

„Ein Osteopath beantwortet Fragen durch seine Erfahrungen, er beweist seine Behauptungen mit Taten“ ([13], S. 14-III).

In Taten wird Erprobtes sichtbar und bewiesen. Hierzu Still zu einem Schüler: „Zögere nicht, deinem eigenen Urteilsvermögen und deinem eigenen Vermögen zu schließen zu vertrauen, und denke immer daran, dass du genauso fähig bist, wertvolle Erkenntnisse zu erlangen, wie jeder andere Mensch auch. Ich will nicht, dass du oder sonst jemand, der Osteopathie studiert, ein Nachahmer ist“ (Booth 1924, zitiert nach [15]). Das Zitat ähnelt dem Ausspruch von Kant:

„Habe Mut, dich deines eigenen Verstandes zu bedienen“ [23]. Still spricht subsumierend von einem „vernünftigen Osteopathen“ ([13], S. 23-IV), dessen Eigenschaften auf Ehrlichkeit, Wahrheitsliebe, Ehrgeiz, Anspruch an sein Denken und Gewissenhaftigkeit beruhen.

Ausblick

Nachdem nun einige Fähigkeiten aus den Texten Still extrahiert wurden, könnte ein Vergleich von Fähigkeiten zwischen Osteopathie und anderen Therapieberufen Aufschluss über eine Hetero- und Homogenität geben. Zudem lassen sich mit einer exakten Fähigkeitsbeschreibung ein Leitbild bzw. eine Identität ableiten.

Interessenkonflikt

Katharina Krause gibt an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Prof. Dr. Matthias Engel bietet verschiedene Seminare zur Osteopathie an. Informationen sind zu erhalten unter www.fachpraxis-engel.de.

Korrespondenzadressen

Katharina Krause
katharina.krause.l@t-online.de

Prof. Dr. phil. Matthias Engel
Fachpraxis für Osteopathie,
Bewegungsmedizin und Naturheilverfahren
Am Alten Graben 2
98574 Schmalkalden
dr.matthias.engel@gmail.com
www.fachpraxis-engel.de/

Literatur

Das Gesamt-Literaturverzeichnis wurde in Teil 1 des Artikels im vorigen Heft abgedruckt.

Die Lungen als Hohlorgan zwischen Luftbewegung und Gasaustausch

Ist eine osteopathische Behandlung des Lungengewebes möglich?

Peter Levin

Zusammenfassung

Der Artikel reflektiert die bestehenden, meist funktionell auf die Ventilation wirkenden Behandlungen der Lungen und er macht Vorschläge für eine gewebliche Behandlung der Lungen. Eine osteopathische Behandlung des Lungengewebes scheint möglich, wenn es uns gelingt, den Ausdruck der geweblichen Aktivität der Bronchien und Alveolen palpatorisch aufzunehmen, klinisch zu deuten und eine indizierte, therapeutische Intervention auszuführen. Die osteopathische Behandlung orientiert sich an den Aktivitätszuständen des Gewebes. Die Frage wird sein, ob wir die eigentlich wichtigen Prozesse der Diffusion beeinflussen können. Dabei spielen die Übergangszone zwischen Bronchien und Alveolen und

die Grenzmembran aus Alveole und Kapillare eine entscheidende Rolle.

Schlüsselwörter

Lunge, Gewebe, Aktivität, Volumen, Elastizität, Compliance, Ventilation, Atemfunktion, Diffusion, Konvektion, Übergangszone, Gasaustausch

Abstract

The article reflects on the effect of functional lung treatments arguing that they mostly influence ventilation; ventilation being only one side of the physiological equation of gas exchange in the lung. We propose a different approach by focusing on the mechanical expression of tissue qualities in the lung, i.e. volumetric changes,

intra-visceral motion and elasticity (compliance). Palpating those mechanical qualities, we might be able to come up with an indication for a therapeutic intervention. The osteopathic treatment is based on a clinical interpretation of states of activity of the tissue. The question will be whether we actually can influence the important process of diffusion. The transitional zone between bronchi and alveoli and the boundary membrane made up of alveoli and capillary play a decisive role.

Keywords

Lung, tissue, activity, volume, elasticity, compliance, ventilation, respiratory function, diffusion, convection, transitional zone, gas exchange

Die Frage, ob eine osteopathische Behandlung des Lungengewebes möglich ist, klingt möglicherweise ungewöhnlich, da wir seit Jahrzehnten die Lungen behandeln. Wir haben aber gute Gründe anzunehmen, dass viele der bestehenden Techniken auf die Funktion der Ventilation wirken und das Gewebe der Lunge nicht erreichen. Ist diese Annahme richtig, wäre die Frage, ob eine osteopathische Behandlung des Lungengewebes möglich ist, legitim. Eine osteopathische Behandlung sollte auf die Aktivitätszustände des Gewebes wirken können. Unser Ziel ist es, gewebliche Techniken anzuwenden, die wir in einem physiologischen Verständnis der Funktion deuten können. Die Gleichsetzung von Bewegung = Funktion ist für die meisten Organe klinisch nicht haltbar. Dieser Text stellt daher die funktionellen Prozesse und geweblichen Aktivitäten der Lungen dar und macht einen Vorschlag, wie eine gewebliche Behandlung der Lungen aussehen könnte.

Gewebe in Aktivitätszuständen

Das Hohlorgan (= Viszera) Lunge ist eine Variation des Bauprinzips des primitiven Darmrohrs (Abb. 1). Die beiden Aufnahmeorgane Dünndarm und Lunge haben große Ähnlichkeiten und bedeutende Besonderheiten:

- Die **Bronchien der Lungen** sind prinzipiell wie das Darmrohr gebaut; innen Mukosa und außen Muskeln. Es gibt aber lokale Besonderheiten in der Lunge: Knorpel zur Verstärkung; die Mukosa ist nicht der Ort der Aufnahme von Nährstoffen. Die Bronchien bieten den dynamischen Alveolen ein stabiles Gerüst aus Stamm und Astwerk.
- Die **Alveolen der Lungen** enthalten weder Muskeln noch Mukosa; sie sind das eigentliche funktionelle Austauschgewebe. Die Volumendynamik der Lunge liegt an der elastischen Verformbarkeit der Alveolen (Compliance). Jede osteopathische Behandlung des Lungengewebes will eigentlich alveolär wirken, da die

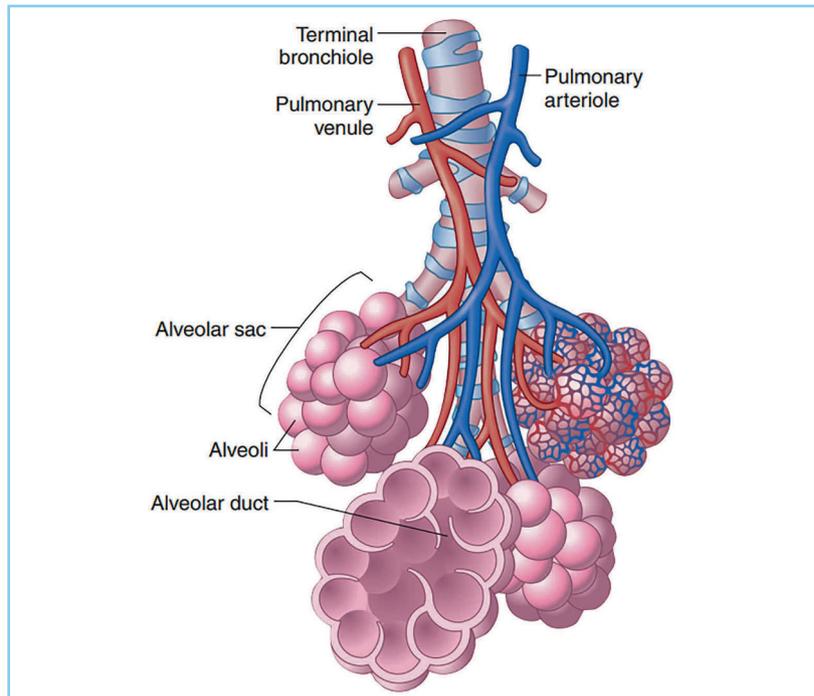


Abb. 1: Bronchienstamm und Alveolenkrone (aus [4], © Elsevier/Mosby)

Alveolen das funktionelle Gewebe ausmachen. Nur in den Alveolen entscheidet sich, ob Sauerstoff aufgenommen und Kohlendioxid abgegeben wird.

Das Gewebe der Lunge besteht nur zu einem kleinen Teil aus dem stabilen Bronchienstamm und Astwerk. Den größten Teil machen die Alveolen aus; ca. 3 Millionen Alveolen, die ausgebreitet die Fläche eines halben Tennisplatzes auslegen würden. Dazu kommen Gefäße und weitere somatische Gewebe wie die Pleura; zudem Nerven, die aber geweblich kaum ins Gewicht fallen. Wenn wir also von einer osteopathischen Behandlung des Lungengewebes sprechen, wäre zu klären, welche Gewebe wir meinen und wie wir diese beeinflussen können.

Um eine gewebliche Behandlung zu induzieren, sollten wir zumindest zwei Aspekte des Gewebes kennen:

- die gewebliche Aktivität der einzelnen Gewebe (Muskeln, Mukosa, Bindegewebe, Gefäße, etc.), die den Gesamtdruck des Organes bilden,
- das spürbare mechanische Verhalten der Gewebe bei der Aktivität, die wir Funktion nennen (Ein-/Ausatmung, Gasaustausch).

Die folgenden Überlegungen versuchen, die geweblichen und funktionellen Aspekte zusammenzuhalten, dabei aber den fundamentalen Unterschied zwischen funktionellen und geweblichen Techniken deutlich zu machen.

Funktionen und gewebliche Aktivitätszustände

Typische funktionelle Prozesse und Begriffe der Lunge sind:

- Ein- und Ausatmung,
- Ventilation und Perfusion,
- Diffusion und Gasaustausch.

Diesen stehen die Prozesse und Begriffe der geweblichen Aktivität der Lunge zur Seite:

- Anspannung und Entspannung,
- Verformung und Rückstellkraft,
- Ausdehnen und Zusammendrücken,
- Bewegen und Halten.

Der Vorteil der geweblichen Prozesse und Aktivitäten liegt darin, dass sie der manuellen Wahrnehmung meist zugänglich sind. Verformung und Ausdehnung ist leicht spürbar; das lässt sich von Diffusion nicht behaupten.

Die meisten Techniken der Lungenbehandlung in der Osteopathie zielen auf die Bewegung zwischen den Lungenlappen oder die Bewegung der Lungen gegenüber der Thoraxwand. Sie arbeiten mit der Bewegung der Lungen und wirken auf die „fasziale Lunge“, also die Fissuren und pleuralen Verbindungen. Sie wären als Ventilationstechniken zu bezeichnen, da sie die Ventilation der Lungen beeinflussen; auf die „viszerale Lunge“ haben sie wahrscheinlich keinen Einfluss. Keine noch so gute Ventilationstechnik kann Sauerstoff in die Gefäße drücken. Das gilt im Übrigen auch für die mechanische Beatmung. Auch sie kann Sauerstoff nicht dorthin bringen, wo er benötigt wird.

Eine osteopathische Behandlung baut auf der Wahrnehmung der Aktivitätszustände [3] auf – hier, am Beispiel des Hohlorgans Lunge, hauptsächlich auf dem mechanischen Ausdruck der Aktivität der Mukosa und Muskeln, des alveolären Binde- und Grenzgewebes. Die viszerale Lunge ist aber funktionell nur zu verstehen in ihrer somatischen Einbettung: den Container bestehend aus Brustkorb und Zwerchfell. Diese Einbettung macht den Unterschied zwischen geweblicher und funktioneller Betrachtung besonders deutlich. Funktionell sprechen wir von Ein- und Ausatmung, aber auch von Luftströmung und Gasaustausch. In der Ein- und Ausatmung kommt die Aktivität aller beteiligten Gewebe – Lungen und Container – zum Tragen.

Betrachten wir den mechanischen Ausdruck der beteiligten Gewebe, entsteht ein anderes Bild und es treten andere spürbare Qualitäten in den Vordergrund: Spannung und Anspannung, Expansion und Kompression, elastische Verformung und elastische Rückstellkraft. Diese werden möglich durch:

- Muskeln, die sich anspannen und zusammenziehen können,
- Schleimhaut, die anschwellen kann,
- Bindegewebe in und um die Alveolen, die eine elastische Rückstellkraft entwickeln können.

Dem geweblichen und funktionellen Geschehen bei Ein- und Ausatmung stehen Diffusion und Gasaustausch gegenüber. Diese Prozesse folgen nicht mehr dem Atemrhythmus und spielen sich in den Tiefen der Lunge ab, in der Übergangszone und in den Alveolen. Sie bedürfen einer gesonderten geweblichen und funktionellen Betrachtung. In der Übergangszone herrschen andere Gesetze der Konvektion: Konzentrationsdifferenz zwischen Gasen (Partialdrücke). Hier gibt es fast keine Schleimhaut mehr, nur noch ein paar Muskeln und dann die Gewebe der Alveolen. Hier „verläuft“ sich der Effekt der Ventilations- bzw. Einatmungs- und Ausatmungstechniken.

Die Luftbewegung (Konvektion) zwischen Mund und Alveolen folgt zwei unterschiedlichen Gesetzen. In den Leitungsbahnen vom Mund bis kurz vor den Alveolen entsteht Druckdifferenz durch Expansion und Kompression. Im Bereich des Übergangs und in den Alveolen bestimmen die Gesetze der Diffusion die Bewegungen der Moleküle.

Konzentrationsgefälle erzeugt Druckdifferenz und gerichtete Bewegung. Diese beiden Kräfte bestimmen die Grenzen und mögliche Wirkungen osteopathischer Techniken.

Welche Kraft bewegt die Luft?

Die Luftbewegung vom Mund zu den Alveolen ist eine Form der forcierten Konvektion. In der Physiologie sprechen wir von Ventilation oder Belüftung; gemeint ist das Strömen der Luft in die Lungen und aus den Lungen heraus. Diese basiert je nach Lungenregion auf zwei unterschiedlichen Mechanismen:

- Druckdifferenz durch Expansion und Kompression (Leitungsbahnen),
- Druckdifferenz durch Konzentrationsgefälle (Übergangszone und Alveolen).

Die Strömung der Luft in den Lungen ist bis kurz vor den Alveolen (Übergangszone) weitgehend laminär. Sie entsteht durch die Ausdehnung der Lunge über die Verformung des Zwerchfells und des Thorax. Die Lunge wird in der Einatmung vom Container (Zwerchfell und Thorax) ausgedehnt, wodurch eine Druckdifferenz zwischen innen und außen und ein „Ansaugen“ der Luft entsteht. Die Luft strömt ein, da zeitweise innen der Luftdruck geringer ist. Bei der Ausatmung komprimieren die Rückstellkräfte der Lunge und des Containers die Luftsäule und erwirken eine umgekehrte Druckdifferenz. Nun ist der Druck in den Lungen höher, und die Luft wird „herausgedrückt“.

Dieser Mechanismus der forcierten Konvektion erklärt das Strömen der Luft in den Leitungsbahnen vom Mund bis zur Übergangszone zwischen Bronchien und Alveolen (Abb. 2).

Ab der Übergangszone gelten andere physikalische Gesetze für die Luftströmungen: Druckdifferenz durch Konzentrationsgefälle der Atemgase (= Diffusion). Diese Übergangszone ist klinisch besonders interessant, da sich hier bedeutsame pathologische Prozesse abspielen. Sie stellt auch eine Grenze und einen Schutz vor übertriebenen Kräften der Ventilation dar.

Klinische Bedeutung der Übergangs- und Respirationszone

Die Übergangszone beginnt ca. bei der 17. bis 19. Verästelung des Bronchialbaums mit den Bronchioli respiratorii und dann Ducti alveolares (Alveolargängen). Ab der 20. Ebene des Bronchialbaums beginnt die Respirationszone, welche aus Alveolargängen besteht, die dicht mit Alveolen besetzt sind [8].

Die Respirationszone ist physiologisch und pathophysiologisch interessant, da sich hier der Luftstrom ändert. Die Luftwege nehmen mit ca. 150 ml einen sehr kleinen Teil des Luftvolumens der Lunge ein. In diesem Bereich wird die Luft durch die starke Kraft der Atmung

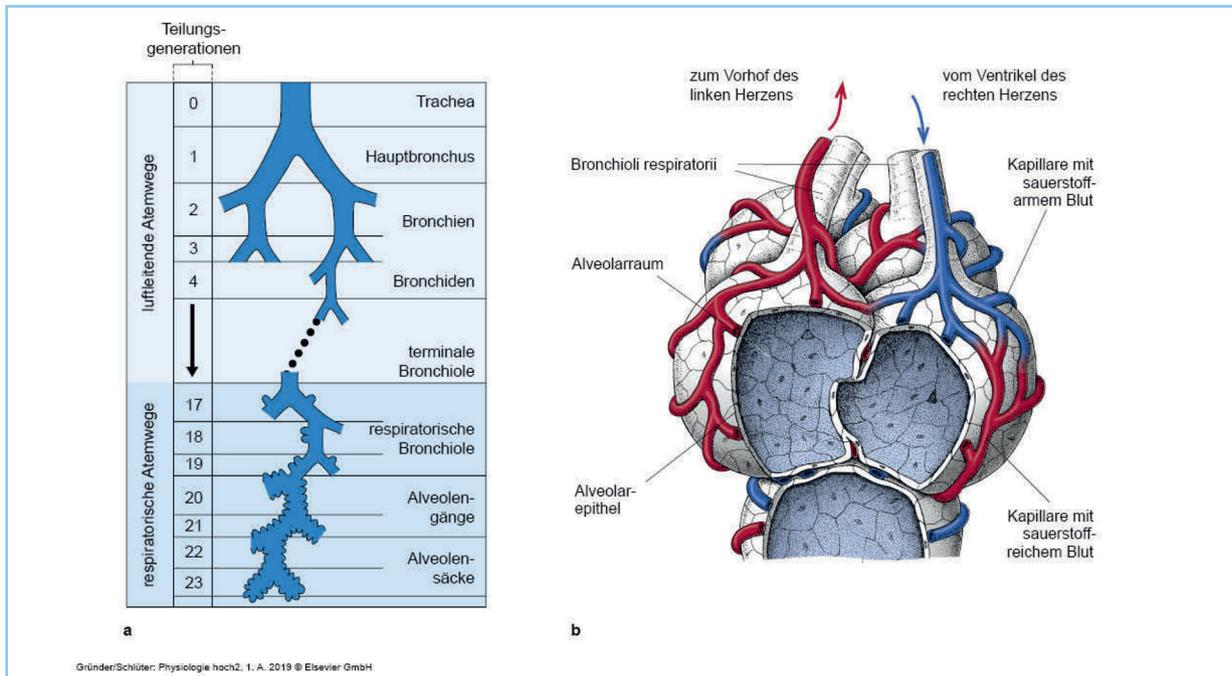


Abb. 2: Verzweigungsmuster der Bronchien mit Übergangzone (a) und alveoläres Kapillarnetz um die Alveole (b) (aus [6], © Elsevier-Verlag)

bewegt. Dies ändert sich mit Eintritt in die vergleichsweise riesige Respirationszone (3000 ml). Hier findet die Bewegung im Gasgemisch durch Diffusion aufgrund von Konzentrationsunterschieden statt. Diffusion entlang von Konzentrationsgradienten bestimmt ebenso die eigentliche Funktion der Lunge, den Gasaustausch zwischen Alveole und Blutgefäß. An der geweblichen Membran zwischen Alveole und Kapillare geht es zur Sache; hier finden die eigentlichen Austauschprozesse statt. Wer funktionell die Lunge behandeln will, möchte hier wirken. Kohlenstaub beispielsweise ist zu schwer, um durch Diffusion bewegt zu werden, und findet sich daher meist am Beginn der Respirationszone in den Bronchioli respiratorii und nicht in den Alveolen.

Alveole und Grenzmembran

Die Aufnahme von Sauerstoff erfolgt an einer der zartesten und außergewöhnlichsten Membran, die wir in der Physiologie kennen (Abb. 3). Lange haben Lungenforscher gerätselt, ob der

Gasaustausch an der Alveolarmembran ein „passiver“ oder „aktiver“ Prozess ist. Das Wort „passiv“ ist gebräuchlich, aber irreführend. Es drückt aus, dass dieser Austausch ohne aktiven Träger (Carrier) und ohne Energieaufwand erfolgen kann. Heute wissen wir, dass die treibende Kraft das Konzentrationsgefälle ist.

Die Antwort auf das Rätsel des Gasaustauschmechanismus liegt in der erstaunlich hauchdünnen Membran und dem minimalen Zwischenzellraum (Interstitium) zwischen Luft und Blut begründet. Nur dadurch kann das lokale Konzentrationsgefälle den Austausch von Sauerstoff und Kohlendioxid zwischen Luftraum und Gefäß ermöglichen. Membran, Interstitium und Gefäßendothel müssen eine unwahrscheinliche Kombination aus teils widersprüchlichen Anforderungen vereinen. Sie müssen so dünn wie möglich sein, durchlässig für eine begrenzte Zahl an Molekülen, dabei stabil und zu allem Übel auch noch stabil in der Dehnbarkeit. Da die Volumenschwankungen der Lunge mit der Ausdehnung der Alveolen identisch sind, muss die Membran dehnfähig, eng gebaut und durchlässig zugleich sein. Geweblich

gesprochen hängt die Volumenfähigkeit und Gasaustauschfähigkeit der Lunge am selben Gewebe, der Grenzmembran zwischen Alveole und Kapillare – das sollten wir osteopathisch immer mitbedenken.

Der Spagat zwischen Durchlässigkeit, Stabilität und Verformbarkeit wird durch eine Kombination aus geweblichen und biochemischen Qualitäten möglich:

- extrem kurze Diffusionstrecke,
- stabilisierender Surfactant von innen,
- stabilisierende Fasern im Interstitium,
- spezialisiertes Endothel.

An der Grenze: Die wichtigste Formel der Lungenphysiologie

Die entscheidende Formel der Lungenphysiologie drückt das Geschehen an der Grenzmembran klar und einfach als Beziehung zweier Größen aus: Gasaustausch ist bestimmt durch das Verhältnis von Ventilation und Perfusion. Alveolärer Gasaustausch ist als Vermittlung oder Beziehung mathematisch berechenbar:
 $V/P = \text{Ventilation/Perfusion}$

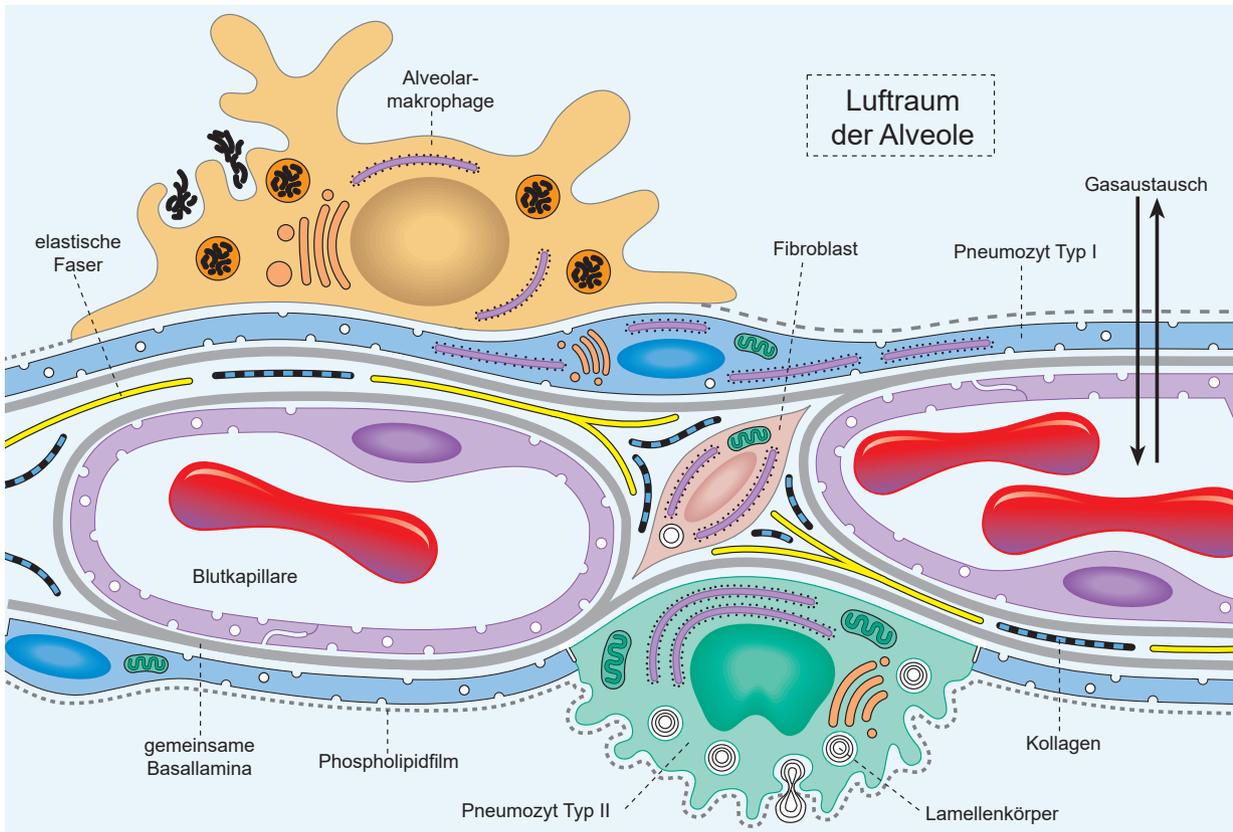


Abb. 3: Die Grenzmembran: Feinstruktur eines Alveolareseptums mit Pneumozyten II, die den Phospholipidfilm (Surfactant) bilden. Die Blut-Luft-Schranke ist 0,2–0,6 μm dünn und besteht aus dem Endothel der Kapillaren, den dünnen Pneumozyten I und deren gemeinsamer Basallamina (aus [11], © Elsevier-Verlag)

Die Aufnahme von Sauerstoff in den Lungen ist bestimmt durch die Druckdifferenz der Gase zwischen alveolärem Innenraum (Ventilation) und alveolären Kapillaren (Perfusion). Jeder therapeutische Ansatz, der einseitig einen Aspekt betont, wird bestenfalls an der Lungenphysiologie scheitern; schlimmstenfalls aber zu iatrogenen Schäden führen.

An der Weggabelung

Somit stehen wir mit der Frage, ob eine osteopathische Behandlung des Lungengewebes möglich ist, an einer Weggabelung.

- Einerseits geht es um eine Einordnung osteopathischer Techniken entlang der Unterscheidung, ob sie die Ventilation oder Perfusion beein-

flussen: Welche Techniken wirken auf die beiden Mechanismen der Luftbewegung und welche auf die Durchblutung?

- Andererseits geht es um die Frage, welche Gewebe wir mit unseren Techniken erreichen? Solange wir Einfluss auf die Bronchien nehmen, würden wir (nur) auf die Ventilation wirken und (nur) auf die Luftbewegung in den Bronchien. Luftbewegung in der Übergangszone und in den Alveolen erfolgt über Diffusion, nicht über forcierte Konvektion durch Ein- oder Ausatmung. Somit wären hier zwei unterschiedliche Belüftungstechniken anzusetzen.
- Zuletzt die alles entscheidende Frage: Wie können wir auf die Alveolen und Lungenkapillaren wirken? Gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, auf die Belüftung oder auf die Durchblutung zu wirken?

Osteopathische Behandlung des Lungengewebes – ein Vorschlag

Zum Schluss soll ein Vorschlag unterbreitet werden, wie wir die Tür zur osteopathischen Behandlung des Lungengewebes aufstoßen können; bei Leibe noch keine Lösung der oben entwickelten Fragen und Probleme, aber zumindest ein Versuch, die geweblichen und funktionellen Aspekte in der Behandlung der intraviszeralen Dualität von stabilem Bronchienstamm und volumendynamischer Alveolarkrone zu verbinden (Abb. 4). Wir wenden dabei das wohlbekannte und erprobte Prinzip der räumlichen Balancierung zwischen zwei Regionen an. Dabei entsteht eine lokale Regulation der geweblichen Aktivität (Volumendynamik und Kraftrichtungsorganisation) und möglicherweise der Stoffwechselaktivität (Rhythmus von Anregung und Ruhe).



Abb. 4: Bimanuelle Untersuchung und Behandlung einer Lunge: Organspezifische Standardpalpation für die Untersuchung und Behandlung der Lunge. Bimanuelle Palpation eines Lungenflügels und Hemithorax: Zugangserlaubnis, Volumendynamik, intraviszerale Bewegungen, Elastizität, Bewegung und Elastizität des Thorax

Diese Veränderungen beobachten und begleiten wir gemäß den osteopathischen Prinzipien:

- Widerstand stimuliert,
- räumliche Dynamik zulassen und Raum geben inhibiert,
- Balancierung befördert Integration widersprüchlicher Kräfte
- unidirektionalen Kräften folgen irritiert.

Das Ziel der vermittelnden Balancierungsarbeit mit dem stabilen Bronchienstamm und der volumendynamischen Alveolarkrone ist es, die lokale und regionale Regulation von Stamm und Krone als auch Übergangszone zu beeinflussen. Wir können die Dualität von Stamm und Krone im Atemrhythmus oder unabhängig von der Atemphase palpieren. Folgende Fragen leiten uns in der Palpation der mechanischen Dualität:

- Wie sieht das Zusammenspiel von Peripherie und Stamm aus?
- Sind beide Partner der intraviszeralen Dualität verändert, liegt z. B. eine periphere Überblähung der

Krone oder eine verfestigte Stammaktivität vor?

- Sind beide oder ist nur einer der beiden reaktiv oder betroffen?

Die gewebliche Behandlung beginnt mit der Akzeptanz des Volumenausdrucks. Je nachdem, ob sich die alveoläre Peripherie in Expansion oder Kompression befindet, begleiten oder unterstützen wir die expansive Überblähung oder restriktive Konzentration. In der Überblähung würden wir der Expansion Raum geben und danach eine Balance der Krone auf den Stamm anstreben. Ist die alveoläre Peripherie in restriktiver Aktivität gefangen, begleiten wir diese ebenso und suchen dann die Balance von Krone und Stamm.

Ist der Stamm in reaktiver Stabilisation, kontraktiver Verengung oder im Kollabieren begriffen? In den Atemphasen ist der Stamm im Funktionsmodus muskulär-elastischer Stabilität und kann sich den Dehnungen (durch Volumen- und Druckänderung) anpassen. Es ist aber möglich, dass wir eine Verhärtung der Stammwandfunktion durch

Muskelspasmus und Mukosaschwellung oder ein Nachlassen der Stammstabilität erfahren. Auch hier schlagen wir ein ähnliches Vorgehen vor:

Balancierung der Peripherie mit dem Stamm, um die gewebliche Regulation des Stammes im physiologisch-funktionellen Zusammenhang der Stamm-Krone-Aktivität anzusprechen.

Gerne sind wir bereit, die Grenzen dieses Vorschlags und andere gewebliche Herangehensweisen im osteopathischen Labor [2] zu reflektieren und auszuprobieren.

Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass keine Interessenkonflikte bestehen.

Korrespondenzadresse

Peter Levin
GANTH – Praxis für ganzheitliche Therapie
Farmseener Landstraße 196
22359 Hamburg
peter.levin@levin-hamburg.de
www.levin-hamburg.de

Literatur

- [1] Gillich A, Zhang F, Farmer C.G. et al. Capillary cell-type specialization in the alveolus. *Nature* 2020; 586, 785–789.
- [2] Levin P, Strebler W. Das osteopathische Labor, Erfahrung ermöglichen. *Osteopathische Medizin* 4/2020; 4: 20–25
- [3] Levin P. Die Zukunft der Osteopathie liegt in der Aktivität. *Osteopathische Medizin* 2018; 4: 21–25
- [4] Patton KT, Thibodeau GA: *Anatomy and physiology*, 9th edn. Elsevier/Mosby: St Louis, 2016
- [5] Petersson J, Glenn RW. Gas exchange and ventilation-perfusion relationships in the lung. *European Respiratory Journal* 2014, 44 (4): 1023–1041
- [6] Schlüter D-D, Gründer S. *Physiologie hoch2*. München: Elsevier; 2019. ISBN: 978-3-437-43461-7
- [7] Wagner D, Saltzman HA, West JB. Measurement of continuous distribution of ventilation-perfusion ratios: theory. *Journal of Applied Physiology* 1974; 36(5): 588–599
- [8] Weibel ER. *Morphometry of the human lung*. Berlin: Springer Verlag & New York: Academic Press; 1963
- [9] Weibel ER. *Symmorphosis: on form and function in shaping life*. The John M. Prather lectures. Cambridge MA: Harvard Univ. Press; 2000
- [10] Weibel ER. *The pathway for oxygen. Structure and function in the mammalian respiratory system*. Cambridge MA: Harvard Univ. Press; 1984
- [11] Welsch U, Kummer W, Deller T. *Histologie: Zytologie, Histologie und mikroskopische Anatomie*, 5. Aufl. München: Elsevier; 2018
- [12] West JB (ed). *Bioengineering aspects of the lung*; 1st edn, vol 3. New York, Basel: Marcel Dekker; 1977: 83–162
- [13] Zander DS, Farver CF (eds). *Pulmonary pathology/Philadelphia: Churchill Livingstone/Elsevier*; 2018