

III.

Die Folgen von Lungenexstirpation.

Eine experimentelle Untersuchung.

Von

Dionys Hellin, Warschau.

I.

Wie lange lebt ein Tier nach einer totalen einseitigen Lungenexstirpation? In welcher Weise verändert sich nach diesem Eingriff die andere Lunge, sowohl in anatomischer wie in physiologischer Hinsicht? Was wird aus dem Thoraxraum, in dem sich die exstirpierte Lunge befand?

In Analogie mit anderen doppelten Organen, wie Niere, Gehirn usw., ist schon von vornherein anzunehmen, daß die zurückgebliebene Lunge vikariierend die Rolle der exstirpierten übernimmt. Auch die Erscheinungen beim Empyem geben uns gewisse Anhaltspunkte in dieser Hinsicht. Diese Voraussetzungen wurden in der Tat durch das Experiment bestätigt.

Als Versuchstiere habe ich Kaninchen verwendet. Es wurde jedesmal die rechte Lunge exstirpiert ¹⁾, welche, da sie aus vier Lappen besteht, ein größeres Volumen als die linke hat; somit bleibt bei Exstirpation der rechten Lunge eine geringere Quantität von Lungengewebe für die Atmung übrig, als nach Exstirpation der linken. Obwohl keine Anti- resp. Asepsis angewendet wurde, entstand kein einziges Mal Pleuritis. Beinahe alle Kaninchen überlebten den Eingriff. Die nach der Operation auftretende Dyspnoë verschwindet gewöhnlich nach 2—3 Stunden; eine länger dauernde Dyspnoë — ist ein signum mali ominis. Die operierten Kaninchen fingen gewöhnlich erst an dem der Operation folgenden Tage zu fressen an; diejenigen, die sofort nach der Operation fraßen, ertrugen alle gut die Operation.

1) Man muß dabei vermeiden, das Zwerchfell, besonders in der Nähe des Herzens, zu berühren, weil dann leicht Reflexsyncope eintritt.

Bei Eröffnung des Thorax am 3.—4. Tag nach der Operation sieht man, außer einer unbedeutenden Verschiebung des Herzens nach der Seite der entfernten Lunge hin, fast keine Veränderung seit der Operation. Der früher von der exstirpierten Lunge eingenommene Raum ist leer, weder durch Bindegewebe noch durch Exsudat noch durch irgend ein Organ erfüllt. Vom 5. Tage an tritt eine stärkere Verschiebung des Herzens, welches jetzt auch vergrößert ist, auf. Ungefähr am 9. Tage ist das Herz fast vollständig nach der operierten Seite zu verschoben. Dabei tritt eine starke Hypertrophie desselben und eine Vergrößerung der linken Lunge ein. Durch gleichzeitige Verschiebung auch des Zwerchfells nach oben wird der ganze rechte Thoraxraum erfüllt. Das Herz verwächst mit dem Zwerchfell. Etwa fünf Wochen nach der Operation sieht man, außer den genannten Veränderungen, noch eine Verschiebung eines Lappens der linken Lunge in horizontaler Richtung nach der rechten Seite hin. Das Herz, mit dem Zwerchfell und der Pleura costalis der operierten Seite verwachsen, füllt jetzt den Thoraxraum so vollständig aus, daß man bei Eröffnung der rechten Thoraxhälfte zunächst nur das Herz zu sehen bekommt. Es füllt die rechte Thoraxhälfte ebenso aus, wie vor der Operation dieser Raum durch die rechte Lunge ausgefüllt war. Die linke Lunge erlangt, nach circa sechs Wochen, einen solchen Umfang, wie beide Lungen eines normalen Kaninchens zusammen. Die Hypertrophie des Herzens erreicht kolossale Dimensionen. Bei zwei Kaninchen¹⁾ habe ich die Sektion erst nach Verlauf einer Jahresfrist vorgenommen und habe dieselben Veränderungen beobachtet. Die Sektion (Querschnitt durch den Thorax) wurde nach Einspritzung von Formalin in die Vena femoralis, was ein richtiges topographisches Bild zu erhalten erlaubt, gemacht.

Die mikroskopische Untersuchung wies erst nach ca. fünf Wochen nennenswerte Veränderungen auf. Die hauptsächlichsten Veränderungen betreffen die Lungengefäße. Die interalveolären Gefäße waren erweitert, die Muscularis, besonders der größeren Gefäße, war stark verdickt, manchmal so hochgradig hypertrophisch, daß ihr Umfang das zweifache vom Normalen betrug. Die Bedeutung dieser Veränderung wird im II. Teil dieses Aufsatzes näher erörtert werden. Diese Hypertrophie der Gefäße war aber viel geringer bei denjenigen Kaninchen, welche bereits ein Jahr mit einer

1) Männchen und Weibchen — sie befanden sich die ganze Zeit zusammen in einem besonderen Käfig. Zweimal wurden Junge geboren, aber das Weibchen hat sie jedesmal getötet. Ähnliche Beobachtung machte auch Wills, *Experim. Study in Thorax Surgery*. Med. Soc. of the state of California 25. IV. 1892.

Lunge lebten, offenbar, weil gleichzeitig mit der Volumenzunahme der zurückgebliebenen Lunge auch eine Neubildung von Gefäßen zustande kam, so daß durch Verteilung der Blutmenge auf eine größere Zahl von Gefäßen die Verhältnisse sich mehr den normalen näherten. Bindegewebsvermehrung in der zurückgebliebenen Lunge konnte nicht konstatiert werden.

Ob die Vergrößerung der Lunge durch Hypertrophie, Hyperplasie oder durch emphysematösen Prozeß zustande komme, diese Frage ist nicht ganz klar. Ich habe ebenso wie Busse¹⁾ und Wolff²⁾ aus den mikroskopischen Präparaten den Eindruck gewonnen, daß es sich wahrscheinlich um Hypertrophie, vielleicht auch Hyperplasie, jedenfalls aber nicht um Emphysem handelt, wie Kijewski³⁾ meint. Die Alveolen waren zwar vergrößert, aber nicht in dem Grade, wie beim Emphysem, und diese Vergrößerung war nicht durch Schwund der Alveolarseptä und Verschmelzung mehrerer Alveolen, wie beim echten Emphysem, verursacht. Auch makroskopisch war eine Vergrößerung der Luftbläschen, wie etwa beim Emphysem, nicht wahrzunehmen.

II.

Auf Grund der Untersuchungen über den respiratorischen Gasaustausch beim Pneumothorax⁴⁾ war es schon im vornherein wahrscheinlich, daß die CO₂-Ausscheidung bei der Respiration nach einseitiger Lungenexstirpation keine wesentlichen Veränderungen von normalen Verhältnissen aufweisen würde. Ähnlich wie beim Pneumothorax, tritt auch hier, dank der Zunahme der Atemtiefe und der Atmungsfrequenz, eine Kompensation ein. Es ist auch nicht anders möglich. Erstens wird die andere Lunge hypertrophisch und ersetzt so die fehlende Lunge, zweitens aber muß die Spannung der CO₂ im Körper entsprechend der Verminderung der ausscheidenden Oberfläche zunehmen; infolge dessen wird bei Tätigkeit nur einer Lunge die CO₂ in größerer Menge ausgeschieden als durch eine normale Lunge bei gleichzeitiger Tätigkeit beider Lungen.

1) Vortrag im Medizin. Verein zu Greifswald. 1. II. 1902.

2) Franz Wolff, Über Atrophie u. kompensatorische Hypertrophie der Lunge. Inaug.-Diss. Greifswald. 1902.

3) Kijewski, Über Lungenexstirpation. Annalen der ärztlichen Gesellschaft zu Warschau. 1901—1903 (polnisch).

4) Regnault und Reiset. — Krause. — Kramer. — Rauber. — Leichtenstern. — Thoma und Weil. — Harley (Journal of Physiology 1899). — Blumenthal.

Doeh sind Versuche über CO_2 -Ausscheidung bei Tieren mit einer Lunge bis jetzt noch nicht gemacht worden.

Die Resultate meiner Versuche bestätigten die obengenannten Voraussetzungen. Die Versuche wurden in folgender Weise ausgeführt.

Nach mehrmals wiederholter CO_2 -Bestimmung bei normalem Kaninchen (vor- und nachmittags) wurde die rechte Lunge exstirpiert und dann wieder die CO_2 bestimmt — einige Stunden bis mehrere Tage nach der Operation. Natürlich handelte es sich nur um die Frage, ob die Menge der ausgeschiedenen CO_2 nach der Operation nicht verringert werde. Es braucht nicht hinzugefügt zu werden, daß ich bemüht war, die Messungen unter möglichst gleichen Bedingungen auszuführen. Jeder Versuch dauerte 1—1½ Stunden. Der von mir benutzte Apparat war eine in Prof. Rosenthals Laboratorium gebrauchte Modifikation des Voit'schen Apparates. Er bestand aus einer luftdicht auf einer Glasplatte befestigten genügend großen Glasglocke, mit der eine gut geaichete Gasuhr in Verbindung war, die die Menge der Ventilationsluft angab. Von der Glasglocke gingen außerdem zwei Schläuche ab. Der eine von ihnen war mit einer Körtingschen Wasserstrahlpumpe verbunden. Der andere war mit zwei Erlenmeyerschen Kolben verbunden, die ihrerseits mit zwei Pettenkofer'schen Röhren kommunizierten; das andere Ende der Pettenkofer'schen Röhren war durch ein vierzinkiges Glasrohr mit einer Indikatorflasche verbunden, die als Beweis für die vollständige Absorption der CO_2 in dem Röhrensystem diente. Die CO_2 wurde durch $\text{Ba}(\text{OH})_2$ absorbiert und durch Titration mit H_2SO_4 bestimmt. ¹⁾ Als Indikator diente eine alkoholische Rosollösung. Unmittelbar vor der Messung wurde jedesmal 15—30 Minuten lang, d. h. bis sich das Tier in der Glasglocke vollständig beruhigt hatte, das mit $\text{Ba}(\text{OH})_2$ gefüllte Röhrensystem geschlossen gehalten und die ausgeschiedene CO_2 in das Wasserstrahlpumpenrohr geführt. Dann erst wurde die CO_2 durch das mit $\text{Ba}(\text{OH})_2$ gefüllte Röhrensystem durchgelassen.

Diese Versuche haben erwiesen, daß die CO_2 -Menge, welche von einem Kaninchen nach einseitiger Lungenexstirpation ausgeschieden wird, nicht geringer ist als die, die durch beide Lungen

1) Das ganze Röhrensystem, durch welches die CO_2 ging, wurde mit einer bestimmten Menge (1800 ccm) $\text{Ba}(\text{OH})_2$ gefüllt; ein Teil des Niederschlages wurde mit Hilfe einer H_2SO_4 -Lösung titriert, deren 1 ccm einem Gramm CO_2 entsprach. Von der so berechneten CO_2 -Menge wurde die durch das Gasometer durchgegangene CO_2 -Menge der Luft abgerechnet.

vor der Operation angeschlossen worden war, d. h. mit anderen Worten, es scheidet eine Lunge, nach der Exstirpation der anderen, zweimal so viel CO₂ aus als vor der Operation. Die Versuche bestätigen somit unsere Voraussetzungen und sie machen uns zugleich

Die Menge der ausgeschiedenen CO₂ in Gramm auf
1 Stunde und 1 kg Tier umgerechnet¹⁾.

	Vor der Operation		Nach der Operation	
	morgens	abends	morgens	abends
1. Kaninchen	1,170	0,91	—	—
2. Kaninchen	1,226 1,472 1,542	1,389 1,665 1,543	—	—
3. Kaninchen	1,249 1,585 1,285	1,536 1,334	2 Tage n. d. Operation 1,481 5 " " " " 1,399	3 Tage n. d. Operation 1,490 8 " " " " 1,197
4. Kaninchen	—	1,362 1,443 1,314 1,454 0,821	1 Tag " " " 1,266 5 Tage " " " 1,372	3 " " " " 1,066 4 " " " " 1,545
5. Kaninchen	1,378 1,264	1,226 1,388	1 Tag " " " 1,037 2 Tage " " " 1,244	3 " " " " 1,319
6. Sehr kleines Kaninchen	—	—	1 Jahr " " " 0,866 0,732	0,888 0,992
7. Kaninchen	—	—	1 " " " " 1,489 1,132	1,887 1,448
8. Kaninchen	—	—	5 Woch. " " " 1,309 1,029	1,229 1,065

die im ersten Teil dieses Aufsatzes angegebenen anatomischen Veränderungen in den Lungengefäßen verständlich. So kommt auch K. Möller²⁾ zu dem Schluß, daß die Vermehrung der CO₂-Ausscheidung bei einseitigem Pneumothorax dadurch zustande komme, daß:

1. die Herzschläge zahlreicher werden, so daß, trotz der geringeren Blutmengen, der Gasaustausch in der Lunge vergrößert wird;
2. das Herz eine Ausdehnung erfährt.

1) Die ausgeschiedene CO₂-Menge variiert sehr bei verschiedenen Kaninchen; bei einem und demselben Kaninchen kommen geringere Schwankungen vor. Große Kaninchen scheiden verhältnismäßig weniger CO₂ aus als kleine.

2) In Voits Zeitschrift für Biologie.

In beiden Fällen, sagt er, muß, wenn die gleiche Blutmasse auf einen geringeren Gefäßquerschnitt sich verteilt, die Strömung des Blutes in den Blutgefäßen eine ungleich geschwindere sein. Außerdem und vor allem kommt hier in Betracht, daß nach und nach die Gefäße des gesunden Teils der Lungen sich ausdehnen und mehr Blut als normal fassen. Dadurch wird das Strombett der gesunden Lunge so weit, wie sonst das Bett beider Lungen zusammen, und die Zahl der Herzschläge sowie die erhöhte Geschwindigkeit des Blutstromes kann wieder abnehmen ohne Schaden für den Organismus. Wenn also längere Zeit seit der Operation verstrichen ist, dann tritt eine Involution der zeitweise hypertrophischen Gefäße ein, weil während dieser Zeit die zurückgebliebene Lunge an Volumen zunimmt, und das Blut dann auf eine größere Strecke verteilt wird: die Blutgefäße brauchen nicht mehr so intensiv zu arbeiten.

Somit scheidet eine Lunge, nach Exstirpation der anderen, ebensoviel CO_2 aus (und nimmt ebensoviel Sauerstoff auf), wie unter normalen Verhältnissen beide Lungen zusammen. Vielleicht läßt sich auf diese Weise erklären, warum bei Phthisikern, selbst mit großer Lungenzerstörung, häufig keine dyspnoischen Erscheinungen eintreten.
