Spirometrische Befunde an Aluminiumstaub-Kranken.

Als Beitrag zu dem von Geheimrat Jamin in der Sitzung der physikalisch-medizinischen Gesellschaft zu Erlangen am 19. Februar 1942 gehaltenen Vortrag „über die Aluminiumstaub-Lunge“ vorgeführt von

Albrecht Engelhardt,
Assistent am Physiologischen Institut der Universität Erlangen.

Bei meinen umfangreichen Untersuchungen über den Verlauf der Lungendurchlüftung, über die ich an dieser Stelle schon einmal berichtete, war ich trotz meines Bestrebens, diese Verhältnisse auch bei anderen kennenzulernen, lange Zeit allein auf den Selbstversuch angewiesen. Es ist dies zwar, wie ich immer wieder betone, für den Biologen eine wichtige Quelle der Erkenntnis, doch war es mir immer wünschenswert erschienen, auch einmal einen anderen Menschen so weit zu schulen, daß ich bei ihm brauchbare Ergebnisse für meine Untersuchungen erheben konnte. So eine Versuchsperson müßte es durch Übung erlernen, für eine bestimmte Zeit ganz gleichmäßige Atemzüge zu machen. Das natürliche Spiel, unsere Atembewegung in eine bestimmte Form zu bringen, macht große Schwierigkeiten, weil unsere Atembewegung durch die Tätigkeit unseres Gehirns ständig von ihrer allein beim ruhigen Schlaf klar zum Ausdruck kommenden rhythmischen Gleichförmigkeit abgelenkt wird.

Es kam mir deshalb sehr gelegen, als mir die Medizinische Poliklinik im August vorigen Jahres einen Aluminiumstaub-Lungenkranken schickte, der von sich aus schon eine so regelmäßige Lungendurchlüftung ausführte. Dieser Kranke hatte diese abweichende Atembewegung sich aber nicht etwa künstlich angelernt. Wegen der starken Schrumpfung seiner Lunge konnte er andere Atembewegungen nur unter Aufwand besonderer Mühe ausführen und er atmete deswegen immer ganz gleichförmig.

So war mir dieser Patient aus zweierlei Gründen besonders willkommen. Ich war erstens in der Lage, bei einem andern einmal den Arbeitswechsel der Lungenalveolen beobachten zu können, und sah zweitens, wie er sich bei einem in bestimmter Weise geschädigten Menschen abwickelt.

Bevor ich an die spezielle Untersuchung gehen konnte, maß ich nach den allgemein üblichen und teilweise verbesserten Methoden die Atemräume. Ich habe ihren Umfang auf Abb. 1 (rechts) den Größen gegenübergestellt, die wir bei einem Gesunden gleichen Alters und ähnlicher Gestalt erwarten können. Die Atmungsluft (A) ist die Luftmenge, die bei einem natürlichen Atemzug ein- und ausgeatmet wird. Die Ergänzungsluft (Eg) können wir nach beendeter Einatmung zusätzlich in unsere Lunge aufnehmen, die Speicherluft (Sp) nach natürlicher Ausatmung aus unserer Lunge noch abgeben. Für die Summe dieser drei Größen hat sich die Bezeichnung Vitalkapazität (K) eingebürgert. Außerdem befindet sich in unserer Lunge stets noch eine bestimmte Menge Luft, die wir nicht ausatmen können, das ist die Restluft (R). Beim Vergleich der Größen beim Kranken und Gesunden finden wir beim Kranken eine Verkleinerung sämtlicher Räume. Doch sind nicht alle im gleichen Maße vermindert. Die Vitalkapazität ist fast um zwei Drittel, die Restluft dagegen nur um knapp ein Viertel verkleinert. Das Bild läßt vermuten, daß Schrumpfungsprozesse in der Lunge ihre normale Entfaltbarkeit zum Teil verhindern, daß aber keine luftleeren Bezirke in der Lunge bestehen und daß keine Verkleinerung des Brustraumes (etwa durch Erguß oder Pneumothorax) vorliegt. Die Ansicht Jamins, bei der Aluminiumlunge sei vor allem die Ausatmung behindert wie etwa beim Asthma bronchiale, erscheint unbegründet. Aus der geringen Lungenluft geht ihre Unhaltbarkeit mit Sicherheit hervor. Die Versteifung des Lungengewebes, die nach Kirch bei den zwei bisher gemachten Sektionen bei solchen Kranken festgestellt wurde, mag in einem späteren Stadium der Krankheit auftreten, wenn es sich nicht um Veränderungen post mortem, wie ich für

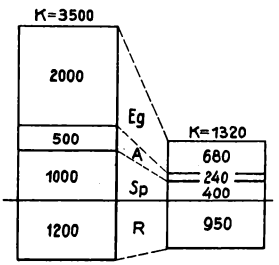

Abb. 1.

wahrscheinlicher halte, handelt. Funktiell lag bei meiner Untersuchung so eine Versteifung mit Sicherheit nicht vor.

Die genannten Größen haben nur zum Teil einen direkten Einfluß auf die Durchlüftung. Es hat sich daher bei uns während der praktischen Forschungsarbeit eine andere Bezeichnungsweise der Atemräume ausgebildet, die im Gegensatz zu der rein anatomischen Aufgliederung eine funktionelle Einteilung der Lungenräume anstrebt. Wir bezeichnen die Luft, die vor der Einatmung in der Lunge vorhanden ist, als die Lungenluft (L), und die Luft, die bei einem Atemzug neu in die Lunge aufgenommen wird, als die Frischluft (F). Mathematisch gelten für diese neuen Größen folgende Beziehungen:

$$L = R + Sp \quad \text{und} \quad F = A - sR$$

Der Betrag für die Frischluft ist also nicht gleich der Atmungsluft. Diese muß vielmehr um eine bestimmte Größe (sR), den schädlichen Raum, vermindert werden. Das ist die Menge der Einatmungsluft, die nicht in die Lunge gelangt, sondern in den Luftleitern für die Atmung ungenutzt liegen bleibt.

Die für die Durchlüftung maßgebenden Größen sind auf Abb. 2 dargestellt. Nehmen wir zunächst eine gleichmäßige Mischung der gesamten Lungenluft mit der Frischluft während jedes einzelnen Atemzuges an, so ergibt sich für den Durchlüftungsgrad der Lunge folgende Beziehung:

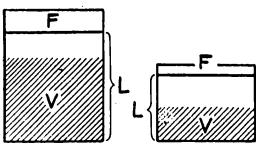

Abb. 2.

$$D' = \frac{F}{F + L} \cdot 100$$

Für diese Größe, die wir als die Rohdurchlüftung bezeichnen, ergeben sich schon deutliche Unterschiede für die gesunde und kranke Lunge. Während D' beim Gesunden 15,4% beträgt, ist die Rohdurchlüftung beim Kranken auf 9,4% gesunken. Daß aber die Durchlüftung des Kranken in noch viel höherem Maße, als durch diese Beziehung zum Ausdruck kommt, geschädigt ist, ergibt sich erst dann klar, wenn wir beachten, daß immer nur ein Teil aller Alveolen an der Durchlüftung beteiligt ist, während die übrigen im Verlauf des betrachteten Atemzuges nicht mit Frischluft versorgt werden. Die Luft, die in diese unbeteiligten Alveolen eingeschlossen ist, nennen wir die Verweil-

luft (V). Sie beträgt beim Gesunden drei Viertel, beim Kranken nur die Hälfte der Lungenluft. Daraus ergibt sich für den Kranken eine noch deutlichere Verschlechterung der Reindurchlüftung (D), wie wir den unter Berücksichtigung der Verweilluft berechneten Durchlüftungsgrad nennen. D beträgt beim Gesunden 42,1, beim Kranken nur 18,4%. Es werden also die durchlüfteten Teile der Lunge viel schlechter mit Frischluft versorgt. Wenn wir dann noch die verminderte atmende Fläche der Lunge, die sich aus der fast nur halb so großen Lungenluft ergibt, berücksichtigen, sehen wir ein, daß der Gasaustausch des Kranken sich unter viel ungünstigeren Bedingungen abspielt als beim Gesunden.

Trotzdem muß in Ruhe der Kranke genau so viel Sauerstoff aufnehmen und Kohlensäure abgeben wie der Gesunde. Er tat dies auch; denn er hatte einen normalen Umsatz. Auch hatte er keine Atemnot. Er konnte den Atem fast ebenso lang anhalten wie ein Gesunder. Der kranke Organismus hatte einen Weg gefunden, wie er trotz der genannten ungünstigen Bedingungen einen geregelten und ausreichenden Gasaustausch aufrecht erhalten konnte. So zeigte seine äußere Atmung noch drei charakteristische Veränderungen, die ich als Kompensation für das veränderte Fassungsvermögen der Lunge deute.

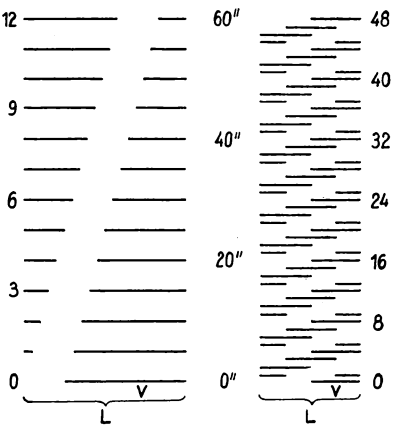

Abb. 3.

Zunächst war seine Atemfrequenz fast vervierfacht. Dadurch erreichte seine Durchlüftung ein höheres Minutenvolumen als beim Gesunden (etwa 11 gegen 8 Liter).

Zweitens war der Arbeitswechsel vollkommen umgestaltet. Das soll die Abb. 3 vor Augen führen. Durch jede Waagrechte ist ein Atemzug dargestellt. Am linken und rechten Rand der Abbildung sind die einzelnen Atemzüge durchgezählt. Mitten ist die Zeit verzeichnet. Der unterbrochene Teil jeder Geraden stellt den an der Durchlüftung beteiligten Anteil der Lungenluft

dar, der ausgezogene Teil der Geraden die Verweilluft. Das Wandern des unterbrochenen Teiles deutet den Schichtwechsel an. Während der Gesunde 16—18mal atmen muß, bis alle Teile seiner Lunge wenigstens einmal mit Frischluft versorgt wurden, dauert das bei dem betrachteten Kranken nur drei Atemzüge. Bis sich beim Gesunden eine ganze Periode des Schichtwechsels abgespielt hat, ist das beim Kranken etwa 20mal geschehen.

Die dritte Kompensation beruht auf einer Vermehrung der aktiven Ausscheidung von Kohlensäure durch die Lunge. Das geht daraus hervor, daß beim Kranken bis 16% Kohlensäure in bestimmten Abschnitten seiner Atmungsluft enthalten sein können, ohne daß dabei irgend welche Anzeichen einer Acidosis bestünden. Der Kohlensäuregehalt der Ausatmungsluft wird im allgemeinen einheitlich mit rund 5½% angenommen. Diese Größe ist als Durchschnittswert in den meisten Fällen richtig. Ich fand aber schon beim Gesunden in einzelnen Abschnitten der Ausatmungsluft unter bestimmten Bedingungen bis zu 8% Kohlensäure.

Wir sehen also eine wesentliche Umstellung der äußeren Atmung des Kranken. Es wird dadurch auch eine Kompensation für die Atmung im Ruhezustand erreicht. Daß aber der Organismus damit schon fast sein Äußerstes leistet, geht daraus hervor, daß schon durch geringfügige Anstrengung eine Atemnot erzeugt wird.

Ich möchte nun meine Ansicht darüber äußern, wie einem solchen Kranken geholfen werden kann. Ich achte zu diesem Zwecke darauf, ob durch die grundlegende Umstellung der Lungentätigkeit nicht andere Organe geschädigt werden. Die Gefahr für diesen Kranken liegt meines Erachtens in einer Überlastung des Herzens, besonders des rechten Ventrikels[1]), durch den vermehrten Kreislaufwiderstand in den Blutgefäßen der Lunge. Ich will nun darlegen, wodurch ich eine Verminderung des Kreislaufwiderstandes in der Lunge für möglich halte.

Zu diesem Zweck habe ich auf Abb. 4 die Atemvolumina beim Gesunden (mitten oben) und Aluminiumstaub-Lungen-

---

1) Nach Kirch lagen in beiden Sektionsfällen Schädigungen des rechten Ventrikels vor. Auch die Röntgenbilder lassen zum Teil auf solche Veränderungen schließen.

kranken (rechts) denen bei einem Verunglückten mit doppelseitigem, geschlossenem Pneumothorax (links) gegenübergestellt. Wie das Bild zeigt, ist beim Staublungen-Kranken vor allem die Vitalkapazität, beim Patienten mit doppelseitigem Pneumothorax fast nur die Restluft verkleinert. Um einen einfachen Ausdruck für diesen charakteristischen Unterschied zu haben, führe ich hier als neuen Begriff ein: die Entlüftbarkeit der Lunge (E). Diese Entlüftbarkeit ist das Größenverhältnis zwischen Vitalkapazität und Gesamtfassungsvermögen (G) der Lunge. Sie ergibt sich aus folgender Formel:

$$E = \frac{K}{G} \cdot 100.$$

Während beim Gesunden die Entlüftbarkeit 74,5% beträgt, ist sie durch den doppelseitigen Pneumothorax auf 88,9% gestiegen und durch die Aluminiumstaub-Einwirkung auf 58,1% gesunken. Da durch die beiden Veränderungen sich die Entlüftbarkeit gerade in entgegengesetzter Richtung ändert, mache ich den Vorschlag, bei dem Staublungen-Kranken einen doppelseitigen Pneumothorax anzulegen. Es müßte dann wieder eine normale Entlüftbarkeit zu erreichen sein. Auf Abb. 4 unten habe ich nun die Größe der Atemräume eines ebenfalls an Aluminiumstaub-Lunge erkrankten Patienten angezeichnet, der zu seiner Staubschädigung einen spontanen Pneumothorax bekam. Bei ihm hat sich die Entlüftbarkeit von selbst auf den im Bereich des Normalen liegenden Wert von 73,6% eingestellt.

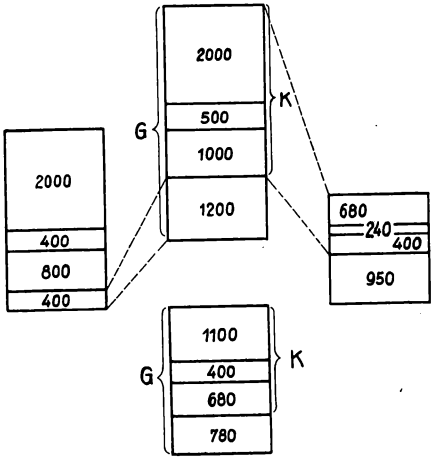

Abb. 4.

Für den Kreislauf bedeutet das insofern eine Erleichterung, weil die Lunge entspannt und dadurch der Gefäßwiderstand in der Lunge vermindert wird. Außerdem wird durch die wieder möglichen größeren Atemexkursionen der venöse Teil des Lungenkreislaufs unterstützt. Wie die Entspannung zu erklären ist, soll das Bild 5 zeigen. Die vier verschiedenen Fälle sind in der

gleichen Weise angeordnet wie auf Abb. 4. Die senkrechten Striche geben die größte Ausdehnung an, die die Lunge zuläßt. Wenn die Lunge über den Betrag, der durch den kleinen Kreis angegeben ist, vergrößert wird, ist sie überdehnt und stellt dem Kreislauf einen vermehrten Widerstand entgegen. Die beiden längeren Parallelen in jedem Bild geben die größten Raumveränderungen an, zu denen der Thorax befähigt ist. Durch den senkrechten Pfeil ist für jedes der vier Beispiele die größte mögliche Atembewegung bezeichnet. Durch die kürzeren, enger beieinanderliegenden Waagrechten ist die Größenänderung des Thorax bei ruhiger Atmung bezeichnet. Im Normalfalle wird die Lunge bei maximaler Einatmung gerade so weit gedehnt, als es ohne Erschwerung des Kreislaufs möglich ist. Bei dem doppelseitigen Pneumothorax ist lediglich der Brustraum um einen konstanten Wert verkleinert. Dadurch wird neben der besseren Entlüftbarkeit eine Entspannung der Lunge erreicht. Allerdings erfolgt das auf Kosten der atmenden Fläche der Lunge, die mit der Verminderung der Lungenluft verkleinert wird. Bei der Aluminiumstaub-Lunge bleibt der Thorax unverändert. Die Dehnbarkeit der Lunge aber hat bedeutend nachgelassen. Durch mechanische Gegenwirkung des Lungengewebes ist jede tiefere Einatmung verhindert. Das wird deutlich durch die Einziehung der Zwischenrippenräume und Schlüsselbeingruben beim Kranken während der Einatmung. Die Lunge ist so stark geschrumpft, daß sie schon bei gewöhnlicher Ausatmungsstellung überdehnt werden muß, um den Brustraum füllen zu können. Würden wir bei so einem Patienten einen doppelseitigen Pneumothorax anlegen und damit den Brustraum um einen konstanten Betrag verkleinern, so würde die Lunge entspannt. Das zeigt schematisch das untere Bild der 5. Abbildung. Damit wäre wiederum eine stärkere Einatmung ermöglicht und auch die Ruheatmung kann sich wieder ihrer natürlichen Größe nähern, ohne daß dabei eine Erschwerung des Kreislaufs erfolgen müßte.

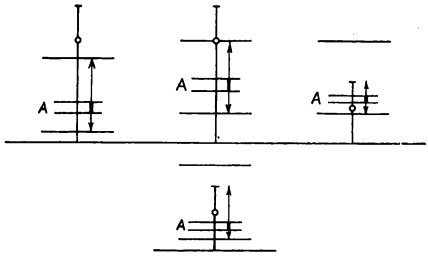

Abb. 5.

Damit erreichen wir außer der Entspannung und besseren Entlüftbarkeit eine Verminderung des Kreislaufwiderstandes in der Lunge. Die bessere Durchblutung ist damit gesichert und eine erhöhte Tendenz zur Ausheilung ist zu erwarten.

Nicht allein die Entspannung, auch die vergrößerten Volumschwankungen der Lunge, stellen eine Förderung des Kreislaufes dar. Dieser Mechanismus ist für die Lunge bis jetzt noch nicht näher untersucht und wird bei Betrachtungen über den Lungenkreislauf so gut wie immer stillschweigend übergangen. Die Förderung beruht auf einer Füllung der Venen bei Dehnung und ihrer Auspressung bei Zusammenziehung des Organs. Durch die Venenklappen ist eine Verschiebung des Blutes in der allein zweckmäßigen Richtung möglich. Gerade der Rückstrom in den Venen ist der Teil des Kreislaufs, der durch die Herztätigkeit allein nicht gesichert ist. Er muß deshalb durch andere Vorgänge unterstützt werden. Für den Muskel ist diese Kreislaufförderung bekannt. Wir haben Grund, eine gleichartige Kreislaufförderung bei den viel bedeutenderen Volumänderungen der Lunge für nicht minder einflußreich zu halten.

Ich bin Ihnen nun nur noch eine Erklärung schuldig, wieso es denn durch die erhöhte mechanische Spannung der Lunge oder eines Gewebes überhaupt zu einer Widerstandserhöhung für den Kreislauf kommt. Ich will hier von umfangreichen Erörterungen absehen und möchte es lieber an einem Versuch nachweisen, den jeder sofort an sich selber ausprobieren kann:

„Betrachten Sie bitte die Färbung Ihrer leicht gebeugten Hohlhand. (Die Hand muß warm sein.) Wenn Sie Ihre Finger so stark wie nur möglich strecken, wird sie bedeutend blasser. Besonders deutlich ist das am Ansatz der Grundglieder der Finger zu sehen.“

Das beruht auf einer Verschlechterung der Durchblutung Ihrer jetzt zu straff gespannten Haut. Die Wirkung kann nur auf eine lokale Widerstandsvermehrung für den Blutstrom zurückgeführt werden.

Der Beweis liegt damit buchstäblich auf Ihrer eigenen Hand!

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der Physikalisch-Medizinischen Sozietät zu Erlangen

Jahr/Year: 1942

Band/Volume: 73

Autor(en)/Author(s): Engelhardt Albrecht

Artikel/Article: Spirometrische Befunde an Aluminiumstaub-Kranken. 58-65