

VIII.

Ueber die Folgen der Embolie der Lungenarterien.

Von Jul. Cohnheim

und

Dr. M. Litten,

Assistenten am pathologischen Institute zu Breslau.

Wenn ein Ast der Lungenarterie durch einen einfachen, blanden Pfropf verlegt wird, so entsteht hinter der Verstopfungsstelle bekanntlich nicht selten ein hämorrhagischer Infarct; viel häufiger jedoch trifft man Verstopfungen von Lungenarterienzweigen, ohne dass zugleich anatomische Veränderungen in der Lunge vorhanden sind, ebensowenig als die betreffenden Individuen während des Lebens Symptome der Athemnoth dargeboten hatten. Dabei handelt es sich in diesen Fällen nicht etwa um unvollständige Verstopfungen oder um solche, die erst so kurze Zeit vor dem Tode des Kranken erfolgt sind, dass eine Infarcirung sich noch nicht entwickeln konnte. Vielmehr unterscheiden sich die Pfröpfe, hinter denen das Lungengewebe intact bleibt, in keiner Beziehung von denen, welche die Ursache eines Infarctes bilden; sie obturiren genau so vollständig, und die gar oft schon weit vorgeschrittene Organisation der Emboli weist evident genug auf die geraume Zeitdauer hin, die seit der Einkeilung verflossen. Bedürfte es solcher Beweismittel noch erst, so sind dieselben vollends gegeben in den Thierversuchen, wie sie von Virchow unmittelbar im Anschluss an die anatomische Auffindung der Embolie der Lungenarterie in so umfangreicher und erschöpfender Weise angestellt, und später unter Anderen von Panum, behufs der vorliegenden Untersuchung auch von uns wiederholt worden sind. Virchow berichtet in den Gesammelten Abhandlungen ¹⁾, dass er die Lungen eines Hundes, dem er am 12. Juni, fast drei Monate vor seiner am 6. September erfolgten Tödtung, drei Kautschukpfröpfe in die V. jugul. gebracht, vollkom-

¹⁾ S. 285 u. 294.

men lufthaltig und normal gefunden; die Pfröpfe bildeten eine vollständige Verstopfung der Hauptarterie des linken Unterlappens, der in Bezug auf Luftgehalt sich garnicht von den übrigen Lappen unterschied. Ganz übereinstimmend mit diesem Versuche — auf den wir weiterhin noch zurückkommen werden —, hat Panum¹⁾ 7 Lin-
sen aus Augen von *Pleuronectes* nach beinahe vier Monaten in Aesten der Pulmonalarterie eines Hundes wiedergefunden mitten in ganz gesundem Lungengewebe. Wir selbst bedienten uns bei unseren Versuchen, bei denen wir eben Nichts als die Circulationsstörung und ihre Bedeutung studiren wollten, fast ausschliesslich als Obturationsmittel des Paraffin, aus dem wir uns Kugeln oder abgerundete, resp. ein wenig zugestutzte Cylinder in beliebiger Grösse mit Leichtigkeit durch sanftes Kneten zwischen den Fingern herstellten. Diese Pfröpfe, die sich ohne alle Mühe in die V. jugularis von Kaninchen und Hunden einbringen liessen, haben, ganz wie Virchow's Kautschukpfröpfe, niemals umschriebene Entzündungen oder gar Abscesse in den Lungen zur Folge gehabt, welche bei Muskelstückchen, selbst wenn sie unmittelbar vor der Einbringung in die Vene aus der Halsmuskulatur desselben Versuchstieres entnommen waren, nicht auszubleiben pflegen. Weiter liessen sich die Paraffinpfröpfe sehr leicht und sicher in den Lungen nachweisen, bei Kaninchen und kleineren Hunden in der Regel schon durch äusseres Betasten der herausgenommenen Lungen; ganz besonders aber bevorzugten wir dieses Material, weil wir uns gleich beim ersten Versuche davon überzeugten, wie vollständig und sicher die dadurch bewirkte Verlegung ist. Die Paraffinemboli sind nelmlich bei Blutwärme noch so weich, dass sie sich der Configuration des Gefässlumens sehr schön adaptiren; man findet sie fast jedesmal „reitend“ festsitzen, ganz wie die menschlichen Lungenemboli, die Hauptmasse in einer grösseren Arterie und einen oder mehrere seitliche Sprossen in den an der Stelle abgehenden Aesten derselben, den ganzen Pfropf zuweilen einem mehrwurzeligen Backzahn nicht unähnlich. Nimmt man dazu, dass das Lumen der Arterie vor dem Paraffinpfropf in der Regel erheblich kleiner erschien, als dieser selbst, dass ferner fibrinöse Thromben hinter den Pfröpfen niemals fehlten, so wird an der Vollständigkeit des Verschlusses ein

¹⁾ Dieses Archiv Bd. XXV. S. 452.

Zweifel nicht statthaft sein. In der ausgesprochenen Mehrzahl der Fälle fanden nun auch wir das Lungengewebe um und hinter den Paraffinpfropfen absolut unverändert, durchaus lufthaltig und völlig so gut aufblasbar wie die anderen Lungentheile, und dies nicht bloß wenn die Thiere in den ersten Tagen nach der Einbringung getödtet wurden, sondern auch nach 10, 12 Tagen und mehr. In einer Minderzahl aber trafen wir Veränderungen des Lungengewebes, die wir als complete blutige Infarcirung auffassen mussten. Es waren die betreffenden Heerde, wie dies auch schon Virchow¹⁾ aufgefallen ist, nicht so scharf umschrieben, wie es die hämorrhagischen Infarcte beim Menschen zu sein pflegen. Indess sie prominirten über dem übrigen Gewebe, sahen sowohl an der pleuralen Oberfläche, als auf der Schnittfläche schwarzroth aus, fühlten sich derb an, und mikroskopisch fand sich eine dichte, strotzende Anfüllung der Alveolen mit rothen Blutkörperchen, bei wohl erhaltenen, wenn schon auch blutig infiltrirter Alveolarsepta. Auch hatten die Heerde, die übrigens bei Kaninchen prägnanter sich präsentirten, als bei Hunden, eine annähernd pyramidale Gestalt, die Spitze gegen den Hilus der Lunge gerichtet, die Basis immer an der Pleura, die an dieser Stelle in der Regel einen zarten fibrinösen Belag trug. Gegen das benachbarte Lungengewebe setzten sich, wie erwähnt, die Heerde nicht scharf ab, sondern gingen mit verwaschener Grenze darin über, indem die Menge der in die Alveolen extravasirten Blutkörperchen successiv immer geringer wurde. Sehr bemerkenswerth endlich erscheint es uns, dass meistens die hämorrhagischen Heerde nicht unmittelbar hinter dem Embolus begannen, sondern zwischen diesem und dem Infarcte noch eine schmale Zone anscheinend normalen, jedenfalls lufthaltigen Gewebes eingeschoben war. Uebrigens war es nicht selten, dass ein und dasselbe Thier, dem mehrere Emboli eingebracht worden waren, in einer Lunge einen hämorrhagischen Heerd hatte, während die andere trotz eines analog sitzenden und gleich grossen Embolus keinerlei Veränderungen darbot.

Nun ist es allerdings eine allbekannte Thatsache, dass Verstopfungen von Arterien an einer Stelle gleichgültig und folgenlos sind, an einer anderen dagegen Infarcirung oder Nekrose nach sich ziehen; dass aber in ein und demselben Organ die Wirkungen so

¹⁾ Ges. Abhandl. S. 374.

total verschiedener Art sind, ist doch ein zu auffallendes Factum, als dass man nicht schon lange versucht hätte, diese Differenz zu erklären. Der nächstliegende Gedanke, der sich, so zu sagen, ganz unwillkürlich aufdrängt, ist der, dass die Einrichtung arterieller Anastomosen, gerade wie überall sonst, auch hier bestimmend für den Effect der Verstopfung in dem Sinne sein möchte, dass eine Verlegung vor derartigen Anastomosen unschädlich, hinter denselben infarcterzeugend sei. Freilich wird eine solche Annahme schon unwahrscheinlich, sobald man sich erinnert, dass keineswegs ein Lungeninfarct nur nach der Verstopfung kleinerer Arterienzweige zu Stande kommt, dass vielmehr Infarcte von recht ansehnlicher Grösse gar nicht selten sind, und jedenfalls auch in recht kleinen Aesten Emboli gefunden werden, die nicht die geringste Veränderung im Lungenparenchym nach sich gezogen haben. Weit mehr aber fällt noch gegen jene Anschauung in's Gewicht, dass nach den Lehren der normalen Anatomie, wie sie in den bekannten Lehrbüchern vorgetragen werden, arterielle Anastomosen der Aeste der Pulmonalarterie unter einander ebensowenig existiren sollen, als solche zwischen diesen und Zweigen der Bronchialarterie; so wird z. B. auch in Hyrtl's Corrosionsanatomie der isolirte, anastomosenfreie Verlauf aller Zweige der A. pulmonalis ausdrücklich hervorgehoben. Immerhin wird von den Autoren¹⁾ zugelassen, dass die letzten arteriellen Endverzweigungen der Pulmonalis in den Alveolar-septa mit einander anastomosiren, und auf die Existenz dieser letzten arteriellen Anastomosen hat der Eine von uns früher einen Erklärungsversuch für die Unbeständigkeit der Folgen der Arterienverstopfung in den Lungen basirt²⁾. Seitdem sind indess auch diese kleinsten Anastomosen von Rindfleisch mit grosser Bestimmtheit in Abrede gestellt³⁾, und damit die Zulässigkeit dieser Erklärung wieder zweifelhaft geworden. Was endlich die Bronchialarterie und ihre Verzweigung anlangt, so existirt gar kein anatomischer Anhaltspunkt dafür, dass dieselben die Speisung der Gefässe eines Lungenbezirks, dessen zuführende Pulmonalarterie verlegt ist, übernehmen könnten. Das Einzige, was immer in diesem Sinne angeführt wird, ist ein allerdings sehr interessanter Versuch von Virchow, dem

¹⁾ Vgl. z. B. Henle's Eingeweidelehre. S. 285.

²⁾ Vgl. Cohnheim, Embolische Prozesse. Berl. 1872. S. 73, 74.

³⁾ Pathologische Gewebelehre. 3. Aufl. S. 395.

es bei dem schon oben erwähnten Hund gelang, von der Aorta aus Masse „durch die sehr erweiterte Bronchialarterie und die mit ihr communicirenden Intercostalararterien“ in den Lungenlappen zu treiben, dessen Hauptpulmonalarterie durch drei Kautschukpfropfe fest verlegt war¹⁾. So merkwürdig aber auch dies Versuchsergebniss ist, so wolle man doch erwägen, dass seit der Einbringung der Pfropfe fast ein Vierteljahr vergangen war; es hatte sich inzwischen „eine sehr dichte oberflächliche, schon dem blossen Auge auffällige Gefässramification von der Lungenwurzel her über den verstopften Lappen ausgebreitet“, und erst durch diese neue Vascularisation war die Injection möglich geworden. Für die Zeit gleich nach der Embolisirung, wo doch solche Gefässramificationen noch nicht vorhanden sind, giebt der Versuch unseres Erachtens keinen Aufschluss, und doch kann nur diese erste Zeit für das Zustandekommen, resp. Ausbleiben der Infarcirung in Betracht kommen.

Unter diesen Umständen lag es auf der Hand, dass, wollten wir über die näheren Bedingungen der Infarcirung, resp. Nichtinfarcirung, in's Klare kommen, wir zunächst uns eine bestimmte Ueberzeugung über die anatomische Gefässeinrichtung der Lunge verschaffen mussten. Dass eine einfache künstliche Injection an der todten Lunge diesen Zweck nicht erreichen würde, darüber gaben wir uns keiner Täuschung hin: es schien uns vielmehr von vornherein unmöglich, mittelst einer noch so sorgfältig ausgeführten und vollständigen arteriellen Injection ohne nachfolgende Corrosion, lediglich durch Präparation und Schnittführung, ausmachen zu wollen, ob diverse arterielle Aeste mit einander anastomosirten, und noch viel unmöglicher, selbst unter Zuhülfenahme der Maceration, das Gegenheil, den isolirten Verlauf, sicher darzuthun. Nur das Experiment konnte dies leisten. Es galt zu sehen, ob nach Verschluss eines Pulmonalarterienastes eine Injectionsmasse, die nur Arterien, nicht aber noch Capillaren füllt, hinter die Verschlussstelle gebracht werden kann. Indess zeigten uns gleich die ersten Versuche, eine Kaninchen- oder Hundelunge, in die zuvor Emboli gebracht waren, von der Pulmonalis aus mit Wachsmasse zu injiciren, dass dieses Verfahren einen Entscheid nicht geben konnte. Wir fanden nemlich, dass, bei nur etwas verstärktem Drucke die Masse sich zwischen Embolus und Gefässwand eindrängte; was nun von Masse in den

¹⁾ Ges. Abhandl. S. 295.

Arterienästen hinter dem Pfropf gefunden wurde, gestattete selbstverständlich einen Schluss auf die Verhältnisse *intra vitam* nicht. Nur von einer natürlichen, Selbstinjection des lebenden Thieres mittelst einer analogen, die Capillaren nicht passirenden Masse konnten wir ein unzweideutiges Ergebniss erwarten. Zu dem Ende brachten wir Kaninchen und Hunden in gewöhnlicher Weise Paraffin-emboli in die V. jugularis, und spritzten später in eine andere Vene langsam und vorsichtig eine Aufschwemmung von chromsaurem Bleioxyd. Bei einer in dieser vorsichtigen Weise ausgeführten Injection sterben die Thiere erst, wenn die Lungen vollständig injicirt sind. Die einzige Vorsichtsmaassregel, die noch zu beachten ist, besteht darin, dass man die Partikel des Bleisalzes grösser wählt, als die Lichtung der Lungencapillaren. Man findet dann ein äusserst zierliches makroskopisches Bild der feinsten, regelmässigsten gelben Aederung in der Lunge, und mikroskopisch sind die sämmtlichen kleinen Arterien prall mit gelber Masse gefüllt, die überall noch in die Anfänge des Capillarnetzes vorgedrungen ist, ohne dasselbe irgendwo zu durchlaufen; bei völlig gelungenem Versuch findet man nicht ein einziges Bleikörnchen weder in den Pulmonalvenen, noch im linken Herzen, noch im Aortenkreislauf. Mochten nun die Emboli gross oder klein gewesen sein, mochten sie erst 24 Stunden oder 2, 3, selbst 6 Tage und länger in der Lunge gesteckt haben, mochte hinter ihnen eine Infarcirung sich entwickelt haben oder nicht, immer war das Versuchsergebniss ein und dasselbe: niemals haben wir Bleisalzpartikel in demjenigen Lungenabschnitt getroffen, welcher jenseits der obturirten Arterienstelle gelegen war. Dies Resultat scheint uns durchaus eindeutig: die arteriellen Verästelungen der Pulmonalis anastomosiren nirgend mit einander, es sind Endarterien.

So willkommen nun auch diese Thatsache war für die Erklärung der Infarcirung hinter einem Lungenarterienpfropf, so musste jetzt die Integrität des Lungengewebes nach Verschluss des zuführenden Pulmonalastes nur um so räthselhafter erscheinen. Circulation musste doch nothwendiger Weise in einem solchen Theil existiren: auf welchen Wegen aber, so musste man jetzt erst recht sich fragen, gelangt das Blut dorthin? Das mehrcitirte Experiment Virchow's musste trotz aller aprioristischen Bedenken doch wieder unser Augenmerk auf die Bronchialarterie richten, deren wenn auch

kleine, so doch unzweifelhaft arterielle Verzweigungen sicher bis in die feinsten Bronchien im Lungengewebe vordringen. Die künstliche Injection auch mit kaltlöslicher Masse von der Aorta aus ist freilich bei der sehr geringen Mächtigkeit dieser Gefässe schon beim Eintritt in den Lungenhilus bei Hunden und vollends bei Kaninchen nicht sehr geeignet, bedeutende Hoffnungen in dieser Richtung zu erregen; indess glaubten wir auch hier nur von der Selbstinjection, durch die allein die physiologischen Druck- und Widerstandsverhältnisse gewahrt bleiben, einen zuverlässigen Entscheid erwarten zu können. Natürlich musste das Verfahren entsprechend geändert werden, und da nicht vorauszusetzen ist, dass eine in die Aortenbahn gebrachte Aufschwemmung alle Aeste gleichmässig füllt, so mussten wir einen löslichen Farbstoff dem Blute zumischen, der überall dorthin gelangte, wo das Blut selbst hinkam. Von den bereits von anderen Autoren zu ähnlichen Zwecken benutzten Farbstoffen erwies sich das indigschwefelsaure Natron für unsere Aufgabe als unbrauchbar, weil es nicht gelingt, dasselbe in Blutgefässen zu fixiren und evident sichtbar zu machen. Viel bessere Dienste leistete uns die von Chrzonszczewsky empfohlene ¹⁾ neutrale concentrirte Carminlösung, indess gingen uns die Thiere fast immer rasch zu Grunde, selbst bei langsamer und sehr vorsichtiger Injection kleiner Mengen, und es musste darum bei diesen Versuchen zweifelhaft bleiben, ob das Blut sich bereits vollständig und innig mit dem Carmin gemischt habe, ob also Stellen, wo die Gefässe nicht carminroth geworden waren, auch wirklich kein Blut erhalten hatten. Sehr vollständig erfüllte dagegen unsere Anforderungen das in Wasser lösliche, giftfreie Anilinblau. Eine Lösung dieses Farbstoffes (wir lösten gewöhnlich 1 Theil Anilinblau in 6—800 Theile einer $\frac{1}{2}$ pCt. Kochsalzlösung), dem Blute in ausreichender Menge beigemischt, giebt ebenso prächtige als vollständige Injectionsbilder aller Organe; der Farbstoff hält sich ganz in den Gefässen, ohne jede Diffusion in die Umgebung; eine Ausscheidung desselben haben wir, beiläufig bemerkt, nur Seitens der Nieren beobachtet. In welcher Weise der Farbstoff in den Blutgefässen sich festsetzt, das ist eine nicht leicht zu beantwortende Frage. Unzweifelhaft bleibt ein Theil desselben gelöst, wie schon die Blaufärbung des Harns darthut; auch hat das Plasma eines Blutstropfens ein aus-

¹⁾ Dieses Archiv Bd. XXXV. S. 162.

gesprochen bläuliches oder besser violettes Timbre unter dem Mikroskop. Andererseits widerfuhr es uns bei einigen Versuchen, dass Thiere, denen die Anilinblaulösung in die V. jugularis injicirt worden, noch während der Injection, unter den Erscheinungen der letalen Lungenembolie starben, und dass dann die Section herausstellte, dass der Farbstoff die Anfänge der Lungencapillaren nicht überschritten hatte, und sämtliche Gefässe des Aortenkreislaufs völlig ungefärbt geblieben waren. In der That hat es keine Schwierigkeit, bei der mikroskopischen Beobachtung des Blutstroms in der Zunge oder Schleimhaut eines Frosches, dem Anilinblau in die V. abdominalis gespritzt worden, sich davon zu überzeugen, dass der blaue Farbstoff auch in Gestalt von kleinen und grösseren Körnchen und amorphen Schollen ausgefällt und dadurch etliche Capillaren zeitweise oder selbst definitiv verlegt worden; und entnimmt man einen Blutropfen aus irgend einer Vene eines Kaninchens, das die Injection eine Weile, vielleicht eine halbe Stunde, überlebt hat, so findet man fast sämtliche farblose Blutkörperchen mit Körnchen und Schollen des blauen Farbstoffs behaftet. Nach Allem glaubten wir schliessen zu dürfen, dass ein Theil des Farbstoffs im Blute ausgefällt wird, ein anderer Theil aber gelöst bleibt. Es gilt somit nur die Injection so einzurichten, dass die Ausfällung nicht in der Lunge geschah, und wir sind in der Folge immer so zu Werke gegangen, dass wir dem Thiere die Farbstofflösung in eine A. femoralis peripher einspritzten. Weiterhin empfiehlt es sich auch hier durchaus, nur langsam, womöglich in kleinen Etappen zu injiciren. Bei Beobachtung dieser Cautelen vertragen Kaninchen wie Hunde die Injection von, je nach der Grösse des Thieres, 50 bis 150 Ccm. ganz gut, wenigstens treten keinerlei Zeichen von Athemnoth oder anderweiter Circulationsstörung auf. Ganz allmählich werden die äusserlich sichtbaren Schleimhäute und bei hellen Thieren auch die Haut immer gleichmässiger und tiefer blau, während die Thiere schliesslich einem soporösen Zustande verfallen, in dem sie mehr oder weniger bald nach der Injection zu sterben pflegen; mehrere Thiere waren wir genöthigt zu tödten, da sie länger als eine Stunde nach beendigter Injection noch kräftigen Herzschlag und regelmässige Respiration hatten. In allen diesen gut gelungenen Versuchen erhielten wir, wie schon erwähnt, die prächtigsten Injectionsbilder von sämtlichen Organen des Körpers, Bilder, die

sich an Vollständigkeit und Schönheit mit den besten künstlichen Injectionen messen konnten. So vor Allen von der Lunge und Leber, demnächst vom Darm, Nieren, Haut, aber auch Muskeln, Gehirn und selbst von Knochen und Knochenmark. Bei der mikroskopischen Untersuchung sahen die Capillaren gerade so aus, als ob sie mit einer blauen Leimmasse injicirt waren; in Alkohol aufbewahrt, hält sich die Farbe gut, noch besser in Müller'scher Flüssigkeit. — Wenn wir aber so eben diese natürlichen Injectionen wegen ihrer Vollständigkeit rühmten, so bedarf dies doch einer gewissen Einschränkung. In den meisten Organen fanden wir nehmlich öfters mitten im bestinjicirten Gewebe kleine, stecknadelknopf- bis höchstens linsengrosse Inseln, die ganz ungefärbt waren und in denen auch bei mikroskopischer Untersuchung die Blutgefäße sich leer erwiesen. Ganz besonders auffällig waren solche Inseln in den Lungen, wo wir sie gelegentlich in allen Lappen, ihrer nur eine oder zwei, drei bei einem Thiere, übrigens wenn uns die Erinnerung nicht täuscht, nur oberflächlich dicht unter der Pleura, antrafen, und dies auch bei Thieren, die den Injectionsversuch vortrefflich vertrugen und relativ lange überlebt hatten. Wie diese ungefärbten Inseln mitten in der so vollständig injicirten Lunge zu Stande gekommen, dafür fehlt uns eine genügende Erklärung, möglich ist es, dass gerade die zu diesen Inseln zuführenden kleinen Arterien durch eine Ausfüllung von Anilinblau verlegt waren — obschon ein derartiger Nachweis in den betreffenden Gefäßen uns nicht gelang; zu denken wäre aber auch daran, dass unter ganz physiologischen Verhältnissen nicht alle Gefäße der Lunge gleichzeitig und gleichmässig durchströmt werden — so schwer man sich auch mit dem Gedanken vertraut machen wird, dass in ein und demselben kleinen Bezirk einer Lunge gelegentlich stundenlang die Circulation unterbrochen sein sollte.

Immerhin können diese räthselhaften Stellen schon wegen ihrer Kleinheit zu einer Täuschung keine Gelegenheit geben, und es bleibt mithin trotz ihrer in der Anilinblauinjection ein zuverlässiges Mittel, um zu erkennen, welche Gefäßgebiete bei einem Thiere von circulirendem Blut durchströmt wurden. Indem wir nun mittelst dieser Selbstinjection den Antheil feststellen wollten, welchen die Bronchialarterien an der Circulation in den Lungen haben, war es nöthig, vor der Injection die Pulmonalarterie auf einer Seite zu

verlegen. Da es aber selbstverständlich zu unsicher war, dies durch einen Embolus zu bewirken, so führten wir die Unterbindung der A. pulmonalis auf einer Seite, und zwar wählten wir immer die linke, aus. Die Operation gelingt sehr leicht bei Kaninchen, etwas schwerer, wegen der grösseren Tiefe des Thorax, bei Hunden. Wir schlugen dabei folgendes Verfahren ein. Während die linke, vordere Extremität gegen den Kopf des Thieres hinaufgeschlagen und daselbst festgebunden ist, wurde die 3. und 4., öfters auch 2. Rippe linkerseits ziemlich ausgiebig reseziert, was unter geringer und jedenfalls bald stehender Blutung gelingt. Alsdann liegt die Lunge, welche Anfangs durch die heftigen Respirationsbewegungen der Thiere einige Male zur Wunde hinausgedrängt wird, bald aber zur vollständigen Ruhe gelangt, für die weitere Operation vollständig frei. Man erkennt dann sogleich den einfachen Stamm der A. pulmonalis, der oberhalb und hinter den Lungenvenen verläuft und wegen der dickeren Wandung heller aussieht als die Venen, und kann mittelst eines kleinen, stumpfen Ligaturhakens leicht einen Faden um die Arterie führen und sie fest zubinden. Welchen Einfluss die Ligatur einer Pulmonalarterie auf den Gesamtkreislauf hat, darauf gedenken wir bei anderer Gelegenheit näher einzugehen, hier genügt es hervorzuheben, dass die Thiere den Eingriff relativ gut vertragen. Nachdem die Thoraxwunde durch Suturen geschlossen war, sassen die Kaninchen ruhig, mit anscheinend nur leichter Dyspnoe da, und so verhielten sie sich bis 5, 6 Stunden nach der Operation; längere Zeit haben wir bis zur folgenden Injection nicht verstreichen lassen. Nachdem wir nemlich uns zuvor durch einen entsprechenden Versuch davon überzeugt hatten, dass ein Pneumothorax allein die Vollständigkeit der Selbstinjection durchaus nicht beeinträchtigt, so bewerkstelligten wir dieselbe bei den Thieren mit ligirter A. pulmonalis. Das Resultat war ein ganz constantes, mochten wir zur Injection die Carminlösung oder das Anilinblau wählen, mochte dieselbe sofort nach der Unterbindung oder eine oder selbst 5, 6 Stunden nachher geschehen, mochten wir endlich während der Injection künstliche Respiration unterhalten oder nicht. Es war nemlich der ganze Körper des Thieres vollständig injicirt, mit Ausnahme der linken Lunge, die absolut blass und ungefärbt geblieben war. Lediglich die Wandungen der Bronchien zeigten eine rothe, resp. blaue Injection, quantitativ ganz über-

einstimmend mit der in der rechten Lunge, während ein ausgesprochenere Gegensatz gar nicht gedacht werden konnte, als der zwischen der rechten Lunge mit ihrer strotzenden, durch und durch vollständigen Capillarinjection und der linken, in der auch mikroskopisch keine Spur von gefärbten Gefässen nachgewiesen werden konnte. Nur in einzelnen der grössten Lungenvenen fanden sich ein paar blaue Schollen, die hierher augenscheinlich aus dem Vorhof hinübergeschwemmt waren. Auch diese Versuche haben sonach zu einem unseres Erachtens ganz positiven Ergebniss geführt; sie lehren, dass die Bronchialarterien dem Lungenparenchym selbst nicht geringe Quantitäten Blutes zuführen, und dass sich dies auch nicht ändert, wenn die Pulmonalwege verschlossen sind. Es scheint hiernach nicht gestattet anzunehmen, dass auf den physiologischer Weise vorhandenen Wegen, also vor der Entwicklung einer ganz neuen Vascularisation, die Bronchialarterien im Stande sind, einen Lungenabschnitt mit Blut zu versorgen, dessen zuführender Pulmonalast verschlossen ist.

Wie die Sachen jetzt liegen, kann das Blut, welches die Gefässe eines Lungenabschnittes mit obturirter Pulmonalarterie durchströmt, nur noch von benachbarten Lungencapillaren in dieselben gelangen. Es wäre damit freilich ein Verhältniss gegeben, das an keiner anderen Stelle des Körpers seine Analogie hat; überall sonst fliesst das Blut, das aus den zuführenden Arterien in ein Capillargebiet einströmt, von hier aus lediglich vorwärts in die abführenden Venen, so lange diese offen sind, ganz gleich ob die benachbarten Arterien mit dem anstossenden Capillargebiet offen und passirbar sind oder nicht¹⁾. Indessen giebt es doch auch zwischen den Lungencapillaren und denen des übrigen Körpers einige Unterschiede, die ein so abweichendes Verhalten wohl erklären können. Die Lungencapillaren sind für einmal weiter, als die Haarröhren irgend eines anderen Organs, mithin sind die Widerstände in ihnen entsprechend geringer, der Art, dass ja schon die Drittelshöhe des Aortendrucks genügt, das Blut durch sie in die Venen hinüberzutreiben. Für's Zweite kommen hierzu die unaufhörlichen Volumsveränderungen der Lunge durch die Athmung, deren circulationsbefördernde Wirkung aus mannichfachen Erfahrungen der Pathologie erhellt. Jedenfalls forderten diese Erwägungen zu einer

¹⁾ Vgl. Cohnheim, Embolische Prozesse. S. 9 u. 18.

experimentellen Prüfung auf, für die sich in sehr nabeliegender Weise die Selbstinjection mit Carmin oder Anilinblau nach vorheriger Embolisirung der Lungenarterien darbot. Gelang es einen Lungenabschnitt mit verstopfter Arterie mittelst der Selbstinjection zu färben, so konnte dies, nachdem die Bronchial- sowie die Pulmonalarterien durch die obigen Versuche ausgeschlossen waren, nur auf dem Wege der an den obturirten Bezirk angrenzenden Capillaren geschehen sein; dass aber die Selbstinjection allein und nicht die künstliche an der todten Lunge darüber Aufschluss geben konnte, ob der physiologische, resp. durch die collaterale Fluxion etwas erhöhte Druck in den Lungengefässen jene Füllung zu bewerkstelligen vermag, bedarf einer weiteren Auseinandersetzung nicht.

Von vornherein mussten wir uns allerdings sagen, dass in einem Lungenabschnitt, dessen Gefässe lediglich von Blut durchströmt werden, das vorher bereits Capillaren passiert hat, die Circulation keine kräftige sein kann. Das Blut kann hier nur langsam fliessen, die in der Zeiteinheit einströmende Menge muss erheblich geringer sein, als bei offenen arteriellen Zuflüssen; es werden deshalb die Gefässe des Theils nur schwach gefüllt, und der Blutwechsel in ihnen ein wesentlich verzögerter sein. Demnach war nur zu erwarten, dass die Injection des verstopften Abschnittes einigermaassen vollständig würde, wenn viel Masse in's Blut injicirt worden und ganz besonders, wenn die Thiere den Anfang der Einspritzung längere Zeit überleben. Diese Bedingungen erfüllte, wie schon oben hervorgehoben, das lösliche Anilinblau, dagegen nur ausnahmsweise die Carminlösung.

In der That ist es uns einige Male geglückt, eine nahezu vollständige Injection von Lungentheilen zu erhalten, deren zuführende Arterien durch Paraffinpfropfe fast obturirt waren, und zwar sowohl mit Carmin, als auch mit Anilinblau. Einmal injicirte sich eine Lunge, in der mehrere Pfröpfe in verschiedenen Gefässen steckten, total; die anderen Male war nur hinter je Einem Pfropfe die Injection gut gelungen, während hinter anderen Pfröpfen theils derselben, theils der anderen Lunge die Gefässe sich nur sehr unvollständig gefüllt hatten; zwischen Embolisirung und Injection waren je 2, 4, 6 Tage verstrichen, das so injicirte Lungengewebe übrigens, wie wohl nicht erst ausdrücklich erwähnt zu werden braucht, in Structur und Luftgehalt völlig normal. — Aber diese Fälle einer

wohlgelungenen Selbstinjection bildeten doch die ausgesprochene Ausnahme. In der sehr überwiegenden Mehrzahl der Versuche, ungefähr 7—8mal so oft, war die Gefässfüllung hinter dem Embolus eine weit weniger vollständige. Einzelne Aestchen capillären und grösseren Kalibers waren in dem betreffenden Abschnitt immer gefüllt. Aeusserst wenige waren ihrer in den Fällen, wo es zur hämorrhagischen Infarcirung hinter dem Pfropf gekommen war. Aber auch wo diese ausgeblieben war, war die Injection öfters so schwach, dass der Abschnitt gar nicht blau aussah, vielmehr durch seine Farblosigkeit sich scharf vom tiefblauen übrigen Gewebe absetzte: hier bedurfte es auch erst der mikroskopischen Untersuchung, um den Farbstoff in etlichen Blutgefässen nachzuweisen. In der entschiedenen Mehrzahl aller Versuche endlich war der verstopfte Lungenabschnitt vom blossen Auge blassblau und dadurch auch ohne Weiteres der Sitz des Embolus sofort kenntlich; bei der mikroskopischen Prüfung, die immer gleich frisch an Doppelmesserschnitten, oder an Rasirmesserschnitten aus dem gefrorenen Organ vorgenommen wurde, stellte sich dann heraus, dass die Zone, die dicht an das nicht verstopfte Lungenparenchym grenzte, noch ziemlich vollständig injicirt war, dass aber je weiter davon, die Füllung immer unvollständiger wurde. Gefärbt waren Arterien, Venen und Capillaren, und zwar gab es immer kleine Gefässgebiete, einem oder ein paar Alveolarsepta entsprechend, die Farbstoff führten, während dazwischen immer andere Alveolarsepta sich befanden, die absolut ungefärbt geblieben waren. Es sind hierbei, wir wiederholen es, immer nur solche Versuche berücksichtigt, in denen sowohl die Lungeninjection in den nicht verstopften Theilen, als auch die Injection der Bronchialgefässe gut gelungen war.

Diese Versuche werfen nun ein, wie uns scheint, bemerkenswerthes Licht auf die Natur der Circulation in einem Lungenabschnitt, dessen zuführende Arterie verlegt und in dem trotzdem das Parenchym ganz unverändert geblieben ist. Denn dass es sich in diesen Fällen um solche Abschnitte handelte, die bei längerem Zuwarten sich noch infarcirt hätten, davon kann ganz und gar nicht die Rede sein Angesichts des Umstandes, dass wir dieselben schwachen Injectionsresultate erhielten bei Thieren, denen die Pfröpfe 8, selbst 10 Tage vor der Selbstinjection eingebracht worden, wie bei solchen, wo seit der Embolisirung erst wenige Tage verstrichen

waren. Vielmehr bestätigen diese Experimente in erster Linie ganz evident die schon früher ermittelte Thatsache, dass die sämtlichen Verästelungen der Pulmonalis Endarterien sind. Wären auch nur wenige und kleine arterielle Anastomosen vorhanden, die Injection könnte niemals so dürftig und lückenhaft ausfallen. Am Darm z. B. kann man auf eine Strecke von 8—10 Cm. sämtliche vom Mesenterium zu jenem tretenden Arterien ligiren, und obwohl die betreffende Darmschlinge jetzt nur noch von Arterien gespeist werden kann, die in der Darmwand selbst gelegen sind, so giebt die Selbstinjection schon eine Stunde, selbst noch kürzer nach der Unterbindung der Mesenterialarterien doch eine ebenso reichliche Füllung der Gefässe in dieser Schlinge, als im übrigen Darm. Vollends in den Lungen, die ja, sehr naturgemäss, immer bei Weitem am vollständigsten injicirt sind! — Weiterhin aber ergibt sich, dass nur ganz ausnahmsweise in Lungenabschnitten mit verstopfter Arterie, auch bei Ausbleiben jeder Veränderung in Structur und Luftgehalt, eine gute Circulation vorhanden ist. Bei Weitem häufiger ist das Gegentheil der Fall, wie wir dies von vornherein vermuthet hatten. Wenn bei einem Thiere, das die vollständig geglückte Selbstinjection eine Stunde unter gutem Herzschlag überlebt hat, in einem Lungenlappen mit verstopfter Arterie nur etwa der fünfte Theil oder noch weniger der vorhandenen Blutgefässe gefärbt ist, so wissen wir das nicht anders zu deuten, als dass die Blutströmung in diesem Theil eine schwache und langsame, der Blutwechsel ein sehr geringfügiger ist. Mit dieser Auffassung stimmt vollkommen das Resultat eines anderen Experimentes überein, das freilich durch besondere Eleganz sich nicht auszeichnet. Um womöglich directen Aufschluss über die Circulation in einem Lungenlappen mit verlegter Arterie zu erhalten, resecirten wir einem Kaninchen, dem zuvor Paraffinemboli eingebracht waren, auf beiden Seiten in ausgiebiger Weise eine Anzahl Rippen. Es war nun leicht, während selbstverständlich künstliche Respiration unterhalten wurde, die Lungen genau zu inspiciren, indess gelang es nie im äusseren Aussehen, etwa dem Grade der Röthung, einen Unterschied zwischen verstopften und nicht verstopften Lungentheilen zu erkennen — sofern nicht etwa eine Infarcirung eingetreten war. Wenn wir dagegen die einzelnen Lungenlappen anschnitten, so ergab sich ein sehr wesentlicher Unterschied in der Blutung; aus der Wunde des nicht embolisirten Lappens

quoll das Blut reichlich, selbst spritzend hervor, während die Wunde hinter dem Embolus fast ganz trocken blieb.

Verhält sich die Sache aber so, wie unsere Untersuchung es ergeben hat, wird wirklich, von einzelnen Ausnahmefällen abgesehen, ein Lungenabschnitt, dessen zuführende Arterie obturirt ist, nur von einem sehr spärlichen Blutstrom durchflossen, so ist unseres Erachtens das Auffallendste, dass die Lunge einen derartigen Zustand so gut, so ohne Störung ihrer Integrität verträgt. Die Erklärung hierfür liegt, so scheint uns, im Bau und der Structur der Lunge. In Wahrheit ist dieselbe ja Nichts als ein Bronchialbaum, mit dem die Röhrensysteme der Lungenblut- und Lymphgefäße aufs Innigste verflochten sind; was ausser diesen in der Lunge an Gewebe vorhanden ist, beschränkt sich auf die endotheliale Auskleidung der Alveolen und das Bindegewebe, das in den normalen Alveolarseptä ja auch nur in minutiöser Menge, etwas reichlicher lediglich erst in den Lobularseptä angehäuft ist. Nun, die Bronchien, die grösseren Pulmonalgefäße, sowie das Bindegewebe der Lobularseptä werden, wie bekannt, von den Bronchialarterien versorgt, die mit Rücksicht hierauf Virchow so zutreffend als die nutritiven Gefäße der Lungen bezeichnet hat. Dem von den Pulmonalarterien in die Lungen zugeführten Blut liegt als nutritive Function lediglich und allein ob die Erhaltung derjenigen Pulmonalgefäße, die keine eigenen Vasa vasorum mehr haben, d. h. also der kleinsten Arterien und Venen und der Capillaren. Dass diese auf die Dauer des circulirenden Blutes zu ihrem Leben nicht entbehren können, versteht sich natürlich von selbst. So liegt es ja aber in unseren Fällen nicht; es strömt Blut in ihnen, nur weit weniger und auch langsamer, als unter normalen Verhältnissen. Diese geringfügige Circulation scheint für die Lungenblutgefäße zu genügen, um sie vor erheblicherer Schädigung ihrer Integrität zu bewahren: die Pulmonalgefäße sind eben sehr widerstandsfähig. Arterialisirt ist, was ja für diese Verhältnisse besonders in's Gewicht fällt, das Blut, welches in die Gefäße des verstopften Lungenlappens kommt; denn es ist ja vorher durch Capillaren gegangen. Wenn man sich aber erinnert, wie resistent sich viele Gefäße, z. B. die der Haut, selbst gegen eine vollständige Absperrung der Blutzufuhr verhalten, so wird man unschwer den Gedanken acceptiren, dass die Pulmonalgefäße bei einer zwar schwachen, aber doch vorhandenen Circula-

tion lange Zeit unversehrt bleiben. Ob nicht schliesslich, wenn seit der Verstopfung Wochen und mehr noch vergangen sind, die Verhältnisse sich noch günstiger gestalten, etwa durch Erweiterung einzelner Capillarbahnen, oder, wofür der oben citirte Virchow'sche Versuch spricht, durch Gefässneubildung von der Bronchialis aus, das fällt uns nicht ein, bestreiten zu wollen. Für die gewöhnlichen Embolien des Menschen kommt ja überdies die Organisation und Canalisation des Thrombus in Betracht, durch die bekanntlich nicht selten das Lumen des verstopften Gefässes sich in gewissem Grade wieder herstellt. Alles dies aber kann an der Thatsache Nichts ändern, dass eine verhältnissmässig sehr lange Zeit — sicher bis 10, 12 Tage — die Pulmonalgefässe durch eine sehr schwache und dürftige Circulation in ihrer Integrität und physiologischen Beschaffenheit erhalten werden können.

Allerdings hat das seine Grenze. Wenn die Blutbewegung in einem Lungentheil mit verstopfter Arterie unter ein gewisses Minimum heruntergeht, so giebt es den hämorrhagischen Infarct, dessen Entstehung aus rückläufiger Anschoppung von den Venen her und consecutiver Diapedesis aus den angeschoppten Capillaren und Venen ja zweifellos festgestellt ist. Fragen wir uns nun von unserem jetzt genommenen Standpunkte aus, welche Bedingungen das Zustandekommen einer Infarcirung in den Lungen begünstigen, so müssen unserer Meinung nach zwei Punkte hier besonders in's Gewicht fallen, zuerst eine abnorme Schwäche des Capillarstromes, sodann abnorm grosse Widerstände in den Lungenvenen. Das Erste muss der Fall sein, wenn in derselben Lunge und ganz besonders demselben Lungenlappen ausser der einen Arterie noch mehrere andere Zweige verlegt sind, und es ist eine bekannte pathologisch-anatomische Erfahrung, dass man neben einem hämorrhagischen Infarct in einer Lunge sehr gewöhnlich noch andere Arterienembolien ohne anatomische Folgen trifft. Demnächst muss jede Schwächung der Action des rechten Herzens, wie sie durch länger dauerndes Fieber oder durch Fettherz oder dergleichen bedingt wird, herabsetzend auf den Druck und die Energie des Blutstromes in den Lungenarterien und damit auch Capillaren wirken: wie gern aber losgerissene Parietalthromben aus dem rechten Ventrikel oder Vorhof hämorrhagische Lungeninfarcte herbeiführen, weiss Jedermann. — Die Erschwerung des venösen Abflusses andererseits

spielt unseres Erachtens eine wesentliche Rolle bei der Entstehung der sogenannten hämoptoischen Infarcte, die im Gefolge linksseitiger Klappenfehler, ohne concurrirende Körperventhrombose etc., auftreten. Die Stauung allein kann freilich eine solche umschriebene Infarcirung schwerlich hervorbringen; aber sie wird deren Entwicklung ganz wesentlich begünstigen, wenn, wie wir es mehrere Male beobachtet haben, der Zufluss zu der betreffenden Stelle durch eine locale Thrombose der Arterien oder selbst nur durch hochgradige Veränderung ihrer Wandung beeinträchtigt ist.

Erklärt sich so, wie wir meinen, ganz ungezwungen, wie es kommen kann, dass trotz der so bedeutenden Widerstandsfähigkeit der Pulmonalgefässe ein Lungenabschnitt mit verstopfter Arterie sich infarcirt, so geben unsere Versuche noch über eine ganz andere Seite der Frage erwünschten Aufschluss. Es zeigt sich nemlich, dass eine einfache Embolie eines Lungenarterienastes, hinter der das Parenchym keinerlei anatomische Veränderungen darbietet, doch in der Regel kein gleichgültiges Ereigniss ist. Denn es liegt auf der Hand, dass ein Lungenabschnitt, dessen Gefässe von einer so winzigen Menge Blutes durchströmt werden, für die Athmung so gut wie Nichts leistet. Je grösser die verlegte Arterie oder je grösser die Zahl verstopfter kleiner Aeste, desto bedeutender muss der Ausfall an Athmungsfläche sein; und so begreifen sich ohne Schwierigkeit die nicht eben seltenen Fälle, wo kleine einfache, blande Emboli, die nicht auf einmal, sondern ganz successive in grösserer Anzahl in die Lungen eines Individuum gefahren sind, und um oder hinter denen nirgend eine Spur von Parenchymveränderung nachzuweisen ist, doch Athmungsinsufficienz und dadurch den Tod herbeiführen.

Zum Schluss sei es uns noch gestattet darauf hinzuweisen, dass die vorliegende Untersuchung auch die Erklärung bietet für die Befunde, die jedem pathologischen Anatomen sicher begegnet sind, wo nemlich der Infarct nicht dicht und unmittelbar hinter dem Embolus beginnt, sondern noch eine Zone lufthaltigen Gewebes zwischen beiden sich befindet: hier hat der collaterale Capillarstrom noch genügt, die hart angrenzenden Gefässbezirke mit Blut zu speisen, für die entfernteren aber nicht mehr ausgereicht.