

Atlas der
selektiven Lungenangiographie

Zugleich ein Beitrag zur Funktionsanalyse der Lungen und des kleinen Kreislaufes

Von

Dr. R. SEMISCH

Assistent der Chir. Univ.-Klinik Jena

Dr. J. GESSNER

Assistent der Chir. Univ.-Klinik Jena

Dr. H.-L. KÖLLING

Assistent der Röntgenabteilung an der
Chir. Univ.-Klinik Jena

Dr. H. H. WITTIG

Assistent der Med. Univ.-Poliklinik
Jena

Mit einem Geleitwort von Prof. Dr. H. KUNTZEN

Direktor der Chirurgischen Universitäts-Klinik Jena

Mit 84 Abbildungen



VEB GUSTAV FISCHER VERLAG · JENA

1958

ES 17. F. 2/17. G

Alle Rechte vorbehalten — Printed in Germany
Copyright 1958 by VEB Gustav Fischer Verlag, Jena — Lizenz-Nummer 261 215/62;57
Gesamtherstellung bei Druckerei Fortschritt, Erfurt
Gesetzt aus Didot-Antiqua

Geleitwort

Die Erweiterung der operativ-technischen Möglichkeiten, die die letzten Jahre gebracht haben, läßt auf so manchem Teilgebiet der Chirurgie die Frage in den Vordergrund treten, wie der Körper sich mit den großen Defekten abfindet, die der Operateur bei der Entfernung lebensbedrohlicher Krankheitsherde setzen muß. Während in der Chirurgie des Herzens und der großen Gefäße und des Bewegungsapparates der Ersatz durch Transplantate, in der Chirurgie des Magendarmkanals und der endokrinen Drüsen die Substitutionstherapie eine zunehmende Rolle spielen, sind bei ausgedehnten Lungenresektionen solche Möglichkeiten nicht gegeben. Hier lautet die Frage vielmehr: Wie weit reicht die Anpassungsfähigkeit des verbleibenden Restes des Atmungsapparates aus, um dem Körper genügend Sauerstoff zu liefern? Der Operateur muß sich also bei der Indikationsstellung zu einer Lungenresektion nicht nur über Art, Sitz und Ausdehnung eines krankhaften Prozesses klar sein, sondern er braucht ebenso eine genaue Funktionsanalyse der voraussichtlich verbleibenden gesunden Lungenanteile, die später die Gesamtleistung zu übernehmen haben.

Der zu einer funktionellen Einheit verbundene Komplex: Lunge, rechtes Herz und kleiner Kreislauf ist ein Grenzflächenorgan zwischen gasförmigem und flüssigem Medium, zwischen Luft und Blutflüssigkeit. Die funktionelle Untersuchung kann und muß von zwei Seiten aus angreifen, von der des gasförmigen und der des flüssigen Mediums aus.

Die Messung der Ventilationsgrößen der Gesamtlunge und ihrer einzelnen Teile und die Gasanalysen der Atemgemische sind ebenso notwendige Untersuchungen wie die Bestimmung haemodynamischer Größen und die Analyse des O_2 und CO_2 Gehaltes des Blutes vor und nach der Lungenpassage. Sie erlauben indirekte Schlüsse auf das entscheidende funktionelle Parenchym, das eigentliche Zentrum des Atmungsapparates, das Austauschgebiet Alveolen, Grenzmembranen, Kapillargebiet.

Der Herzkatheter dringt zwar in das Stromgebiet des kleinen Kreislaufes vor bis zu den mittleren Arterienverzweigungen, aber weiter kommt er nicht. Erst die von hier aus weiter vorgetriebene Kontrastfüllung der einzelnen subsegmentalen Arterien und der Arteriolen bis zum Kapillargebiet und zum venösen Schenkel der Strombahn erlaubt die morphologische Darstellung der feinsten Gefäßarchitektur, aus der sich wiederum weitgehende Schlüsse auf die funktionelle Potenz des Lungenparenchyms ziehen lassen.

Mit dieser von BOLT und RINK ausgearbeiteten Methode hat die Arbeitsgruppe der Chirurgischen Klinik, des Chirurgischen Röntgeninstitutes und der Medizinischen Poliklinik Jena, die Herren SEMISCH, GESSNER, KÖLLING und WITTIG, unser großes lungenchirurgisches Krankengut systematisch untersucht, klinisch ausgewertet und verfolgt und an Resektionspräparaten kontrolliert. Die wertvollen Erfahrungen, die dabei gemacht wurden, die unsere Indikationsstellungen jetzt ständig maßgeblich beeinflussen, werden mit diesem Buch niedergelegt mit dem Wunsche und der Überzeugung, daß es vielen lungenchirurgischen Arbeitsstätten ein wertvoller Helfer und Ratgeber sein möge.

Prof. Dr. Heinrich Kuntzen
Direktor der Chir. Univ.-Klinik Jena

Vorwort

Funktionsuntersuchungen der Lungen und des kleinen Kreislaufes haben sich für die Lungenchirurgie als unerläßlich erwiesen.

Wenn wir mit dieser Monographie die Bedeutung der selektiven Lungenangiographie für die Funktionsdiagnostik besonders herausstellen, so geschieht dies, weil sie sich an unserem großen Krankengut als subtiler und zuverlässiger Ratgeber in präoperativen Funktionsfragen der Lungenchirurgie besonders bewährt hat.

Es ist nicht unsere Absicht, die Leistungsfähigkeit der selektiven Lungenangiographie in funktioneller Hinsicht anderen Methoden gegenüber abzugrenzen, noch ihre Überlegenheit zu postulieren. Vielmehr hielten wir uns für berechtigt, einen zusammenfassenden Überblick von den Möglichkeiten selektiver Kontrastdarstellung der Lungengefäße und der Struktur ihrer Bilder bei verschiedenen Lungenerkrankungen zu vermitteln. Dies setzt die Kenntnis des Feinbaues der normalen Lungenstrombahn und ihrer angiographischen Darstellung voraus. Insofern liegt das Hauptgewicht unseres Versuches auf der zusammenhängenden Veröffentlichung eines größeren lungenangiographischen Bildmaterials, zumal nach unserer Kenntnis eine solche in dem uns überschaubaren Bereich noch nicht erfolgt ist.

In der Vermittlung der theoretischen Begründung des Wertes der Lungenangiographie in funktioneller Hinsicht, haben wir uns bewußt der Kürze befleißigt und sind nur insoweit solchen Erörterungen näher getreten, als dies für das Verständnis des Gesamtzusammenhanges notwendig erschien. Es kam uns besonders darauf an, die angiographisch faßbaren Veränderungen der Lungengefäße zu kennzeichnen und innerhalb zusammengehöriger Gruppen möglichst übersichtlich zu ordnen.

Nicht zuletzt aber sind wir der Meinung, daß die selektive Angiographie der Lungenstrombahn nunmehr ihren Weg als wertvolle Untersuchungsmethode in eine größere Anzahl von Lungenkliniken antreten wird. Möge das von uns vorgelegte Bildmaterial dann als Wegweiser in der Beurteilung selektiver Angiogramme dienlich sein.

Unser besonderer Dank gilt dem Direktor der Chirurgischen Universitäts-Klinik Jena, Herrn Professor Dr. H. KUNTZEN, der in überaus verständnisvoller Weise unsere Arbeiten unterstützte und stetig förderte. Dem Leiter der Röntgenabteilung an der Chirurgischen Universitäts-Klinik Jena, Herrn Professor Dr. D. v. KEISER, seinen Mitarbeitern und Röntgenassistentinnen schulden wir Dank für freundliche Mitarbeit und manche Rücksichtnahme. Operations-Oberschwester ELLY JAEGER ermöglichte uns in technischer Hinsicht ein reibungsloses Arbeiten. Ihr selbst und allen mitbeteiligten Operationsschwestern sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

Es ist uns ein besonderes Anliegen, dem VEB Gustav Fischer Verlag in Jena für sein freundliches Entgegenkommen und die unseren Wünschen Rechnung tragende Ausgestaltung bestens zu danken.

Jena, im Herbst 1957

R. Semisch, J. Gessner, H.-L. Kölling, H. H. Wittig

Inhaltsübersicht

Geleitwort	V
Vorwort	VII
A. Einleitung	1
B. Kurzer geschichtlicher Rückblick auf die Entwicklung der Kontrastdarstellung der Lungengefäße	2
C. Grundlagen der Funktionsdiagnostik des kleinen Kreislaufs	3
1. Theoretische Voraussetzungen der selektiven Lungenangiographie	4
2. Möglichkeiten lungenangiographischer Diagnostik	4
3. Die selektive Lungenangiographie in der Diagnostik des Cor pulmonale chronicum	5
4. Die Bedeutung der selektiven Angiographie in der Lungenchirurgie	6
D. Allgemeine Gesichtspunkte für die Durchführung einer Herzkatheterung mit selektiver Lungenangiographie	8
E. Spezielle Fragen der selektiven Lungenangiographie	11
1. Anatomie der Lungengefäße	11
a) Lungenarterien	11
b) Lungenvenen	11
2. Röntgenprojektion der Lungenarterien	13
3. Kontrastmittel	13
4. Spezielle angiographische Technik	14
5. Spezielle Fragen der Röntgentechnik	17
a) Durchleuchtung	17
b) Aufnahmen	18
F. Die Strukturen der Lungenstrombahn bei selektiver Angiographie	21
I. Das normale angiographische Bild der Lungenstrombahn	21
II. Pathologische Veränderungen der Lungengefäße	71
1. Die selektive Angiographie beim chronisch-substantiellen Lungenemphysem	71
2. Die selektiv-angiographische Darstellung der Atelektasen	103
3. Die selektive Angiographie bei der Lungentuberkulose	124
4. Angiographische Befunde nach Lungenresektionen	163
5. Besondere angiographische Befunde bei Verschwartungen, Bronchiektasen und Lungentumoren	172
G. Schlußbetrachtung	183
Literatur	185
Sachregister	188

A. Einleitung

Die sprunghafte Entwicklung der modernen Lungenchirurgie hat eine Fülle funktioneller Probleme im Bereich der Lungen und des kleinen Kreislaufs aufgeworfen, zu deren Lösung eine große Anzahl verschiedenartiger Methoden aufgeboten und angewendet worden sind.

Die ihnen allen gemeinsame Absicht liegt in dem Bestreben, dem Chirurgen an Hand ihrer Ergebnisse präoperativ ein hinreichendes Bild der Leistungsfähigkeit des cardiopulmonalen Systems zu vermitteln, auf Grund dessen eine Abschätzung des Risikos einer Lungenoperation möglich ist. Darüberhinaus aber muß es das Anliegen solcher Funktionsuntersuchungen sein, den zu erwartenden Zustand nach einer Lungenresektion sozusagen vorwegzunehmen, um zu prüfen, ob die danach resultierenden Belastungen respiratorischer und zirkulatorischer Natur für den betroffenen Organismus tragbar sein werden.

In diesem Zusammenhang kommt der selektiven Angiographie der Lungengefäße erhebliche Bedeutung zu. Die detaillierte angiographische Darstellung der peripheren Lungenstrombahn liefert infolge der unmittelbaren Koppelung von Ventilation und Durchblutung ein Abbild der funktionellen Struktur dargestellter Lungenanteile, das über eine globale Analyse hinaus in den Bereich regionaler Funktionsdiagnostik der Lungen und des kleinen Kreislaufs vorstößt (KNIPPING, BOLT, VALENTIN, VENRATH; BOLT und RINK; RINK).

In der Art der Methode selbst liegt der nicht zu unterschätzende Vorteil einer gleichzeitig möglichen Beurteilung des kleinen Kreislaufs und des Lungenparenchyms. Unter Berücksichtigung anderer haemodynamischer Faktoren sind weiterhin auch Rückschlüsse auf den Grad der Belastung des rechten Herzens infolge einer Lungenerkrankung möglich, Rückschlüsse, denen in der praktischen Lungenchirurgie wesentliche Bedeutung zuzumessen ist.

B. Kurzer geschichtlicher Rückblick auf die Entwicklung der Kontrastdarstellung der Lungengefäße

Die Durchführung einer selektiven Lungenangiographie hat die Anwendung der FORSSMANNschen Herzsonde zur unbedingten Voraussetzung. FORSSMANN selbst muß auch als Inaugurator der Kontrastdarstellung des Herzens und der Lungenstrombahn angesehen werden. In Weiterentwicklung seiner 1931 veröffentlichten Versuche wurde die Angiocardiopneumographie herausgebildet, die mit den Namen LOPO DE CARVALHO; HEUSER; MONIZ; ROBB und STEINBERG; LÖFFLER; JANKER verknüpft ist.

Die Angiocardiopneumographie unter Anwendung großer Kontrastmittelmengen (30 — 70 ml) von einer peripheren Vene aus oder über einen ins rechte Herz bzw. den Stamm der Arteria pulmonalis eingelegten Herzkatheter, vermittelt ein simultanes Füllungsbild beider Lungen von mehr oder weniger starker Kontrastdichte. In der Regel erfolgt eine zureichende Darstellung der Lungengefäße bis zur Größenordnung der Segmentarterien.

Abgesehen von den mit der Injektion großer Kontrastmengen bei kurzer Applikationszeit verbundenen Gefahren, liegt der Wert solcher simultanen Gefäßdarstellungen in der Kennzeichnung größerer und zumeist morphologischer Abwegigkeiten der Lungenstrombahn.

BOLT und RINK haben 1950 bewußt eine angiographische Darstellung der peripheren Lungenstrombahn angestrebt und die von ihnen ausgearbeitete Methode als selektive Lungenangiographie ausgewiesen. Ihnen gelang erstmals die subtile Kennzeichnung der Lungengefäße in der Größenordnung der Segmente und Subsegmente unter Verwendung kleiner Kontrastmittelmengen (5 — 10 ml). In Zusammenarbeit mit anderen Autoren kommt ihnen das Verdienst zu, die wesentlichen strukturellen Abwegigkeiten der peripheren Lungenstrombahn bei verschiedenartigen Lungenerkrankungen aufgedeckt und bezüglich ihrer funktionellen Bedeutung erforscht zu haben. (BOLT und RINK; BOLT, FORSSMANN, RINK; BOLT und ZORN; BOLT, STANISCHEFF, ZORN; KNIPPING, BOLT, VALENTIN, VENRATH).

C. Grundlagen der Funktionsdiagnostik des kleinen Kreislaufes

Die theoretischen Erkenntnisse und die praktischen klinischen Erfahrungen haben eindringlich dargetan, daß die funktionellen Probleme in der Lungenchirurgie keineswegs vorrangig respiratorischer Natur sind. Vielmehr ist die Atmung in so unmittelbarer Weise an die Funktionen des kleinen Kreislaufs geknüpft, daß nur die Beachtung beider sich gegenseitig bedingender Faktoren zu einem genügenden funktionellen Überblick führt.

Die Tatsache, daß jede Lungenerkrankung, die mit einer Einengung des kleinen Kreislaufs einhergeht, dem rechten Herzen zusätzliche Lasten aufbürdet, muß heute, besonders im Bereich der Lungenchirurgie, genügende Beachtung finden. Die Ermittlung des Grades einer bereits bestehenden oder zu erwartenden Rechtsbelastung des Herzens gewinnt entscheidendes Gewicht für die Indikation zur operativen Entfernung großer Lungenflächen und damit zur zwangsläufigen Einengung des Lungenstrombettes.

Offenbar hängt der Ausgang einer Lungenresektion weitgehend von der Anpassungsfähigkeit des kleinen Kreislaufs und der Leistungsbreite des rechten Herzens an den durch die Operation geschaffenen Zustand ab.

Wir haben zeigen können (SEMISCH, KÖLLING, WITTIG), daß in unserem Krankengut etwa 50% der Todesfälle nach Lungenoperationen auf ein acutes und subacutes Versagen des rechten Herzens zurückgeführt werden mußten.

Unter diesen Umständen rückt der Begriff des Cor pulmonale in das Zentrum der funktionsdiagnostischen Überlegungen in der Lungenchirurgie.

Auf der Grundlage der Arbeiten von COURNAND und Mitarbeitern; KNIPPING, BOLT, VALENTIN, VENRATH; BOLT, FORSSMANN, RINK; RINK; DENOLIN; ROSSIER und BÜHLMANN; v. EULER u. a. haben wir unser Augenmerk bezüglich der praeeoperativen Funktionsdiagnostik besonders den Veränderungen des kleinen Kreislaufs und der Beurteilung des rechten Herzens zugewendet. Neben der Druckmessung in den rechten Herzhöhlen und der Lungenstrombahn bezogen wir insbesondere die *selektive Angiographie* der Lungengefäße für die funktionelle Beurteilung in den Kreis der Untersuchungen ein.

Wir hatten zunächst nur zögernd unseren funktionsdiagnostischen Apparat durch die Herzkatheterung, Druckmessung und selektive Angiographie erweitert. Unter zunehmender Erfahrung und Kenntnis ihrer Leistungsfähigkeit erwiesen sie sich in praktischer Hinsicht für die funktionelle Beurteilung allen früher von uns geübten Methoden so überlegen, daß sie heute unsere klinische Funktionsdiagnostik innerhalb der Lungenchirurgie weitgehend beherrschen.

Zudem haben wir uns von den nur geringen Risiken der Methode überzeugen können. Sie stehen jedenfalls in gar keinem Verhältnis zu den Gefahren, die eine bei unzureichender Indikation ausgeführte Lungenresektion in sich birgt. Auch den Patienten ist die Routineanwendung geläufig geworden. Im übrigen verläuft die Untersuchung bei genügender Sorgfalt für den Patienten praktisch schmerzfrei und ohne unangenehme Sensationen.

Es ist unsere Absicht, in diesem Bericht eine weitgehende Darstellung der selektiven Lungenangiographie zu versuchen und ihre Bedeutung für die morphologische und funktionelle Beurteilung der Lungenstrombahn abzugrenzen. Die für die Gesamtbeurteilung des kleinen Kreislaufs unentbehrliche Druckmessung in den einzelnen Abschnitten desselben soll hier nur insoweit gestreift werden, als es für den Zusammenhang und für das Verständnis notwendig erscheint.

1. Theoretische Voraussetzungen der selektiven Lungenangiographie

1947 und 1948 haben in Untersuchungen an isolierten perfundierten Lungen, im Tierversuch und später auch am Menschen die Arbeitskreise um COURNAND und v. EULER den Nachweis führen können, daß die Durchblutung der Lungen in unmittelbarer Abhängigkeit von der Höhe der Partialdrucke des Sauerstoffs und der Kohlensäure in den Alveolen steht. Hypoxie und Hypercarbie führen in den betroffenen Lungenabschnitten, bzw. in der ganzen Lunge zu einer Vasokonstriktion, in deren Gefolge ein erheblicher und deutlich meßbarer Anstieg der Drucke in der Pulmonalarterie statthat. Hypoxie und Hypercarbie führen zur pulmonalen Hypertension. v. EULER spricht von der barorezeptiven Steuerung der Gefäßweite in den Lungen. Dieser barorezeptive Effekt ist auch an der denervierten Lunge nachweisbar.

Umgekehrt konnten KNIPPING, BOLT, VALENTIN und VENRATH den Beweis erbringen, daß eine Drosselung der Lungendurchblutung auch zu einer Verkleinerung der Atmung führt.

Diese Erkenntnisse über die barorezeptive Steuerung der Lungengefäße haben für die Beurteilung selektiver Angiogramme grundlegende Bedeutung. Sie liefern die Gewißheit, daß wir mit den angiographischen Bildern der Lungenstrombahn im wahren Sinne Funktionsabbilder des Lungenparenchyms erhalten, da Ventilation und Durchblutung in unmittelbarer Weise und untrennbar gekoppelt sind.

Weitere entscheidende Voraussetzungen für die uneingeschränkte Beurteilbarkeit des Lungengefäßbildes sind:

1. Das Vorhandensein großer perivascularer Lymphräume im Bereich des arteriellen Gefäßschenkels (v. HAYEK),
2. Der Nachweis, daß die Injektion moderner Kontrastmittel in die Lungenarterien keine Veränderungen in deren Gefäßweite hervorruft (BOLT).

Die artiiellen Lungengefäße werden von ihrem Eintreten in das Lungenparenchym an bis zum Übergang in die Arteriolen von perivascularen Lymphräumen eingeschidet, die ihnen gestatten, ihre Weite unabhängig von der Spannung des umgebenden Lungengewebes zu ändern. Eine Änderung des Dehnungszustandes der Lungen bleibt ohne Einwirkung auf das augenblickliche arterielle Gefäßkaliber.

BOLT teilte 1955 mit, daß von ihm innerhalb seiner Versuchsreihen nie spastische Veränderungen an den vom Kontrastmittel durchspülten Lungengefäßen gefunden werden konnten.

2. Möglichkeiten lungenangiographischer Diagnostik

Der selektiven Lungenangiographie kommen grundsätzlich zwei Möglichkeiten zu:

- a) Die Darstellung morphologischer Veränderungen des Lungenparenchyms in Gestalt ihrer Rück- bzw. Auswirkungen auf die Struktur der Lungengefäße.
- b) Rückschlüsse aus der funktionellen Struktur der Lungenstrombahn auf den Grad der Belastung des rechten Herzens.

Die selektive Angiographie der Lungengefäße gestattet es, Einblick in den tatsächlich vorhandenen Gesamtquerschnitt der Lungenstrombahn, insbesondere den seiner peripheren Gefäßgebiete, zu erhalten. Infolgedessen bietet sich durch sie die Möglichkeit, Einengungen der Strombahn des kleinen Kreislaufs verschiedener Genese sichtbar zu machen. Die graduellen Ausmaße solcher angiographisch faßbarer Veränderungen können als Maß für die Belastung des rechten Herzens dienen. Ihnen kommt deshalb in der Diagnostik des Cor pulmonale chronicum erhebliche Bedeutung zu. Letzteres, dem wir selbst ein entscheidendes Gewicht und eine zentrale Stellung in der Lungenchirurgie beimessen, war noch vor wenigen Jahren ein diagnostisch schwierig zu erfassendes und etwas fragwürdiges Syndrom. Sein Krankheitsbild wurde in den meisten Fällen übersehen.

3. Die selektive Lungenangiographie in der Diagnostik des Cor pulmonale chronicum

Wenn Erkrankungen des linken Herzens ausgeschlossen werden können, die in der Lage sind, eine pulmonale Hypertension hervorzurufen, so ist das Cor pulmonale chronicum als Folge anatomischer oder funktioneller Veränderungen des Lungenparenchyms aufzufassen, die mit einer Einengung der Lungenstrombahn einhergehen. Die zur Einengung des kleinen Kreislaufs führenden Veränderungen können primär respiratorisch oder primär vasculär bedingt sein. In jedem Falle aber sind sie die Ursache einer infolge der Verminderung des Kleinkreislaufquerschnittes eintretenden pulmonalen Hypertonie. Eine solche ist die unbedingte Voraussetzung zur Ausbildung eines Cor pulmonale chronicum.

Je nach den Ausmaßen der Verminderung des Lungengefäßquerschnittes kommt es zu einem manifesten, das heißt auch unter Ruhebedingungen meßbaren Anstieg der Drucke in der Arteria pulmonalis, oder aber die Drucke bleiben unter Grundumsatzbedingungen noch im Normbereich, um erst bei körperlicher Leistung pulmonal hypertone Werte zu erreichen. Die Druckwerte innerhalb des rechten Herzens und der Lungenschlagader sind seit der klinischen Anwendung der Herzkatheterung weitgehend exakt meßbar geworden. In praktischer Übereinstimmung werden diese Drucke von vielen Autoren wie folgt angegeben:

rechter Vorhof:	5/0 mm Hg
rechter Ventrikel:	25/0 mm Hg
Arteria pulmonalis:	25/10 mm Hg
Pulmonalkapillare:	12/7 mm Hg

Das Gebiet des kleinen Kreislaufs ist außerordentlich druckpassiv eingestellt und mit einer erstaunlichen Anpassungsbreite versehen. HICKHAM und CARGILL; RILEY, HIMMELSTEIN, MOTHLEY, WEINER und CURNAND haben den Nachweis führen können, daß in der Regel erst eine Zunahme des Herzminutenvolumens auf über 300% Auswirkungen auf die Drucke im kleinen Kreislauf im Sinne einer Steigerung derselben zeitigt. Diese ungewöhnliche Anpassungsfähigkeit des Gefäßbettes an erhöhte Stromvolumina geht aber verloren, wenn

- a) auf anatomischer Grundlage eine Reduktion der Lungenstrombahn statthat, wie etwa beim chronisch substantiellen Emphysem, bei Tumoren, Tuberkulosen usw. oder
- b) im Gefolge einer funktionellen Einengung des pulmonalen Stromgebietes auf dem Boden hypoxischer oder hypercarbischer Einflüsse, wie wir es oben schon dargelegt haben. Die pulmonale Hypertension aus solchen funktionellen Gründen wird als CURNAND-EULER-Effekt bezeichnet.

Beide Mechanismen vermögen zu einer ständigen oder leistungsbedingten pulmonalen Hypertension zu führen mit der Folge des Cor pulmonale chronicum und letztlich zum Endstadium der cardialen Rechtsinsuffizienz.

Falls bereits unter Grundumsatzbedingungen eine Druckerhöhung im kleinen Kreislauf konstatiert werden kann, so bedeutet dies, bei Ausschluß von Erkrankungen des linken Herzens oder congenitalen Herzanomalien, den deutlichen Hinweis, daß mit dem Vorliegen eines Cor pulmonale zu rechnen ist. Die Messung normaler Druckwerte schließt jedoch ein Cor pulmonale chronicum nicht aus, wenn man auf Messungen bei Belastung verzichtet, die leider an Exaktheit einiges zu wünschen übrig lassen. Normale anatomische und funktionelle Verhältnisse des rechten Herzens würden nur dann anzunehmen sein, wenn eine Erhöhung der Drucke im kleinen Kreislauf erst nach einer leistungsbedingten Steigerung des Herzminutenvolumens über 300% feststellbar wäre.

Die Einengung der Leistungsbreite bis zum Erreichen hypertoner Werte im kleinen Kreislauf wäre ein direktes Maß für eine bereits bestehende, zusätzliche Belastung des rechten Herzens. Es gilt zu bedenken, daß eine Erhöhung des Herzminutenvolumens etwa auf das Doppelte bereits bei recht geringfügigen Leistungen auftritt. Ein Kranker mit einer an sich geringen Einengung des kleinen Kreislaufs arbeitet dann aber bereits bei mäßiger körperlicher Bewegung und seinen notwendigen täglichen Verrichtungen unter den Bedingungen der pulmonalen Hypertension und damit unter den Bedin-

gungen einer vermehrten Belastung des rechten Herzens. Bei ihm könnte ein *Cor pulmonale chronicum* vorliegen, obgleich dieses unter der Maske normaler Ruhedruckwerte im kleinen Kreislauf verborgen ist.

Wir haben oben schon ausgeführt, daß routinemäßige Belastungsuntersuchungen bei der Herzkatheterung aus verschiedenen, hier nicht zu erörternden Gründen, nicht angezeigt erscheinen. Die druckpassive Einstellung der Lungenstrombahn ließe uns jedoch einen Großteil cardialer Rechtsbelastungen übersehen, wollten wir uns mit alleiniger Bestimmung der Ruhedruckwerte im kleinen Kreislauf begnügen. Die dringend gebotene Erweiterung der Funktionsanalyse des kleinen Kreislaufes unter Grundumsatzbedingungen wird durch die *selektive Angiographie* der Lungengefäße nach BOLT und RINK ermöglicht. Sie gestattet es, unter vergleichbaren Grundbedingungen, Einengungen der Lungenstrombahn auf anatomischer und funktioneller Basis zu erfassen und durch Kontrastmittelinjektion eindrucksvoll sichtbar zu machen. Die angiographisch faßbaren Veränderungen der Lungenstrombahn sind, auch wenn noch normale Druckwerte im kleinen Kreislauf vorliegen, in ihrer Ausdehnung und graduellen Abstufung ein hinreichendes Maß für den Grad der zu erwartenden Belastung des rechten Herzens.

Überdies halten wir außerdem mit dem angiographischen Bild zugleich ein Abbild des unmittelbar verknüpften Widerspiels von Ventilation und Durchblutung innerhalb des dargestellten Bezirkes vor unseren Augen und vermögen insofern Rückschlüsse auf die ventilatorische Leistungsfähigkeit eines solchen Lungenanteiles zu ziehen. Solche Rückschlüsse können, wie wir später zeigen werden, von entscheidender Bedeutung für die Indikation zu einer Lungenresektion und insbesondere für die Ausdehnung derselben sein.

4. Die Bedeutung der selektiven Angiographie in der Lungenchirurgie

Dem Untersucher sind grundsätzlich zwei Möglichkeiten angiographischer Diagnostik vorbehalten. Er vermag einmal den Untersuchungsgang so einzurichten, daß eine angiographische Darstellung der im chirurgischen Sinne kranken Lungenanteile erfolgt, andererseits kann er sein Hauptaugenmerk auf eine angiographische Analyse an sich gesunder Lungenanteile legen, auf deren Funktion es nach einer Lungenresektion wesentlich ankommt. Er kann also mit anderen Worten den Herzkatheter in diejenigen Lungenabschnitte dirigieren, in denen sich die pathologischen Veränderungen abspielen, deretwegen der Kranke den Arzt zur chirurgischen Behandlung aufgesucht hat. Im wesentlichen handelt es sich dann pathologisch-anatomisch um Lungentumoren, Bronchiektasen, chronische Pneumonien, Lungenabszesse, Atelektasen, Lungenzysten, ausgedehnte Verschwartungen und verschiedene Formen der Lungentuberkulose.

Bei der Darstellung dieser Veränderungen bringt die selektive Lungenangiographie teilweise erstaunliche Befunde zutage, die mit anderen diagnostischen Methoden nicht gewonnen werden können. Insbesondere vermag die Angiographie einprägsame Hinweise auf die Ausdehnung eines tuberkulösen Lungenprozesses zu erbringen, so daß dem Chirurgen sehr genaue Anhaltspunkte für die Ausdehnung einer notwendigen Lungenresektion gegeben werden können. Wenn auch seltener, so dann um so eindrucksvoller, können Befunde bei Bronchialcarinomen sein, über deren Lokalisation und Ausbreitung ansonsten Bronchoskopie und Bronchographie ein wesentlich genaueres Bild abgeben. Zuweilen aber, und wir werden solche Bilder später zeigen können, ist allein der angiographische Befund maßgeblich für die Frage einer möglichen Resektion aus Gründen der anatomischen Lokalisation eines Tumors.

Darüber hinaus jedoch gelangt die selektive Angiographie auch bei der Darstellung kranker Lungenanteile schon in ihr ureigenstes Gebiet, nämlich zur Frage der in diesen bestehenden zirkulatorischen und ventilatorischen Restfunktion. Welche Rolle die Beurteilung dieser Restfunktion spielen kann, wird klar, wenn man an operative Entscheidungen bei Atelektasen, Verschwartungen und Tuberkulosen denkt.

Insbesondere aber vermögen wir mit der selektiven Lungenangiographie die Funktionsleistung des angeblich „gesunden“ Lungenparenchyms zu überprüfen. Wir meinen, daß hier das entscheidende

Anliegen der selektiven Angiographie in der Lungenchirurgie zu suchen ist. Dies leuchtet sofort ein, wenn man sich vergegenwärtigt, daß nach einer Pneumonektomie wegen eines Bronchuscarcinoms der chirurgische Krankheitsherd zwar beseitigt ist, daß aber nunmehr bezüglich der Rehabilitation des Kranken alles von der Funktionsleistung der Restlung und des mit ihr engstens gekoppelten kleinen Kreislaufs und rechten Herzens abhängt. Zwar versuchen eine ganze Serie von Untersuchungsmethoden den postoperativen Zustand der Pneumonektomie sozusagen vorwegzunehmen, wie etwa der Bronchusblockadetest oder die Blockade einer Arteria pulmonalis. Allein die selektive Lungenangiographie dringt jedoch in die funktionell entscheidende Lungenperipherie ein und vermag, zahlenmäßig in die Hand des Untersuchers gelegt, verschiedenste Anteile der Restlung auf ihre Funktionsleistung hin eingehend zu erforschen.

Störungen der Normalfunktion an sich „gesunder“ Lungenanteile sind im wesentlichen durch Alters- und Aufbraucherkrankungen an den Lungen zu erwarten, von denen das chronisch-substantielle Lungenemphysem weit im Vordergrund steht. Diesem aber kommt in der Klinik des Bronchialcarcinoms, dessen Träger meist höheren Altersgruppen zugehören, eine außerordentliche funktionelle Bedeutung zu. Die selektive Angiographie gestattet es in hohem Maße, die Ausdehnung und den Schweregrad eines substantiellen Emphysems zu erkennen und in die Beurteilung der Restfunktion einer Lunge und der Belastung des rechten Herzens einzubeziehen. Indem wir das Hauptgewicht angiographischer Analyse also auf die „gesunden“ Lungenanteile legen, hoffen wir darzutun, daß hier im Hinblick auf die zu erwartenden postoperativen Funktionsreserven neben der Herzinnendruckmessung die entscheidenden Aufschlüsse gesucht werden müssen und erwartet werden dürfen. Bei der Funktionsanalyse der nach einer Lungenresektion wahrscheinlich verbleibenden „gesunden“ Lunge liegt der Akzent in der Beurteilung des Grades einer eventuell bereits bestehenden Einengung der Lungenstrombahn auf dem Boden verschiedenartiger parenchymatöser oder vasculärer Veränderungen.

Es gilt immer zu bedenken, daß eine Einschränkung der Ventilationsfläche auf ein Drittel des Normalen durchaus mit dem Leben vereinbar ist. Eine Verminderung der Leistungskapazität des kleinen Kreislaufs auf dieselbe Größe bringt aber für die Dauer gewiß untragbare Belastungen des rechten Herzens, sie führt mit großer Sicherheit früher oder später zum Finalzustand der Rechtsinsuffizienz.

Wir fassen nochmals zusammen: Die selektive Angiographie der Lungenstrombahn verfolgt den Zweck

- a) der Darstellung morphologischer Veränderungen in den Lungen zur Erkennung anatomischer Abwegigkeiten und zur Analyse ihres Funktionsrestes,
- b) der Darstellung „gesunden“, nach einer Lungenresektion verbleibenden Lungenparenchyms zum Zwecke einer exakten Aussage über die zu erwartende postoperative Funktionsleistung desselben,
- c) der Beurteilung einer eventuell bereits bestehenden Einengung der Lungenstrombahn im Sinne einer Verkleinerung ihres Strombahnquerschnittes, zur Bestimmung des Grades der Belastung des rechten Herzens unter Berücksichtigung der Ruhedruckwerte im kleinen Kreislauf und in den rechten Herzhöhlen.

Es erscheint uns folgerichtig, wenn man annimmt, daß eine erschöpfende Beurteilung der funktionellen Gesamtsituation sich dann ergibt, wenn neben der Druckmessung möglichst alle im chirurgischen Sinne kranken Gebiete und ein größerer Teil „gesunden“ Lungenparenchyms angiographisch dargestellt werden können. Die Mindestforderung nach jeweils einem Bild liegt auf der Hand.

Wir glauben annehmen zu dürfen, daß eine ausreichende Funktionsanalyse für die praktischen Bedürfnisse der Lungenchirurgie bei Beachtung dieser Forderungen in großer Näherung möglich und statthaft ist. Es gilt allerdings zu beachten, daß wirklich zuverlässig verwertbare angiographische Bilder unter technisch einwandfreien Bedingungen gewonnen werden.

D. Allgemeine Gesichtspunkte für die Durchführung einer Herzkatheterung mit selektiver Lungenangiographie

Bezüglich der Durchführung einer Herzkatheterung haben wir uns im wesentlichen an die in den meisten cardiologischen Zentren übliche Methodik gehalten. Die Kranken werden eingehend voruntersucht, die klinische Routinediagnostik ist in der Regel abgeschlossen. Die Lokalisation eines krankhaften pulmonalen Prozesses durch Bronchoskopie, Bronchographie, Tomographie u. a. hat zumeist stattgefunden. Erst bei vorläufiger Annahme einer aus anatomischen Gründen operablen Lungenkrankung werden funktionelle Untersuchungen ins Auge gefaßt. Diese erstrecken sich neben einer allgemeinen cardiologischen Untersuchung auch auf die Spirometrie. Schließlich wird zur endgültigen funktionellen Entscheidung eine Herzkatheterung mit Druckmessung in den einzelnen Abschnitten des rechten Herzens und des kleinen Kreislaufs sowie eine selektive Lungenangiographie angestrebt.

Wir haben es für richtig gehalten, die Patienten möglichst vollständig über die vorgesehenen Maßnahmen zu orientieren und sind hierdurch niemals auf Ablehnung seitens der Kranken gestoßen. Überdies erwies es sich als zweckmäßig, zur Untersuchung vorgesehene Patienten in Kontakt mit solchen zu bringen, bei denen bereits eine Herzkatheterung ausgeführt worden war.

In der Regel verabfolgen wir am Abend vor dem Untersuchungstag ein Schlafmittel und geben 1 Stunde vor Beginn der Sondierung 1 Ampulle SEE schwach bzw. Scomodrin, 1 Ampulle Atosil bzw. Prothazin und 2 ml Novocamid einzeln intramuskulär. Mit dieser Praemedikation wird ein Zustand gedämpfter Anteilnahme am Geschehen erreicht. Das Bewußtsein soll jedoch erhalten bleiben, um bei den Röntgenaufnahmen anläßlich der selektiven Angiographie die Mithilfe des Patienten in genügender Weise erwirken zu können. Es sei jedoch darauf hingewiesen, daß die Herzkatheterung auch ohne jede Praemedikation schmerzlos ausgeführt werden kann. Bei kleinen Kindern hat sich uns die Verabfolgung des lytischen Cocktails nach HUGUENARD und LABORIT zum Zwecke weitgehender Dämpfung der Psyche in entsprechender Dosierung ausgezeichnet bewährt. Eine Narkose hat sich bisher in keinem Falle als notwendig erwiesen.

Wir verfügen in der Chirurgischen Universitäts-Klinik Jena über ein Spezialuntersuchungszimmer mit Röntgeneinrichtung, in dem die Patienten ohne Hast und Aufregung sowie abseits vom Routinebetrieb der Klinik untersucht werden können. Der Kranke wird auf dem Röntgentisch flach gelagert, der als Ausgangspunkt der Sondierung vorgesehene Arm liegt abduziert auf einem speziellen Arbeitstisch. Das Operationsfeld ist steril abgedeckt. Wir bevorzugen, gleich anderen Untersuchern, als günstigsten Zugangsweg die Vena basilica des linken Armes, die in Lokalanästhesie freigelegt und distal unterbunden wird. Ohne besondere Umstände und Schwierigkeiten kann die Sondierung jedoch auch vom rechten Arm aus, wenn nötig auch von der Vena saphena magna her durchgeführt werden. Die letztgenannten Zugangswege haben wir nur in wenigen Fällen benützen müssen.

Es stehen uns Herzkatheter der Firma Rüschi (Rommelshausen/Wttbg.) in den Größen 6—9 Charriere zur Verfügung, die sich im praktischen Betrieb gut bewährt haben. Wir bevorzugen, entsprechend der Methodik der I. Medizinischen Klinik der Medizinischen Akademie Düsseldorf, das Einlegen eines dünnen Stahlmandrins in den Katheter. Das Ende desselben reicht bis 2 cm unterhalb der Katheterspitze, am Ansatzkonus wird der Stahldraht leicht winkelig abgebogen und durch den Konus einer Rekordspritze in den Spritzenzylinder eingeführt. Trotz der Mandrineinlage gelingt das Durchspülen des Katheters ohne Schwierigkeiten, jedoch empfiehlt es sich in diesem Falle von der Verwendung einer ständigen Tropfinfusion abzusehen und lieber die Rekordspritze nach Bedarf zu wechseln. Als Spülflüssigkeit für den Katheter genügt auch nach unseren Erfahrungen physiologische Koehsalzlösung vollauf.

Nach Einlegen des Katheters in die Vene führen wir die Sonde zunächst zügig bis über die Axilla hinaus. Die weitere Direktion geschieht jedoch sicherer unter Durchleuchtungskontrolle, um unangenehme Abbiegungen der Katheterspitze sofort zu sehen, bzw. zu vermeiden. Nicht selten jedoch gleitet der Herzkatheter ohne den geringsten Widerstand und ohne alle Beschwerden für den Patienten bis in den rechten Vorhof. Störungen der Katheterführung kommen am ehesten infolge Abirung der Sondenspitze in die Vena jugularis oder die Vena anonyma der Gegenseite vor. Die Sondierung kann jedoch auch, und das darf nicht verschwiegen werden, zuweilen äußerst schwierig, manchmal unmöglich sein. Wir selbst haben mehrfach bei schweren schrumpfenden Tuberkulosen, aber auch bei Patienten nach Pneumonektomien, derart groteske Verziehungen der intrathoracalen Venen erlebt, daß es nur unter Anwendung aller Geschicklichkeit gelang, den rechten Vorhof zu erreichen. Ähnliche, wenn auch meist geringere Dislokationen kommen auch im Bereich des Stammes der Arteria pulmonalis vor.

Zur Kenntlichmachung schwierig erscheinender oder pathologischer Venenwege hat sich uns die selektive Venographie, bzw. die Beobachtung des Kontrastabflusses im venösen Gebiet über dem Durchleuchtungsschirm bewährt.

Der Übergang in den rechten Ventrikel gelingt meist rasch, wenngleich auch hier der Anfänger häufiger Schwierigkeiten vorfindet. Manchmal verfängt sich der Katheter herzsitzenwärts ohne in die Ausflußbahn des rechten Ventrikels umzuschlagen. Es ist nützlich, noch im rechten Vorhof eine Abbiegung der Katheterspitze zu erzielen, die dann sogleich nach dem Übertritt in den rechten Ventrikel in die Ausflußbahn desselben gleitet.

Ist dies geschehen, so kann man in der Regel die Sonde zügig in die Arteria pulmonalis vorführen, wo sie dann zumeist den Weg in die rechte Unterlappenarterie findet. Der eine selektiv-angiographische Untersuchung anstrebende Operateur muß versuchen, willkürlich verschiedenste Lungengebiete zu erreichen. Seine möglichen Manipulationen mit dem Katheter im dreidimensionalen Raume sind jedoch durch Drehung, Verschieben und Zurückziehen des Katheters und bewußte Atembewegungen des Patienten begrenzt. Ein Herzkatheter ohne Mandrin ist nach unseren Erfahrungen insgesamt zu weich und zu biegsam, um den willkürlichen Bewegungen durch den Operateur ausgiebig folgen zu können. Mit liegendem Mandrin, man kann hierzu auch ein kürzeres verwenden, das nur bis etwa 25 cm proximal der Sondenspitze reicht, sind Katheterbewegungen willkürlicher Art in den Lungen leichter und exakter ausführbar. Es sei noch bemerkt, daß wir von der Verwendung der Stahlmandrins nie Nachteile bemerken konnten. Längere Manipulationen und Lageänderungen mit einem Herzkatheter ohne Mandrin bringen nicht selten Wellen-, Schlingenbildungen und Verdrehungen des Katheters mit sich, deren traumatisierendes Moment unseres Erachtens höher ist, als bei einem Katheter, der seine glatte, schlanke Struktur durch die Steifung mittels Mandrin beibehält.

Das methodische Vorgehen zur selektiven Lungenangiographie richtet sich nach den Gegebenheiten jedes einzelnen Falles. Wir versuchen in der Regel nacheinander folgende Darstellungen zu erreichen:

1. Angiographie des im chirurgischen Sinne kranken Lungengebietes.
2. Lappen-, Segment- und Subsegmentangiographie in „gesunden“ Lungenanteilen.

Zur Durchführung einer selektiven Angiographie wird zunächst das Mandrin aus dem Herzkatheter entfernt. Die Spitze der Herzsonde wird alsdann unter dem Durchleuchtungsschirm in gewünschter Weise eingestellt und der entsprechende Bildausschnitt gewählt. Wir fordern danach den Kranken mehrmals zu tiefer Atmung auf, um die Ventilation der Lunge optimal zu gestalten. Schließlich wird unter Anhalten der Atmung durch den Patienten bei tiefer Inspiration mittels Rekordspritze rasch die entsprechende Menge Kontrastmittel durch den Katheter injiziert. Etwa 1—2 sec nach Beginn der Kontrastinjektion erfolgt eine Röntgenaufnahme in Großformat.

Freilich kann in ähnlicher Weise auch der Kontrastfluß unter dem Durchleuchtungsschirm zum Zwecke der Beurteilung oder Messung der Zirkulationsgeschwindigkeit beobachtet werden. Außerdem besteht selbstverständlich die Möglichkeit, den gesamten Kontrastfluß unter Benutzung einer Rönt-

gen-Serienkamera festzuhalten. Zu diesem Zwecke steht uns eine Röntgen-Serienkamera in Mittelformat mit Linsenoptik der Firma VEB Carl Zeiß Jena zur Verfügung, die dort in Zusammenarbeit mit KÖLLING entwickelt wurde.

In unserem Arbeitskreis hat sich die Darstellung der kontrastgefüllten Lungenstrombahn im Übersichtsbild besonders gut bewährt. Entscheidend für die erreichbare Bildgüte ist neben anderen Faktoren insbesondere die Wahl des richtigen Belichtungszeitpunktes. Eine allgemein verbindliche Richtlinie kann in dieser Frage leider nicht gegeben werden. Wir möchten jedoch betonen, daß es einer intensiven Einarbeitung des Operateurs und des Röntgenologen bedarf, um Gefühl für den optimalen Belichtungszeitpunkt zu bekommen, der praktisch für jede Bildeinstellung verschieden ist. Im übrigen aber liefert die Darstellung der Lungengefäße im Großformat bei guter Technik die besten Bilder, oft von geradezu erstaunlicher Präzision und Kontrastdichte. Neben der Einfachheit des Verfahrens mögen auch seine relativ geringen Kosten erwähnt sein.

Nach Abschluß der selektiven Lungenangiographie und Einfügung einer Erholungspause für den Patienten messen wir in der Regel rückläufig die Drucke in verschiedenen Abschnitten der Arteria pulmonalis, im rechten Ventrikel und im rechten Vorhof. Zu diesem Zwecke stehen uns ein 6fach Registriergerät der Atlas-Werke AG, Bremen, als Elektromanometer das zugehörige Statham-Element und zur fortlaufenden Direktkontrolle von Druckkurven, Elektrokardiogrammen usw. ein Doppeloszillograph der gleichen Firma zur Verfügung. Es versteht sich von selbst, daß im Bedarfsfalle jederzeit Herzschall, Venenpuls, Arterienpuls, EKG verschiedenster Ableitungen u. a. m. mitregistriert werden können.

Nach Entfernung des Herzkatheters aus der venösen Strombahn pflegen wir die Zugangsvene auch proximal zu unterbinden und haben davon niemals Schäden gesehen. Jedoch haben wir uns ebenso davon überzeugen können, daß eine Venenunterbindung unterbleiben kann. Zur Vermeidung einer Nachblutung genügt dann das Anlegen eines Druckverbandes. Die kleine Hautwunde wird durch Naht verschlossen. Eine Anwendung antibiotischer Medikamente halten wir für überflüssig und un-tunlich. In unserem Untersuchungsgut waren, außer einigen geringfügigen thrombophlebitischen Reizungen im Bereich der Zugangsvene, niemals entzündliche Veränderungen zu verzeichnen, die eine antibiotische Behandlung erforderlich gemacht hätten. Es gilt bei uns als Regel, daß der untersuchte Patient für den restlichen Untersuchungstag Bettruhe einhält. Der zur Sondierung benutzte Arm wird für 24 Stunden auf einer Schiene ruhiggestellt und der bedeckende Wundverband, welcher bis zur Oberarmmitte reichen soll, wird angefeuchtet.

E. Spezielle Fragen der selektiven Lungenangiographie

1. Anatomie der Lungengefäße

a) Lungenarterien

An den Conus pulmonalis des rechten Ventrikels ist cranialwärts unmittelbar oberhalb der Pulmonalklappe die Arteria pulmonalis communis angeschlossen, die sich bereits wenige Zentimeter oberhalb der Klappenebene in die nahezu transversal nach rechts ziehende Arteria pulmonalis dextra und in die zunächst dorsal und links gerichtete Arteria pulmonalis sinistra aufteilt. Die weitere Aufzweigung des arteriellen Gefäßbaumes ist sehr variabel, folgt aber im allgemeinen der Topographie des Bronchialbaumes. Eine eingehende Darstellung der wichtigsten arteriellen Varianten findet sich bei ZENKER, HEBERER und LÖHR.

Aus unseren lungenangiographischen Untersuchungen ergaben sich folgende häufigste topographische Zuordnungen:

Arteria pulmonalis dextra:

- Rechter Oberlappen: 1. Gemeinsamer Stamm für $A_1 - A_3$ mit entsprechender Aufteilung.
 2. Gemeinsamer Stamm für A_1 und A_2 . Isolierter Abgang von A_3 .
 3. Gemeinsamer Stamm für A_1 und A_3 . Isolierter Abgang von A_2 .
- Rechter Mittellappen: Kurzer gemeinsamer Stamm von A_4 und A_5 mit rascher Aufteilung in beide Segmentverzweigungen.
- Rechter Unterlappen: Meist hoher Abgang von A_6 , oft noch oberhalb der Mittellappenarterie. Häufig isolierter Abgang von A_7 . Gemeinsamer Stamm von $A_8 - A_{10}$ mit in gleicher Höhe liegender Aufzweigung in die drei Segmentäste.

Arteria pulmonalis sinistra:

- Linker Oberlappen: 1. Gemeinsamer Stamm für A_1 und A_2 . Isolierter Abgang von A_3 . Kurzer gemeinsamer Stamm für A_4 und A_5 .
 2. Gemeinsamer Stamm für $A_1 - A_3$. Isolierter Abgang von A_4 und A_5 .
 3. (selten) Kurzer gemeinsamer Stamm von $A_1 - A_5$ mit unregelmäßigem Abgang der einzelnen Segmentäste.
- Linker Unterlappen: Verzweigungen im wesentlichen wie im Bereich des rechten Unterlappens bei Fehlen von A_7 . Meist sehr hoher Abgang von A_6 .

Eine Übersicht über den typischen Verzweigungsmodus der Lungenarterien gibt die schematische Darstellung der Abb. 1.

b) Lungenvenen

Das Blut beider Lungen wird in jeweils zwei großen Lungenvenen gesammelt, die ihr arterialisiertes Blut in den linken Vorhof abführen. Eine Darstellung des venösen Abflusses kann bei der selektiven Lungenangiographie in vielen Fällen erreicht werden. Sie erfolgt in der Regel von selbst, wenn eine sogenannte Subsegmentangiographie vorgenommen wurde. Überraschend ist in diesem Zusammenhang der wiederholt zu erhebende Befund, daß das Kapillarblut normalerweise über intersegmental gelegene Venen zu den zugehörigen zentralen Lungenvenen geleitet wird, während prak-