Zeitschrift: Mobile : die Fachzeitschrift für Sport
Herausgeber: Bundesamt für Sport ; Schweizerischer Verband für Sport in der Schule
Band: 10 (2008)
Heft: 2

Artikel: Sauerstoff im Kreislauf
Autor: Bignasca, Nicola
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-991580

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 12.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Sauerstoff im Kreislauf

Wie genau funktioniert eigentlich die Atmung? Was ist daran beteiligt? Grundkenntnisse in Anatomie und Physiologie drängen sich auf. Frischen Sie sie etwas auf.

Text: Nicola Bignasca, Foto: Philipp Reinmann

Die Organe

Alle für eins

Die Organe des Atmungssystems bestehen aus den Atemwegen, den Lungen, dem Brustfell, dem Brustkorb und der Atemmuskulatur. Sie ermöglichen den Sauerstoff- und Kohlendioxidaustausch zwischen der Atemluft und dem Blut. Dies wird als äussere Atmung bezeichnet.

Nase, Rachen, Mund, Kehlkopf, Luftröhre, Bronchien und die Lungen bilden die Atemwege. Sie haben im Wesentlichen zwei Funktionen:

- Sie leiten die Luft von aussen über ein kompliziertes Röhrensystem zu den 400 Millionen Lungenbläschen und nach erfolgtem Gasaustausch wieder zurück.
- Sie schützen die Lungen durch das Filtern eindringender Fremdkörper, das Anfeuchten der Luft für die optimale Funktion der Selbstreinigung und durch die Erwärmung der Luft, so dass sie in den Lappenbronchien eine konstante Temperatur von 37° C erreicht.

Die Lunge ist ein weiches, schwammiges und dehnungsfähiges Gewebe. Durch die Lungenwurzeln treten die Bronchien, die begleitenden Blut- und Lymphgefässe und Nerven in die Lungen ein. Um die feinen Bronchialästchen liegen wie Trauben dicht gepackt die Lungenbläschen (Alveolen). Sie sind das eigentlich atmende Lungengewebe. Hier findet der Gasaustausch statt.

Der knöcherne Brustkorb besteht aus zwölf Brustwirbeln und ihren Bandscheiben, zwölf Rippenpaaren sowie dem Brustbein. Für die Atmung ist die Beweglichkeit des Brustkorbes sehr wichtig. Sie ermöglicht die Erweiterung und Verengung des Brustraumes. Bei der Einatmung tritt eine Entspannung des Brustkorbes ein und bei der Ausatmung nimmt die Brustkorbspannung zu. Die Brustkorbelastizität unterstützt damit die Einatmung und vermindert den Ausatmungseffekt der Lungenrefraktionskräfte.

Die Muskulatur

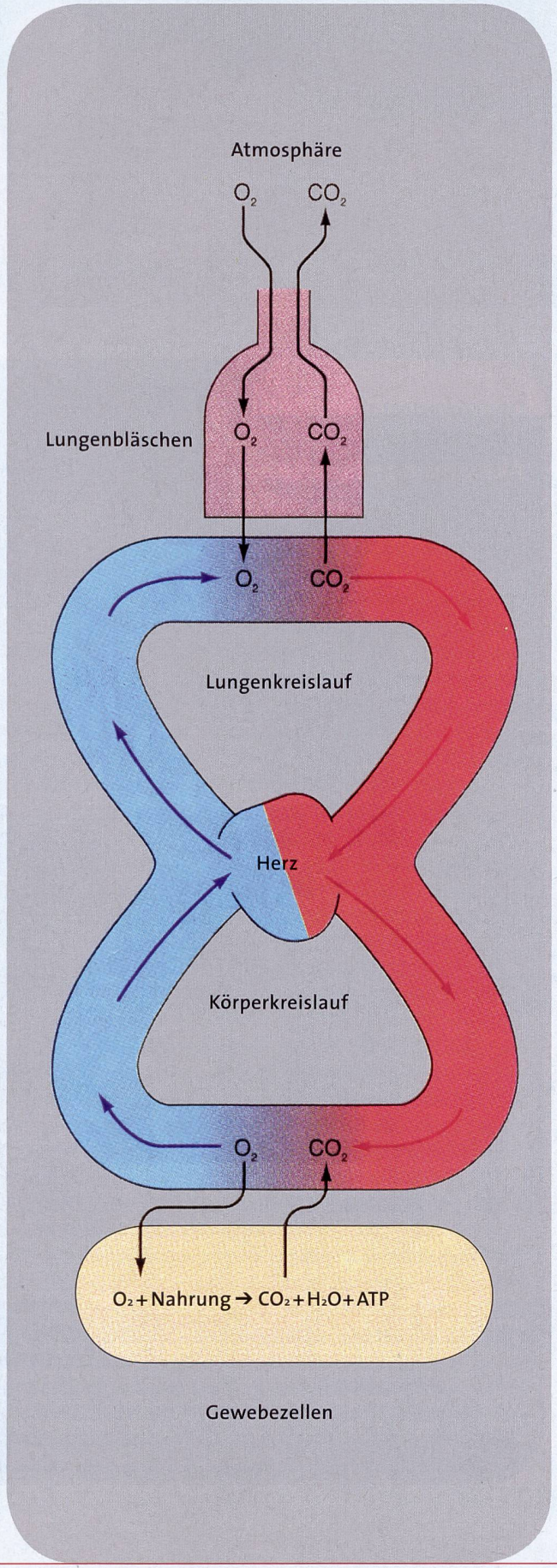
Eine Vitalpumpe

Die Atemmuskulatur wird in Einatem- und Einatemhilfsmuskulatur unterteilt. Zudem gibt es eine Ausatemhilfsmuskulatur. Ihre Aufgabe ist die Erweiterung und Verengung des Brustraumes entsprechend den Erfordernissen. Alle Atemmuskeln können willentlich beeinflusst und eingesetzt werden. Sie sind die einzigen lebenswichtigen Skelettmuskeln und die am häufigsten eingesetzten Muskeln. Die Atemmuskulatur ist eine genauso lebenswichtige Pumpe wie die Herzmuskulatur und wird deshalb auch «Vitalpumpe» genannt.

Der wichtigste Einatemmuskel ist das Zwerchfell. Es hat eine breite, kuppelartige Form und liegt zwischen Bauchhöhle und Brusthöhle. Das Zwerchfell bildet ein Dach für die Leber, den Magen, die Milz und die Nieren sowie den Boden für das Herz und die Lungen. Wie jeder andere Skelettmuskel auch, kann das Zwerchfell willentlich angespannt und gelöst werden. Mit Atem-, Laut- und Sprechübungen kann an seiner Spannkraft und Lösungsfähigkeit gearbeitet werden. Es kann auch indirekt durch andere Muskeln und Strukturen beeinflusst werden. Seine Einatembewegung nach unten in den Bauch kann zum Beispiel durch ein Anspannen der Bauchmuskulatur und Einziehen des Bauches eingeschränkt werden. Sie kann aber auch durch ein Nachgeben in der Bauch- und Rumpfmuskulatur bewusst zugelassen werden.

Zu den Einatemmuskeln zählen auch die äusseren Zwischenrippenmuskeln, die diagonal von hinten nach vorne zur nächst tieferen Rippe verlaufen. Sie heben die Rippen an und erweitern damit den unteren Brustkorb zur Seite und den oberen Brustkorbanteil nach vorne. Ausserdem wird ein Anteil der inneren Zwischenrippenmuskeln zu den Einatemmuskeln gezählt. Bei der Einatmung unter extremer Belastung, insbesondere bei Atemnot, ergänzen Rumpfmuskeln als Einatemhilfsmuskeln die reguläre Atemmuskulatur. Ihr Beitrag zur Atmung beträgt nur ungefähr ein Fünftel im Vergleich zum Anteil der Zwischenrippenmuskeln, welche einen Anteil von ungefähr einem Drittel an der Gesamtatmung haben.

Die Ausatmung in Ruhe erfolgt passiv. Bei aktiver, verstärkter Ausatmung unter Belastung unterstützen andere Muskeln den Ausatemvorgang, wie die inneren Zwischenrippenmuskeln und die Bauchmuskeln. Sie ziehen die Rippen nach unten, und die Bauchmuskeln drücken zusätzlich die Baucheingeweide und damit das Zwerchfell nach oben.



Der Gasaustausch

Lungenbläschen in Aktion

Gasaustausch findet sowohl in den Lungen (äussere Atmung) als auch in den Zellen (innere Atmung) statt. Dazu müssen Sauerstoff und Kohlendioxid im Körper von einem Ort zum anderen transportiert werden.

Während der Einatmung entsteht aufgrund der Brustraum- und Lungenerweiterung ein Unterdruck in den Lungen. Frische sauerstoffreiche Luft wird durch die Atemwege bis in die Lungenbläschen gesaugt und vermischt sich mit der in den Lungen verbliebenen Restluft. Die Konzentration an Sauerstoff in den Lungenbläschen erhöht sich. Dieser Vorgang wird Belüftung oder auch alveoläre Ventilation genannt. Nur zwei Drittel der eingeatmeten Luft gelangt bis in die Lungenbläschen.

Die von der rechten Herzkammer kommenden Lungenarterien transportieren kohlendioxidreiches, sauerstoffarmes Blut zu den Kapillaren. Innerhalb einer sehr kurzen Kontaktzeit wird durch die Blut-Luft-Schranke aus den Lungenbläschen Sauerstoff aufgenommen und in umgekehrter Richtung Kohlendioxid abgegeben. Dieser Vorgang wird als Gasaustausch bezeichnet. Die ableitenden Kapillaren transportieren das sauerstoffreiche, kohlendioxidarme Blut in die Lungenvenen und durch die Lungen bis in den linken Vorhof des Herzens. Die Ausatemluft befördert das Kohlendioxid über die Atemwege nach aussen.

Der Gasaustausch findet durch Diffusion statt. Gase bewegen sich immer vom Ort der höheren Konzentration zum Ort der niedrigeren Konzentration. Der Gasaustausch geschieht am effektivsten, wenn die Kontaktzeit lang ist (langsame Atmung/geringe Atemfrequenz) und die Austauschfläche gross ist (gesunde, aktive Lungen und Blutgefässe).

Nach Aufnahme des Sauerstoffes im Blut wird dieser zu 97 Prozent an das Hämoglobin in den roten Blutkörperchen gebunden. Danach wird er mit dem Blut über die Arterien zu den Organen und Zellen transportiert. Die Abgabe des Sauerstoffs an das Gewebe erfolgt durch Diffusion aufgrund des Konzentrationsunterschiedes zwischen sauerstoffreichem Blut und sauerstoffarmem Gewebe. Die Effektivität des Gasaustausches in den Zellen (innere Atmung) hängt von der Durchblutung der Region ab, die bei Aktivität gesteigert wird. Die Menge an Sauerstoff, die von Organen aus dem Blut aufgenommen wird, liegt im Körperdurchschnitt bei etwa 25 Prozent. Die Sauerstoffaufnahme der Skelettmuskeln beträgt in Ruhe etwa 25 Prozent und steigt unter maximaler Belastung bei Trainierten auf ungefähr 75 Prozent.

Quelle: *Sherwood, L.: Physiologie humaine. Paris, De Boeck Université, 2000.*

Die Mechanik

Der Drei-Phasen-Zyklus

Die Ruheatmung besteht im Normalfall aus drei verschiedenen Phasen: der Einatmung, Ausatmung und Atemruhe. Ein- und Ausatmung sind ungefähr gleich lang, nur die Atemruhe ist etwas kürzer. In Anteilen ausgedrückt etwa 3:3:2. Bei körperlicher, aber auch psychischer Belastung wird die Atemruhe je nach Intensität kürzer oder verschwindet ganz.

Die Einatmung in Ruhe unterscheidet sich von der Einatmung bei Belastung. Je nach dem Grad der Belastung kommt es zu einer entsprechenden Vertiefung der Atmung. Der Rippen-Zwerchfell-Mechanismus wird verstärkt und ab einem bestimmten Moment in einem fliessenden Übergang um den Brustbein-Rippen-Mechanismus (sternocostalen Atemmechanismus) erweitert. Die Atembewegung beginnt unten im Bauch (Bauchatmung) und setzt sich über die Flanken (Flankenatmung) nach oben im gesamten Brustkorb (Brustatmung) fort. Es findet wie bei der Einatmung in Ruhe eine dreidimensionale Brustraum- und Lungenerweiterung statt, nur in viel grösserem Umfang. Das inspiratorische Reservevolumen wird zusätzlich genutzt. Dieser kombinierte Atemmechanismus wird Vollatmung genannt.

Die Ausatmung geschieht passiv in Ruhe durch das Lösen der Kontraktion der Atemmuskulatur. Bei Belastung wird aktiv, verstärkt und/oder beschleunigt ausgeatmet. Es werden zusätzlich die Ausatemhilfsmuskeln eingesetzt. Sie ziehen die Rippen nach unten und die Bauchmuskeln drücken zusätzlich die Baucheingeweide und damit das Zwerchfell nach oben. Der Druck in den Lungen steigt stärker an. Die Atemwege werden verengt und die Ausatmung forciert. Eine Ausatmung über den Mund ist auch bei Belastung sinnvoll. Sie unterstützt die kraftvolle Aktion. Es wird überall im Sport, zum Beispiel beim Schlag des Tennisspielers oder des Karatekämpfers angewandt.

In der Atemruhe verweilen die Atemmuskeln in ihrer Grundspannung und können regenerieren. Alle anderen am Atemprozess beteiligten Strukturen ruhen in einer untereinander ausgeglichenen Spannung. Der Druck in den Lungen entspricht dem atmosphärischen Druck. Es strömt keine Luft. Die Atmung befindet sich in der sogenannten Atemruhelage.

Die Regulation

Aktivierung à la carte

Die Atmung wird durch das Atemzentrum im Stammhirn gesteuert. Es leitet über die motorischen Nerven Impulse an die Atemmuskeln weiter und steuert durch deren Aktivität die Lungenbelüftung. Gleichzeitig erhält es von verschiedenen Orten über sensible Nerven Informationen über den Atembedarf und reguliert – das heisst, es hemmt oder aktiviert – die Atmung.

Die chemische Steuerung steht im Dienste der Anpassung der Atmung an die Stoffwechselleistungen des Organismus. Die Blutgase, das heisst Sauerstoff und Kohlendioxid und der Blut-pH-Wert müssen in einem Normbereich gehalten werden. Vor allem eine Erhöhung der Kohlendioxid-Konzentration, aber auch ein Absinken des pH-Wertes oder des Sauerstoffs im Blut wird als Atmungsantrieb an das Atemzentrum weitergegeben, das heisst, die Atmung wird in Frequenz und Tiefe gesteigert.

Die reflektorische Steuerung der Atmung geschieht aufgrund der Reizung von Rezeptoren, welche die Informationen über sensorische (afferente, vegetative) Nerven an das Atemzentrum leiten. Dazu gehören Rezeptoren im Bereich der Luftröhre, die das Husten auslösen, und in der Nasenschleimhaut, die das Niesen auslösen.

Bei körperlicher Arbeit wird die Atmung vor allem zu Beginn nicht allein über die blutchemischen Parameter geregelt, da sich in ihnen die Auswirkung der Aktivität erst langsam zeigt. Mechanorezeptoren in den Muskeln und Gelenken bewirken deshalb durch eine sogenannte zentrale Mitinnervation eine direkte Aktivierung der Atmung. Auch bei Dehnungen der Muskulatur werden die Mechanorezeptoren und damit die Einatmung aktiviert.

Atmung und Kreislauffunktionen sind eng aufeinander abgestimmt und beeinflussen sich wechselseitig. So beeinflussen Kreislaufrezeptoren, insbesondere Pressorezeptoren, die Atmung. Es gibt weitere unspezifische Atmungsantriebe, wie Schmerzreize und Wärmereize an der Haut, welche die Atmung anregen, sowie Kältereize, welche die Atmung hemmen.

Jederzeit kann die automatisch geregelte Atmung durch willentliche Steuerung unterbrochen oder verändert werden. Normalerweise ist dies beim Sport, beim Sprechen, Singen oder Blasinstrumente-Spielen sinnvoll.

› *Mehr dazu:*
Faller, N.: Atem und Bewegung. Wien, New Yort: Springer 2007.

Wissenswert

Länger oder schneller?

Die wichtigsten Grössen, welche die Gestalt der Atemrhythmuskurve bestimmen, sind Atemtiefe, Atemfrequenz, das Verhältnis von Dauer der Aus- und Einatmung zueinander (Atemzeitquotient), Atempausen und Atemstromstärke. Bei gleichbleibendem Atemminutenvolumen stehen Atemtiefe und Atemfrequenz zueinander in umgekehrtem Verhältnis, indem mit wachsender Atemtiefe die Atemfrequenz sinkt und mit wachsender Atemfrequenz die Atmung verflacht.

Atemtiefe: Die mittlere Grösse der Respirationsluft des Erwachsenen mit 500 ccm ergibt gleichzeitig die mittlere Grösse der Atemtiefe. Diese Grösse ist individuell stark variabel und wird bei Flachatmern bis zu 250 ccm erniedrigt, bei trainierten Sportler/innen auf 800 ccm vermehrt gefunden.

Atemfrequenz: Der Neugeborene zeigt eine hohe Atemfrequenz bis zu 40/min. Beim Erwachsenen findet sich die geringe Atemfrequenz beim sportlich Trainierten (etwa 6), während beim Untrainierten sich Werte zwischen 10 und 20 ergeben. Unter erschöpfender Arbeit werden Grenzwerte für den Trainierten von 30, für den Untrainierten von 64 Atemzügen in der Minute angegeben.

Atemzeitquotient: Die Dauer der Einatembewegung wie auch die der Ausatembewegung unterliegt ebenfalls schon normalerweise grossen Schwankungen. Für die Einatmung werden Zeiten zwischen 1,8 und 4,6 sek. beobachtet. Ähnliche Zeiten mit ähnlichen Schwankungen wurden auch für die Ausatmung festgestellt. Das Verhältnis der beiden Phasen zueinander, der Atemzeitquotient beträgt 1,1 mit Schwankungen von 0,8 bis 1,6 in der Norm.

Atempause: Zwischen den beiden Phasen liegt nach der Ausatmung eine Ausatempause. Eine Einatempause nach beendeter Einatmung wird in der Regel nicht beobachtet, mit Ausnahme des sogenannten einmaligen tiefen Atemzugs. Die Ausatempausen von kurzer Dauer treten in Ruhe regelmässig auf, werden im Schlaf länger und können bei beschleunigter Atmung ganz verschwinden.

Stromstärke: Die Stromstärke des Luftstroms beträgt im Einatmen 250 bis 380 ccm je Sekunde, im Ausatmen 150 bis 280 je Sekunde. Die maximale Stromstärke beträgt in der Einatmung 450 bis 600 ccm/sek., in der Ausatmung 300 bis 400 ccm/sek. In der Einatmung ist sie also im Durchschnitt um 30 Prozent höher.

Fazit: Hinsichtlich einer physiologischen Wertung der verschiedenen Atemrhythmusformen kommt man zum Ergebnis, dass in Ruhe eine mittlere Amplitude mit mittlerer Frequenz das Optimum darstellt. Bei Arbeitsbelastung soll sich im Falle einer optimalen Norm in erster Linie die Atemgrösse verändern und die Frequenz nur in geringem Masse erhöhen. Grundsätzlich gilt während der Arbeit als rationell die tiefe, langsame Atmung (Atmung des Trainierten), als unrationell flache Atmung mit hoher Frequenz. Allzu grosse Atemvertiefung und Frequenzabnahme verschlechtert jedoch die Atmungsökonomie, da mit zunehmender Dehnung die Gewebewiderstände wachsen, die Atemmuskeln zu sehr auf Halteleistung beansprucht werden und die Verweildauer der Luft in den Alveolen das Optimum überschreitet. Zu langsame Tiefatmung kann auch die Herz-Kreislauf-Arbeit behindern.

aus: Schmitt, J.L.: Atemheilkunst. Bern: Humata Verlag Harold S. Blume