachbarten Lappchen aufnehmen kann. Auf diese topographischen Beziehungen sind auch die oben bereits erwähnten verschiedenartigen Verzweigungswinkel der Arterien und Venen zurückzuführen.



Abb. 3. Venöses Angiogramm im Subsegment

Bei der Injektion von der Pulmonalarterie aus gelingt es in vielen Fällen, auch Äste der Bronchialarterien darzustellen. Sie bilden sich als dünne, im Durchmesser 0,2—0,5 mm weite Gefäße ab, die in den peripheren Abschnitten einen teilweise gewundenen und spiraligen Verlauf, in den zentralen Segmentanteilen einen mehr gestreckten Verlauf zeigen. Die im Gegensatz zur Pulmonalarterie spärlich abgehenden Seitenäste entspringen meist an den Stellen, wo das Stammgefäß in seiner Verlaufsrichtung einen stufenförmigen Absatz oder eine schraubenähnliche Windung besitzt. Die Auffüllung der Bronchialarterienäste erfolgt einmal über Pleuraanastomosen mit der Arteria pulmonalis und zum anderen über die durch Sperrarterien gebildeten Verbindungen zwischen Arteria pulmonalis und Arteria bronchialis im Peribronchium. Im Röntgenbild erscheinen die subpleuralen Bronchialarterienäste durch ihren spiralig gewundenen Verlauf wie geißelförmige Fortsätze der bis dahin gestreckt verlaufenden Lungenschlagaderäste

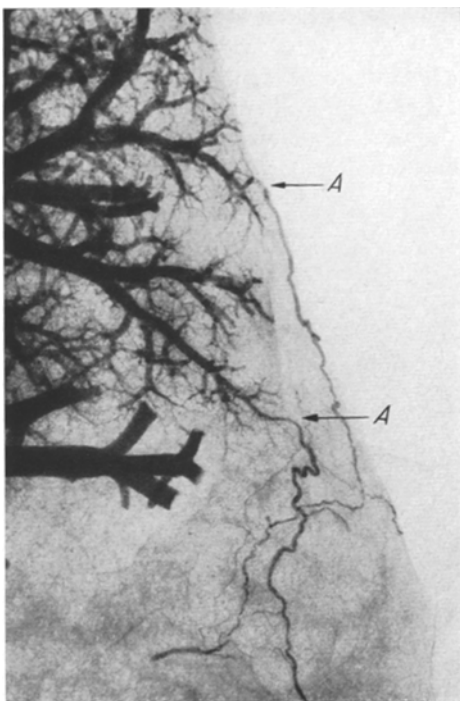


Abb. 4. Arterio-arterielle Anastomosen zwischen Arteria pulmonalis und Arteria bronchialis über Pleuraanastomosen; Vergrößerung 2:1;
A Anastomosenstrecke

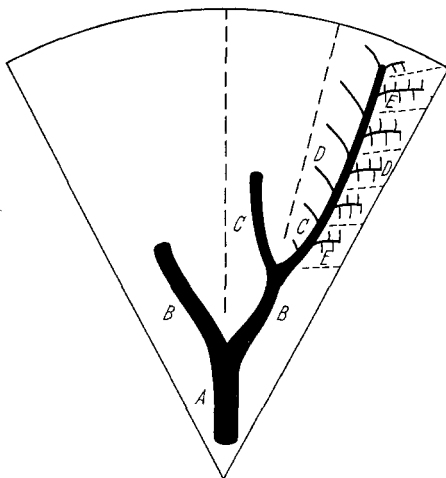


Abb. 5. Die angio-graphische Gliederung des Lungensegmentes. A Segmentarterie; B Subsegmentarterie; C Prälobulararterie; D Lobulararterie; E Terminalarterie

(Abb. 4). Diese subpleuralen Anastomosen fand v. HAYEK (1) vorwiegend im Bereich der Fissurae interlobares und an der mediastinalen Fläche der Lunge. Das anastomotische Gefäß zeigt den Wandbau einer Sperrarterie.

2. Die angiographische Gliederung des Lungensegmentes. Lobus, Segment und Subsegment sind heute festumrissene Einheiten des Lungengewebes. Bereits bei der nächstkleineren Einheit, dem Lungenläppchen oder Lobulus, werden verschiedene Definitionen und Größen angegeben.

Diese Maße wurden durch anatomische Präparation dieser Einheiten gewonnen, vorwiegend auf dem Wege der Isolierung durch Herauszipfen der Septen [v. HAYEK (1)]. Während F. MERKEL von einer Seitenlänge von 1 cm und v. HAYEK (1) von 0,5 cm Breite des Läppchens am unteren Lungenrand und 1 cm Seitenlänge an der costalen und 3 cm an der mediastinalen Fläche sprechen, gibt BRAUS den Durchmesser der Lobuli mit 2–5 cm an. FELIX beschreibt die Lobuli als unregelmäßig würfelförmige bis prismatische Läppchen von 9–21 mm Breite und 15–27 mm Höhe.

Im Angiogramm ist nun deutlich die dichotomische Aufteilung der Segmentarterien in 2 Subsegmentarterien festzustellen. Aus ihnen gehen wiederum je 2 größere Arterien hervor, deren Versorgungsgebiet

eine Länge von 2—5,5 cm und eine Breite von 2—4 cm besitzt (Abb. 5). Das zugehörige Gefäß hat etwa einen Durchmesser von 1,2—1,8 mm. Diese Versorgungseinheit deckt sich mit den von BRAUS angegebenen Größenverhältnissen eines Lobulus. Wir möchten diesen Abschnitt aber als Prälobulus und die dazugehörige Arterie als prälobuläre Arterie bezeichnen, da von diesem Gefäß noch weitere Äste abgehen, aus denen erst durch nochmalige Teilung schließlich Terminalarterien hervor-

gehen. Aus der Prälobulararterie entspringen nach unserem Angiogramm im allgemeinen 6—10 Lobulararterien, die einen Durchmesser von 0,4—0,8 mm besitzen. Die Abgangs-



Abb. 6

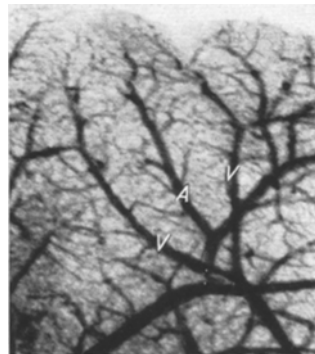


Abb. 7

Abb. 6. Arteriogramm eines Prälobulus; Vergrößerung 2:1. *P* Prälobulararterie; *L* Lobulararterie; *T* Terminalarterie

Abb. 7. Angiogramm eines Lobulus; Vergrößerung 2:1. *A* Zentrolobulär liegende Lobulararterie mit Terminalarterien; *V* in den Septen liegende Interlobularvenen

winkel dieser Gefäße sind weiter geworden und nähern sich einem rechten Winkel (Abb. 5 und 6). Das Ausbreitungsgebiet einer solchen Lobulararterie entspricht einem Lobulus und weist eine Länge von 0,8—2,8 cm und eine Breite von 0,6—1,5 cm auf. An den Kanten des Lappchens stellen sich die in den Interlobularsepten gelegenen, zugehörigen Venen dar, deren Lumen etwa dem der Lobulararterien entspricht (Abb. 7). Diese durch das Angiogramm ermittelten Größenverhältnisse eines Lobulus entsprechen somit den oben erwähnten Angaben von F. MERKEL, v. HAYEK (1) und FELIX. Wenn v. HAYEK (1) auch an bestimmten Lungenabschnitten keine Lappchenzeichnung fand, ist im Angiogramm der Lobulus in allen Lungenteilen als eine abgrenzbare, annähernd gleich große Einheit festzustellen. Von diesen Lobulararterien zweigen nun in

einem nahezu rechten Winkel die Terminalarterien ab, deren Durchmesser nach unseren Untersuchungen etwa 0,2—0,3 mm beträgt (Abb. 6 und 7). Nach einem verzweigungslosen, geraden Verlauf von 1—2 mm teilt sich die Arteria terminalis an der gleichen Stelle in ihre Äste auf, wo die Verzweigung des Bronchiolus terminalis in die Bronchioli respiratorii bzw. alveolares stattfindet. Man kann im Angiogramm diese Aufteilung meist deutlich feststellen (Abb. 6). Diese Aufzweigung geschieht wiederum dichotomisch und lehnt sich wahrscheinlich an die Teilung der Bronchioli respiratorii bzw. alveolares 1. Ordnung in Bronchioli respiratorii bzw. alveolares 2. und 3. Ordnung und ihre Verzweigung in Ductus alveolares an. Die Aufteilung geschieht auf kürzestem Raum, der nach unseren Messungen etwa eine Länge von 1,5—3 mm hat. Dieses Maß entspricht somit ungefähr der von v. HAYEK (1) angegebenen Gesamtlänge der Bronchioli alveolares von 1—3,5 mm. Die aus diesen Aufzweigungen hervorgegangenen Gefäße gehen in das Capillarnetz über und sind auf der Röntgenaufnahme nur schwer zu differenzieren.

Aus diesen Untersuchungen wird es nun möglich, auch die Größenverhältnisse des Lungenacinus vom Gefäßbaum aus anzugeben. Wenn man den Acinus mit LOESCHCKE, BRAUS, MAXIMOW und POLICARD von der Aufteilung des Bronchiolus terminalis in die Bronchioli respiratorii rechnet, so ist diese Stelle mit der im Angiogramm sichtbaren Aufzweigung der Arteria terminalis identisch. Der Acinus hat demnach die Gestalt einer Pyramide bzw. eines Kegels, dessen Spitze an der Teilungsstelle der Terminalarterie liegt. Die beiden Seitenkanten und die Basis dieses als geometrische Figur gedachten Acinus sind somit vom Röntgenbild aus leicht zu messen. Die Kantenlängen des Acinus betragen nach unseren Untersuchungen 4—6 mm. SCHINZ und BAENSCH geben für den Acinus eine Größe von $6 \times 6 \times 9$ mm an. Bei Betrachtung des venösen Füllungsbildes gewinnt man den Eindruck, daß sich die venösen Capillaren in kleinen Venen sammeln, die an den Kanten der Acini liegen und die man als interacinöse Venolen bezeichnen müßte. Nach BRAUS umgibt den einzelnen Acinus eine bindegewebige Kapsel von wechselnder Dicke und schließt ihn gegen seinen Nachbaracinus ab. In diesen interacinösen Septen müßten die interacinösen Venen liegen. Nach v. HAYEK (1) gibt es keine Septa interacinaria. Die gleiche Meinung vertritt ENGEL, nach dessen Ansicht benachbarte Acini mit ihren Alveolen aneinander liegen, ohne daß bindegewebige Septen bestehen. Die Größenverhältnisse des Acinus, die durch die Begrenzung der interacinösen Venen gegeben sind, decken sich mit den bei der arteriellen Füllung erhaltenen Werte. Auch hier errechneten wir die Kantenlänge des Acinus von 4—6 mm.

3. Netz- und Stromkapillaren. Bei unseren Füllungsversuchen machten wir die Beobachtung, daß das injizierte Kontrastmittel be-

reits in die septalen Venen einfließt, bevor das gesamte Capillargebiet gefüllt ist. Das viscöse Jodipin verstopft alle feinen, die Alveolen umspinnenden, 6—11 μ weiten Capillaren und verhindert dadurch die Ausbreitung des Kontrastmittels im perialveolären Capillarnetz. Der Beweis für diese Behauptung ist dadurch zu bringen, daß man bei Verwendung des wäßrigen Jodurons anstatt des öligen Jodipins in kürzester Zeit eine diffuse Capillarfüllung erhält. Wegen der Dichte



Abb. 8. Links: diffuse Capillarfüllung mit Joduron. Rechts: selektive Darstellung bis in das Stromcapillarnetz mit 40 %igem Jodipin

des mit Joduron gefüllten Bezirkes im Röntgenbild sind keine Einzelheiten der Gefäßverläufe mehr zu unterscheiden (Abb. 8). Da im Jodipinbild eine Gefäßstruktur sichtbar wird und eine Parenchymfüllung ausbleibt, muß angenommen werden, daß der Übertritt in die Venen auf präformierten Bahnen unter Umgehung des perialveolären Capillarnetzes erfolgt. Für den Übertritt des viscösen Kontrastmittels von der Arteria pulmonalis in die Vena pulmonalis müssen also im Bereich des Acinus Verbindungen größeren Kalibers (größer als 11 μ Durchmesser) existieren. Weder im primär vergrößerten Röntgenbild noch im sekundär vergrößerten Kontaktabzug sind diese in der Größenordnung der Präcapillaren liegenden Gefäßbrücken einzeln zu erfassen. Es gelingt zwar noch, die Aufteilungen der Terminalarterien in ihre Äste festzustellen, im Bereich der Arteriolen und Präcapillaren ist aber

eine Auflösung in Einzelheiten nicht mehr möglich. Die Verbindungen zwischen Arteriole und Venole, die unter Umgehung des perialveolären Capillarnetzes durchflossen werden, sind im Röntgenbild mit der hier angewandten Methodik nicht mehr eindeutig zu erfassen.

In den histologischen Schnitten der mit Jodipin gefüllten Lungen ist es uns nur vereinzelt gelungen, solche Brückenverbindungen im Bereich des Acinus aufzufinden. Die Schwierigkeit mag wohl darin

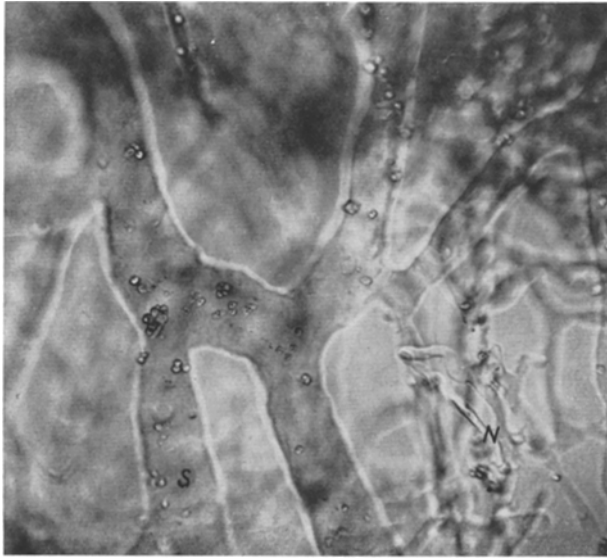


Abb. 9. Plastoidausguß des Lungencapillarnetzes. *S* grobmaschiges, großkalibriges Stromcapillarnetz; *N* feinmaschiges, kleinkalibriges Netzcapillarsystem; 324fache Vergr.

liegen, daß Präcapillaren und Postcapillaren den gleichen Wandaufbau besitzen und höchstens ihrer Lage nach zu unterscheiden sind. Auch die Arteriolen und Venolen ähneln sich in ihrem Aufbau, da sie in ihrer Wand nur vereinzelte Züge glatter Muskulatur enthalten. — Gleichzeitig haben wir Korrosionspräparate untersucht, bei denen eine Auffüllung der Lungenarterien mit Plastoid vorgenommen worden war. Dabei wird eine Füllung der feinen, die Alveolen umspinnenden Capillaren erreicht. Bei der Betrachtung im Stereomikroskop konnten wir auch hier kurze astlose Gefäßbrücken feststellen (Abb. 9). Der Durchmesser dieser Verbindungen beträgt nach unseren Messungen 20—40 μ ; den am häufigsten gefundenen Wert sahen wir bei etwa 25 μ . Die durch unsere Untersuchung erhaltenen Zahlen liegen in der Größenordnung der Präcapillaren, für die ein Durchmesser von 40—15 μ angegeben wird [MIYATA, H. MERKEL, VANDENDORPE, v. HAYEK (1)]. Die Verbindungen, die hier bestehen, zeigen aber nicht den Bau von Arteriolen, sondern von weiten Capillaren.

Nach Durchströmen der Lungengefäße und nach Röntgenaufnahmen von mit radiopaken Massen injizierten Lungen haben TOBIN und ZARIQUIEY Nebenschlüsse zwischen Lungenarterie und -vene gesehen. Sie beobachteten im Bereich der Lungenläppchen direkte Anastomosen zwischen Pulmonalarterie und Pulmonalvene mit einer Weite von $500\ \mu$. Wir konnten solche Verbindungen, die im Angiogramm gut sichtbar sein müßten, an unseren Röntgenbildern nicht bestätigen. Die gleichen Autoren fanden weiterhin „arterio-venous shunts“ im Bereich der kleineren Bronchien und der Bronchioli alveolares mit einem Durchmesser von $50\text{--}100\ \mu$ und in der Nähe der Alveolen und Alveolensäckchen mit einer Weite von $20\text{--}25\ \mu$. Diese im Bereich der Alveolen gefundenen Werte decken sich mit den Maßen unserer Untersuchungen.

E. MÜLLER durchströmte menschliche Lungen von der Pulmonalarterie aus mit relativ grobmolekularen Teilchen (Kartoffelstärke mit einer Teilchengröße zwischen 20 und $80\ \mu$), wobei erst nach etwa 30 min die Passage völlig zum Versiegen kam. Da sich bei der histologischen Untersuchung im Venenplexus der Bronchialschleimhaut keine Stärketeilchen nachweisen ließen, kann der von v. HAYEK (1), (2), LAPP (1), (2) und anderen Autoren beschriebene arterio-venöse Kurzschluß über die broncho-pulmonalen Sperrarterien—Bronchialarterien—arterio-venöse Anastomosen zum bronchialen Venennetz—Pulmonalvenen nicht durchflossen worden sein. MÜLLER fand dagegen im mikroskopischen Präparat, daß auffallend viele Stärkekörnchen in „stark dilatierten, septalen, dünnwandigen Gefäßen lagen, die größer als die Capillaren waren“. Er vermutete, daß der gewöhnliche Durchströmungsdruck nicht ausreichte, um die arterio-venösen Anastomosen „in Funktion zu setzen“. Auch in den subpleuralen Gefäßen war nur sehr spärlich Stärke vorhanden, so daß sich die Durchströmung in zentralen Lungenabschnitten abzuspielen schien. Wir möchten annehmen, daß es sich bei diesen mit Stärke gefüllten, septalen Gefäßen um kleinste Venen handelt. Da eine Verschleppung der Stärketeilchen über das alveolare Capillarnetz in den venösen Schenkel uns wegen ihrer Größe ($20\text{--}80\ \mu$) nicht möglich erscheint, der Kurzschluß über die Bronchialvenen und subpleurale Anastomosen aber auch nicht begangen wurde, müssen die eingebrachten Körnchen über die von uns geforderten Gefäßbrücken in die Venen gelangt sein.

Diese zwischen Prä- und Postcapillaren befindlichen Gefäßbrücken sind nach unserer Meinung immer von Blut durchströmt. Sie liegen an der Basis der Alveolen und nehmen somit auch am Gasaustausch teil. Nach den Beobachtungen von JACOB und KROGH wollen wir diesen immer offen bleibenden Gefäßweg als Stromcapillaren bzw. Ruhecapillaren bezeichnen. Nach den Untersuchungen von ZWEIFACH und von KOSSMANN und ZWEIFACH an verschiedenen Tierorganen besitzen diese der Erhaltung der „Ruhezirkulation“ dienenden Capil-

laren eine größere Weite und Muskelzellen. Diese „arterio-venous bridges“ verbinden Arteriolen und Venolen auf dem kürzesten Weg. Aus diesen Brückengefäßen geht der muskelfreie Typ der eigentlichen Capillaren („true capillaries“) hervor, die man mit KROGH und JACOB als Netzcapillaren bzw. Arbeitscapillaren bezeichnet. Diese Netzcapillaren werden je nach Anforderung des Körpers wechselnd mit Blut durchströmt.

Nach den aus unseren Injektionsversuchen gewonnenen Erfahrungen wurde bereits von GIESE (1) darauf hingewiesen, daß neben die bisherige Ansicht, daß alles Blut die Netzcapillaren passieren müsse, folgende neue Anschauung gestellt werden darf: Das Netzcapillarsystem der Lunge wird als Arbeitskreislauf nur fakultativ, das Stromcapillargebiet aber obligat von Blut durchflossen. Ob es sich hierbei um zwei verschiedene, anatomisch abgrenzbare Capillartypen oder um verschiedene Funktionszustände dieser Capillaren handelt, ist noch nicht gesichert.

Zusammenfassung

Im postmortalen Angiogramm zeigen Arterien und Venen konstante topographische Anordnung. Die Lobulusarterie besitzt ein völlig scharf begrenztes Versorgungsfeld ohne Gefäßverbindungen zu den Nachbarlobuli. Sie verhält sich wie eine Endarterie. Der venöse Rückfluß erfolgt gewöhnlich in 2, selten in 3 oder 4 Interlobularvenen, die in den Randsepten liegen. Die Zweige der zentrolobulär liegenden Arterien reichen bis zu den Interlobularsepten.

Ein ähnliches, scharf begrenztes Füllungsbild entsteht auch bei Injektionen von entsprechenden Pulmonalvenenästen. Interlobuläre Venenäste haben untereinander keine Anastomosen. Ihre Zweige reichen jeweils bis zu den zentrolobulär angeordneten Arterienstämmen der benachbarten Lungenläppchen.

An Hand des arteriellen Füllungsbildes wird zwischen Subsegment und Lobulus noch ein Prälobulus unterschieden. Die Prälobulararterie teilt sich in 6—10 Lobulararterien, von denen in nahezu rechtem Winkel die Terminalarterien abgehen. Diese versorgen den Acinus, dessen Kantenlänge im Angiogramm 4—6 mm beträgt.

Die Lungencapillaren gliedern sich in Netz- und Stromcapillaren. Im Angiogramm werden die Stromcapillaren als zusammenhängendes Netz mit einem Gefäßkaliber von 20—40 μ dargestellt. Der venöse Rückfluß eines hochviscösen, die Netzcapillaren verstopfenden Kontrastmittels erfolgt über die Stromcapillaren.

Die Bronchialarterien füllen sich im pulmonalen Arteriogramm über Pleuraanastomosen oder über interarterielle Verbindungen im Peribronchium.

Literatur

- BRAUS, H.: Anatomie des Menschen, Bd. II. Berlin: Springer 1940. — CLARA, M.: Die arterio-venösen Anastomosen. Wien: Springer 1956. — COHNHEIM, J., u. M. LITTEN: Über die Folgen der Embolie der Lungenarterien. Virchows Arch. path. Anat. **65**, 99 (1875). — ENGEL, St.: Die Lunge des Kindes. Stuttgart 1950. — FELIX, W.: In F. SAUERBRUCH, Chirurgie der Brustorgane, Bd. I. Berlin: Springer 1928. — GEHLEN, H. v.: Der Acinus der menschlichen Lunge als elastisch-muskulöses System. Morph. Jb. **85**, 186 (1940). — GIESE, W.: (1) Über die Endstrombahn der Lunge. Oeynhausers Gespräche, 1956. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1957. — (2) Acinus und Lobulus der Lunge. Zbl. allg. Path. path. Anat. **97**, 233 (1957). — HAYEK, H. v.: (1) Die menschliche Lunge. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1953. — (2) Die Alveolarepithelien und die pulmonalen Gefäßanastomosen. Beitr. Silikose-Forsch. Sonderbd. **1955**, 229. — ILLIG, L.: Capillar „contractilität“, Capillar „sphincter“ und „Zentralkanäle“ („A.-v. Bridges“). Klin. Wschr. **1957**, 7. — JACOB, W.: Beobachtungen am peripheren Gefäßapparat unter lokaler Beeinflussung desselben durch pharmakologische Agentien. Naunyn-Schmiedeberg's Arch. exp. Path. Pharmac. **86**, 49 (1920). — KROCH, A.: Anatomie und Physiologie der Capillaren. Berlin: Springer 1929. — KÜTTNER: Beitrag zur Kenntnis der Kreislaufverhältnisse der Säugetierlunge. Virchows Arch. path. Anat. **73**, 476 (1878). — LAPP, H.: (1) Über die Sperrarterien der Lunge und die Anastomosen zwischen A. bronchialis und A. pulmonalis, über ihre Bedeutung, insbesondere für die Entstehung des hämorrhagischen Infarktes. Frankfurt. Z. Path. **62**, 537 (1951). — (2) Zur Pathologie der Blutgefäßanastomosen in der Lunge. Verh. dtsh. Ges. Path. (34. Tagg.) **1951**, 273. — LOESCHKE, H.: Die Morphologie des normalen und emphysematösen Acinus der Lunge. Beitr. path. Anat. **68**, 213 (1921). — MAXIMOW, A., and W. BLOOM: Textbook of histology, p. 445. Philadelphia 1949. — MERKEL, F.: BARDELEBENS Handbuch der Anatomie, Bd. VI/1, S. 98. Jena 1902. — MERKEL, H.: Zur Histologie der Lungengefäße. Beitr. path. Anat. **105**, 176 (1941). — MIYATA, S.: Aufbau und Gestalt der peripheren arteriellen Strombahn des kleinen Kreislaufs. Virchows Arch. path. Anat. **304**, 608 (1939). — MÜLLER, E.: Zur funktionellen Pathologie der Sperrarterien und der arterio-venösen Kurzschlüsse der Lunge am Beispiel der Geschwulstzell-Embolie. Frankfurt. Z. Path. **64**, 459 (1953). — NAGASAWA, N., and M. YAMASHITA: The threedimensional and microscopic observations of lung injected with acrylicresin. Ann. Tbc. (Yokohama) **3**, 94 (1952). Ref. Ber. allg. spez. Path. **18**, 60 (1953). — PETERSEN, H.: Beobachtungen über den Feinbau verschiedener Organe. Z. Zellforsch. **10**, 511 (1930). — POLICARD, A.: Le poumon. Paris 1955. — SCHOENGES, G.: Die Verwendung von Röntgenkontrastmitteln bei Korrosionsmethoden. Zbl. allg. Path. path. Anat. **96**, 400 (1957). — SCHOENMACKERS, J., u. H. VIETEN: Atlas postmortaler Angiogramme. Stuttgart 1954. — SCHOLTZE, H., W. KLINNER u. H. H. LÖHR: Sind die im Angiogramm bei der chronischen Lungentuberkulose erkennbaren Veränderungen funktioneller oder morphologischer Art? Beitr. Klin. Tuberk. **117**, 244 (1957). — TOBIN, Ch. E., and M. O. ZARIQUEY: Arteriovenous shunts in the human lung. Proc. Soc. exp. Biol. (N.Y.) **75**, 827 (1950). — VANDENDORPE, F.: Structure de l'artériole pulmonaire. Ann. d'Anat. path. **13**, 652 (1936). — ZWEIFACH, B. W.: Direct observation of the mesenteric circulation in experimental animals. Anat. Rec. **120**, 277 (1954). — ZWEIFACH, B. W., and C. E. KOSSMANN: Micromanipulation of small blood vessels in the mouse. Amer. J. Physiol. **120**, 23 (1937).

Dr. W. JUNGHANSS, Pathologisches Institut der Universität,
Münster i. Westf., Westring 17