

Interview zum Thema „Inspiratorisches Atemmuskeltraining“

mit Dr. phil. Oliver Göhl

MPVMEDICAL
respiratory care

März 2026

DR. PHIL. OLIVER GÖHL
(SPORTWISSENSCHAFTLER UND SPORTTHERAPEUT)

Autoren: Melanie von Abercron und Dr. Oliver Göhl

Guten Tag, Herr Dr. Göhl,

vielen Dank, dass Sie sich heute die Zeit nehmen, unsere Fragen rund um das Thema IMT – das inspiratorische Atemmuskeltraining – zu beantworten. Sie beschäftigen sich bereits seit vielen Jahren intensiv mit diesem Fachgebiet und haben Ihr umfangreiches Wissen nicht nur in wissenschaftlichen Studien, sondern auch in zahlreichen Veröffentlichungen und Büchern weitergegeben. Umso mehr freuen wir uns, von Ihrer Expertise zu profitieren und spannende Einblicke in dieses wichtige Thema zu erhalten.

1) Beginnen wir mit der essenziellen Frage, Herr Dr. Göhl: Was genau versteht man eigentlich unter inspiratorischem Atemmuskeltraining (IMT)?

Zunächst muss man erwähnen, dass die Atemmuskulatur, also Zwerchfell und Atemhilfsmuskeln, aus quergestreifter Muskulatur besteht. Sie ist ein „Dauerleister“, unterliegt jedoch vergleichbaren physiologischen Gesetzmäßigkeiten wie die übrige Skelettmuskulatur und ist grundsätzlich bzgl. Kraft und Ausdauer trainierbar. Erforderlich hierfür sind eine exakte Dosierung der Trainingslast und geeignete Trainingsparameter*. U.a. für verschiedene Atemwegs- und Lungenerkrankungen konnte gezeigt werden, dass ein Training der Einatemmuskeln (inspiratorisches Atemmuskeltraining: IMT) dem der Ausatem-



muskeln überlegen ist, ebenso ein Training der Atemmuskulatur dem der -ausdauer. Für dieses Krafttraining der Einatemmuskeln sind Kontraktionen mit hohem Kraftaufwand (höher als bei starker körperlicher Aktivität) und wenigen Wiederholungen notwendig. Zur Umsetzung werden Geräte (Devices) genutzt, die einen definierten Widerstand (z.B. Trainingslast in cmH_2O) erzeugen können: entweder mit dem Erzeugen einer Engstellung (Stenose: Methode kontrollierte Stenoseatmung/„resistive load“), oder ein statisch aufgebauter Widerstand wird bei einer vorher festgelegten Schwelle (engl.: „threshold“) überwunden und diese Kraftlast dann über eine möglichst lange Zeit während der Einatmung aufrechterhalten (Methode „threshold load“) [Göhl et al. 2016]. Die Ausatmung erfolgt jeweils weitgehend unbelastet.

Beim IMT ist das Volumen an Atemluft, das pro Minute ein- und wieder ausgeatmet wird (Atemminutenvolumen), im Vergleich zu einem allgemeinen Ausdauertraining oder Aktivitäten des täglichen Lebens wie Gehen oder Straße kehren relativ gering. Weiterhin ist es nicht abhängig von einer Steigerung des Atemflusses, also des Volumens an Atemluft, das pro Zeiteinheit durch die Atemwege bewegt wird [Gosselink et al. 1996]. Durch eine kontrollierte Gestaltung des Trainings können die Anstrengung und der Grad der Atemnot gut gesteuert werden. IMT ist als Krafttraining, in gewissem Umfang jedoch auch als Kraftausdauertraining zu verstehen. Primäres Ziel ist die Steigerung der „Performance“ (Kraft und Ausdauer) der Einatemmuskeln. Nachgelagert können dadurch u.a. die Belastbarkeit und Symptome wie z.B. Atemnot (Dyspnoe) beeinflusst werden; die Studienlage hierzu ist unterschiedlich.

2) Wie unterscheidet sich IMT von einem allgemeinen Ausdauertraining oder Atemtechniken aus der Atemphysiotherapie?

Für die Beschreibung bzw. dem Vergleich mit einem allgemeinen Ausdauertraining ein Einstieg „aus Sicht der Atmung“: In Ruhe atmet man ca. 5-6 Liter pro Minute. Mit ansteigender Belastung muss man „mehr“ atmen (Atemminutenvolumen \uparrow) und diese erhöhte Luftmenge entsprechend bei jedem Atemzug schneller bewegen (Atemfluss \uparrow): So benötigt man für „Gehen mit 3 km/H“ (eine Belastung von ca. 30-50 Watt) ein Atemminutenvolumen von 12-15 l/min. Wenn man höhere Belastungen in Form eines allgemeinen Ausdauertrainings durch z.B. „Joggen“ mit 7 km/H umsetzt (ca. 100 Watt), benötigt man ca. 40-45 l/min. Ein Durchschnitt von ≥ 20 km/h auf dem Fahrrad (ca. 150 W) erfordert bereits ca. 60 l/min. Generell liegt eine erhöhte Atemarbeit bei der Ein- und Ausatmung an. Weiterhin wird die Atemhilfsmuskulatur „doppelt“ belastet: zum einen für die Atemaktivität und zum anderen für die Ausführung und Stabilisierung der Bewegung (z.B. Schwimmen, Laufen, u.a.). Zusammengefasst steigen mit zunehmender Belastung u.a. das erforderliche Atemminutenvolumen, der Atemfluss und das Ausmaß der Atemnot; auch mit zunehmender Belastungsdauer (Ermüdung!). Die Atemarbeit steigt an, absolut gesehen jedoch deutlich geringer als die Last, die bei einem IMT angelegt wird. Auch wenn bei einem allgemeinen Ausdauertraining eine erhöhte Atemarbeit über einen langen Zeitraum geleistet wird, ist es nicht die Methode wie z.B. Atemnot (Dyspnoe) beeinflusst werden; die Studienlage hierzu ist unterschiedlich.

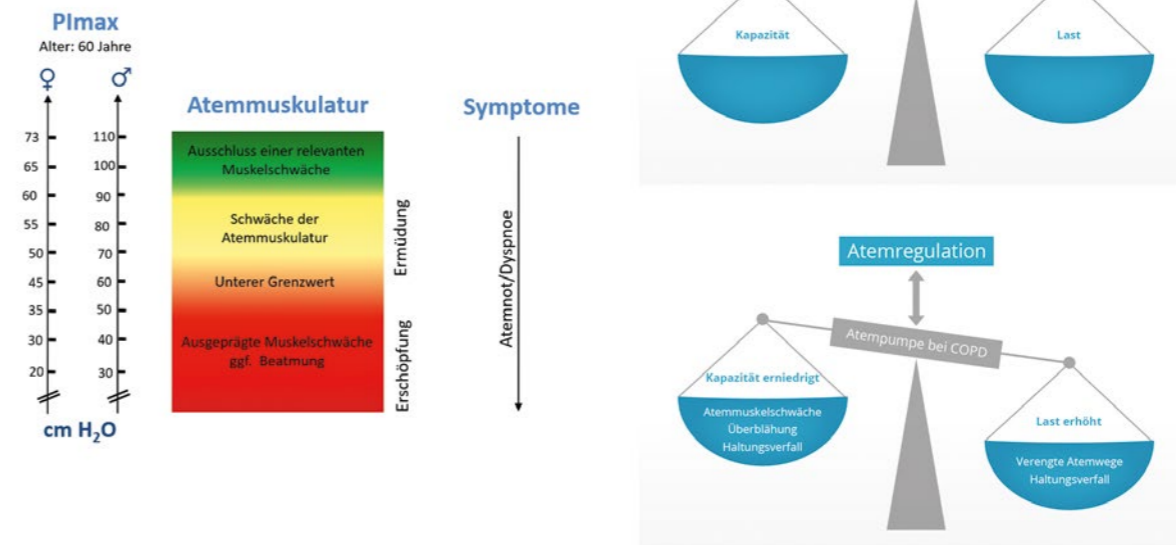


Abb. 1: Pimax [Black & Hyatt 1969] und Relationen zu Atemmuskulatur, Symptomen, Atempumpe bei Gesunden und Patienten mit COPD.

Kreislauf-System und dadurch auch verschiedene Erkrankungen erreicht werden.

Atemphysiotherapie zielt auf die Erhaltung, Verbesserung und Wiederherstellung der Atemfunktion ab. Sie umfasst eine Vielzahl von Techniken und sollte idealerweise von im Bereich Atemphysiotherapie spezialisierten Physiotherapeuten umgesetzt werden**. Zu den Atemtechniken zählen u.a. Einatemtechniken (u.a. langsames, gähnendes, schnüffelndes Einatmen), Ausatemtechniken (u.a. dosierte Lippenbremse, stimmhafte Übungen), Atemwahrnehmung (z.B. in Kombination mit taktilen Reizen und verbalen Informationen) oder Atemlenkung (z.B. Atmen in Intervallen).

Die Veränderung von Ein- und Ausatmung kommt erweitert auch z.B. bei Hustentechniken zum Einsatz, oder bei komplexen kombinierten Techniken zur Sekretmobilisation und -transport wie z.B. der Autogene Drainage, mit der man versucht, durch eine Abfolge von verschiedenen tiefen und schnellen Atemmanövern Schleim zu lösen, zu sammeln und anschließend herauszubefördern. Auch wenn bei den Atemtechniken verschiedene Widerstände und Atemflüsse bei der Ein- und Ausatmung eingesetzt werden können, stehen andere Ziele im Vordergrund wie z.B. die Unterstützung beim Entblähen, Erhöhung der Atemtiefe, Beeinflussung von Sekret, Linderung der Atemnot, etc., aber eben nicht primär das Erzeugen von sehr hohen inspiratorischen Widerständen zur Steigerung der Kraft der Einatemmuskeln.

3) Aber die Atemmuskulatur von z.B. COPD-Patienten ist doch ohnehin häufig überlastet. Ist ein zusätzliches Training dann nicht kontraproduktiv?

Hierzu ist die Formulierung „Überlastung der Atemmuskulatur“ klar zu fassen. Jeder unserer täglich 20.000 bis 40.000 Atemzüge wird über das komplexe Organ der Atempumpe, die sich aus dem Atemzentrum im zentralen Nervensystem, den Motoneuronen mit den entsprechenden neuromuskulären Endplatten, dem knöchernen Thorax und als zentrale Komponente der Inspirationsmuskulatur zusammensetzt, gesteuert. Ziel ist die Sicherstellung des An- und Abtransports der Atemgase (O_2 und CO_2). Die Atempumpe ist durch ein empfindliches Gleichgewicht zwischen der verfügbaren Kapazität und der ihr auferlegten Last gekennzeichnet (Abb. 1). Bei der COPD kommt es mit zunehmendem Schweregrad zur Ermüdung: ein Funktionsverlust durch Überbeanspruchung (Last auf die Atempumpe erhöht und Kapazität erniedrigt) entsteht (Stichwort „Überlastung“). Die Ermüdbarkeit hängt vom Verhältnis der aktuellen Beanspruchung (Last) zur maximalen Kraft (Kapazität) der Muskulatur ab. Bei Skelettmuskeln tritt Ermüdung ein, wenn die Haltekraft mehr als 15% der maximalen Haltekraft beträgt, bei Inspirationsmuskeln, wenn der bei jedem Atemzug entwickelte Inspirationsdruck 35-40% des maximalen Inspirationsdrucks überschreitet [Crie C-P 2003]. In der Folge entsteht eine unzureichende alveoläre Ventilation mit einem Anstieg des CO_2 (Hyperkapnie).

* Die Zahlen der nachfolgenden Orientierungswerte sind aus verschiedenen Literaturquellen entnommen, gelten nicht absolut und sind nicht 1:1 auf Personen z. B. unterschiedlichen Gewichts, Körpergröße, Schweregrad einer COPD oder Trainingszustand übertragbar [Göhl O 2014]

** Ein Verzeichnis und weitere Informationen finden sich auf der Homepage der Deutschen Atemwegsliga: <https://www.atemwegsliga.de/physiotherapeuten.html>

Zur Abschätzung der globalen Atemmuskulatur wird der (mit arbeitsabhängige) maximale statische inspiratorische Mundverschlussdruck P_{Imax}* erhoben. Der P_{Imax} gilt als entscheidender Prädiktor für die Atemnot (Dyspnoe). Je geringer die Kraftreserve, desto schneller gerät die Atemmuskulatur bei körperlicher Anstrengung an ihre Leistungsgrenze, was subjektiv (im Laufe der Jahre) als (zunehmend höhere) Dyspnoe wahrgenommen wird. Obwohl es im ersten Moment vielleicht widersprüchlich erscheint, eine chronisch überlastete Muskulatur durch Training „noch mehr zu belasten“, macht es bei einem Großteil von COPD-Patienten unterschiedlichen Schweregrades Sinn, dies kontrolliert zu tun: Grundsätzlich kann durch ein IMT u.a. die Kraft der Einatemmuskulatur verbessert und damit die Kapazität der Atempumpe erhöht werden.

4) Für welche Personen ist ein IMT geeignet?

Ich möchte hierzu die Ratio für den Einsatz eines IMT bei ausgewählten Personengruppen und Indikationen kurz anreisen. Die Darlegung der einzelnen Effekte und Evidenz hierzu erfolgen später.

Beginnen möchte ich mit Gesunden und Personen, die sportlich aktiv sind, Leistungs- und Hochleistungssportlern (Athleten). Stark vereinfacht beeinflusst die Funktion der Atemmuskulatur (Zwerchfell und Atemhilfsmuskulatur) die allgemeine Ausdauerleistungsfähigkeit. Wie bereits erwähnt, hilft die Atemhilfsmuskulatur ab höheren Intensitäten bei der Atmung, erfüllt jedoch auch ihre Aufgabe bei der (sportartspezifischen) Bewegung und Stabilisierung. Sind die Anforderungen an die Atemhilfsmuskulatur für Atmung und Bewegung (Leistung) sehr hoch, entsteht eine „Konflikt-/Konkurrenzsituation“ zwischen respiratorischer und nichtrespiratorischer Funktion. Dies kann zur Beeinflussung der Rumpfstabilität und allgemein Leistungsminderung führen [Aliverti A 2016]. In diesem Zusammenhang wird eine Reduktion der Durchblutung in den Beinen, selbst wenn diese eigentlich noch Kapazitäten hätte, aufgrund der Ermüdung des Atemmuskulatur (v.a. Zwerchfell) bei hoher körperlicher Intensität als (respiratorischer) „Metaboreflex“ bezeichnet. Das „normale“ sportartspezifische Training verbessert die Atemmuskelfunktion möglicherweise nicht ausreichend.

Nicht nur bei Ausdauerathleten im Spitzensportbereich, die bei niedrigen Temperaturen (oder sogar Minusgraden) sehr hohe Atemminutenvolumina über längere Zeiten erbringen (Training und Wettkampf), treten häufig anstrengungsinduzierte Symptome (z.B. höhere Werte für Atemnot und Anstrengung) und nachgewiesene z.B. Engstellung/Bronchokonstriktion der Atemwege auf, auch bei Nichtvorhandensein eines (Belastungs-)Asthmas [Carlsen KH 2011]. Eine Beeinflussung dieser Symptome und Belastungsvorgänge wäre vorteilhaft. Bei neuro-muskulären Erkrankungen (u.a. mit respiratorischer Beteiligung), vielen Atemwegs- und Lungenerkrankungen, nach

thoraxchirurgischen Eingriffen, bei langen Liegezeiten in einem Akuthaus und weiteren Konstellationen und Indikationen liegt die Situation einer (stark) eingeschränkten Atemmuskelfunktion, v.a. der Kraft der Einatemmuskulatur vor. Nicht nur bei Patienten mit COPD [Cvok T et al. 2014] oder neuromuskulären Erkrankungen korreliert ein reduzierter P_{Imax} mit einem höheren Schweregrad auf Dyspnoe-Skalen (wie mMRC-Skala oder Borg-Skala).

Bei Patienten, bei denen das Atmungssystem den Gasaustausch nicht mehr ausreichend bewältigen kann (respiratorisches Versagen/Insuffizienz mit der Konsequenz Beatmung), kann sich das klinische Outcome (Beatmungszeit, Weaningversagen, Verweildauer auf ICU) verbessern, wenn die Zwerchfellfunktion während der dann notwendigen Beatmung erhalten [Goligher et al. 2018] bzw. ausreichend gesteigert werden könnte.

Generell möchte ich mich verleiten lassen zu sagen, dass es wenige Indikationen gibt, für die in gewissen Phasen ein IMT nicht eingesetzt werden und für einzelne Outcomes effektiv sein kann.

5) Gibt es aus Ihrer Sicht Personen, bei denen IMT nicht empfehlenswert ist und gibt es Abbruchkriterien?

Diese Frage allgemeingültig und in aller Kürze zu beantworten, ist schlichtweg nicht möglich. IMT wird weltweit u.a. in Leistungszentren, zu Hause, in Rehabilitationseinrichtungen, in Krankenhäusern und auf Intensivstation (ICU) durchgeführt. Die Umsetzung erfolgt in Eigenregie, angeleitet oder assistiert (z.B. auf Intensivstation). Wie vorher angedeutet reicht das Einsatzgebiet von Leistungssportlern über Gesunde bis hin zu kranken, operierten und schwer kranken Personen.

Im Setting Rehabilitationseinrichtung, Krankenhaus und Intensivstation ist durch den Arzt individuell zu entscheiden, ob eine Indikation vorliegt oder ob (weitere) Erkrankungen (Kontraindikationen) dagegensprechen. Unter Berücksichtigung der aktuellen Belastbarkeit sind Abbruchkriterien im Behandlungsteam individuell festzulegen. Die Unterschiede in der Anwendung und Durchführung des IMT im Bereich Intensivstation im Vergleich z.B. zu einer allgemeinen pneumologischen Rehabilitation sind hierbei enorm. Etwas salopp formuliert trainiert man auf Intensivstation Patienten, die man im Bereich einer pneumologischen Rehabilitation ausschließen würde. Man führt auf Intensivstation ein Training assistiert unter individuellen Bedingungen durch, bei denen man im Bereich einer pneumologischen Rehabilitation abbrechen oder gar nicht erst beginnen würde.

Im Rahmen einer Rehabilitation und in häuslicher Umgebung können sich Ärzte in Bezug auf die Freigabe zur Aufnahme eines IMT an Kriterien orientieren, wie sie bei Aufnahme eines Sport-/Trainingsprogramms (in Eigenregie) verwendet werden. Für den Abbruch der Belastung kann man sich an Kriterien orientieren, die bei Belastungsuntersuchungen (z.B. Spiroergometrie oder Be-

lastungs-EKG) zum Einsatz kommen. Obgleich in der Literatur („Studien“) und „im Internet“ einzelne Aufstellungen existieren, muss die individuelle Situation berücksichtigt werden. Gerade bei Atemwegs- und Lungenerkrankungen ist neben Begleit- und Folgeerkrankungen auch an akute Ereignisse zu denken, wie etwa eine schwere akute Exazerbation („Verschlechterung“, ausgelöst durch z.B. einen Infekt), akute Lungenembolie, akute bzw. aktive entzündliche Herzerkrankungen oder akute Bein-/Beckenvenenthrombosen.

Die Kriterien zur Durchführung und zum Abbruch beim Einsatz des IMT auf Intensivstation sind individuell und sehr speziell. Ich möchte diese an dieser Stelle nicht weiter ausführen. Gerne stelle ich relevante Literatur auf Anfrage zur Verfügung.

6) Bei Patienten mit COPD: Wie bestimmen Sie die Trainingsintensität und -progression und welche Trainingsfrequenz und -dauer haben sich aus Ihrer Sicht bewährt? Können Sie uns bitte ein Beispiel für einen Trainingsplan geben?

Die Gesamttrainingszeit pro Einheit soll immer ≤ 20 Minuten sein. Ziel ist ein jeweils maximal kräftiges und tiefes Atemmanöver. Der Fokus ist v.a. auf die Mitte bis Ende der Einatmung zu legen. Der Widerstand ist so anzupassen, dass die Auslastung bei einer Anstrengung von ca. Borg 6 liegt. Entsprechend können Trainingswerte auch in einer Trainingseinheit angepasst werden, so dass der Gesamtumfang erreicht wird. Die Pausenzeiten sollten 1,5 bis 2 Minuten (bei höchsten Intensitäten auch länger) zwischen den Sätzen sein. Je geringer die Atemmuskulatur, umso

länger dürfen die Pausen ausfallen und umso häufiger kann zwischen einzelnen Atemmanövern (ohne Device) unbelastet zwischengeatmet werden. Nach 3 Trainingswochen 1 Woche Regeneration einbauen. Oftmals ist eine Austestung (P_{Imax}) nicht möglich: Daher zu Beginn „Austesten“ welcher Trainingswert am Ende der 5-7 Durchgänge mit 20 Wiederholungen eine Anstrengung auf der Borg-Skala von 6 bewirkt. Anleitungen zur Technik IMT und Selbstwahrnehmung/Abbruchkriterien siehe www.atemmuskeltraining.com.

Nun möchte ich diese Trainingskonzeption begründen. In der Literatur kristallisierte sich bereits vor einigen Jahren ein (überlegen) effektives Trainingsregime („evidence-based“) heraus [Göhl O et al. 2016, Hill K et al. 2006, Han et al. 2024]. Stark vereinfacht (nicht „ganz korrekt“ wiedergegeben): mehrwöchiges Training mit 30-50% P_{Imax} (und später höher), Intervalle mit ca. 2 Min. Belastung (oder ca. 20 Atemzüge) bei ≥ 1 Minute Pause, Training 5-7 Tage/Woche. Als promovierter Sportwissenschaftler erschließt es sich mir immer noch nicht, warum ohne Regenerationspausen über viele Wochen hinweg (4 bis 12 Wochen) durchgängig mit höchstmöglichen Intensitäten (die immer wieder erhöht werden) 5-7 x/Woche mit ca. 20 Wiederholungen trainiert wird. Keinem Sportler oder Leistungssportler würde man bei einem allgemeinen Training ein solches Training zur Steigerung der maximalen Kraft empfehlen. In den zahlreichen Studien zum IMT ist mir keine Arbeit bekannt, die den Aspekt der Regeneration ausreichend berücksichtigen würde. Mangelnde Erholung führt zu Leistungsminderung bzw. nicht optimalen Ergebnissen. Auch ein systematischer Aufbau (Periodisierung, Wechsel von Intensitäten/Wiederholungen, etc.) ist in wenigen Arbeiten realisiert.

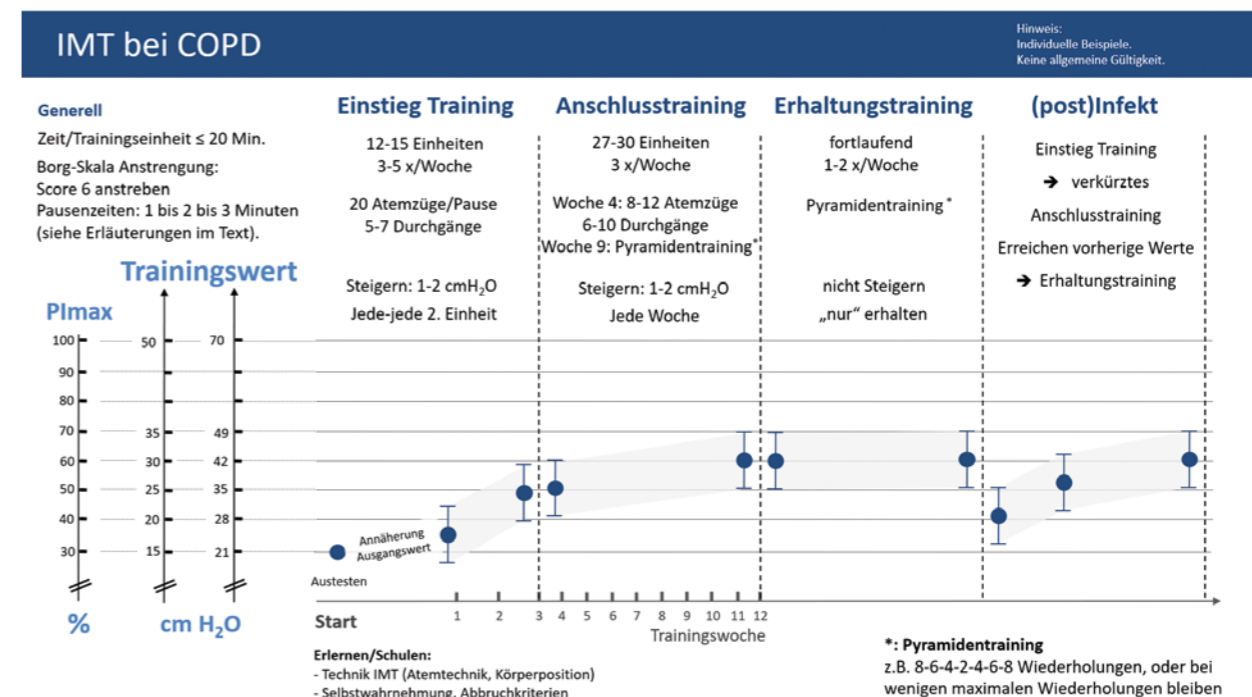


Abb. 2 zeigt ein mögliches Trainingsregime für Patienten mit COPD. Dieses ist nicht evidenzbasiert.

* engl.: auch als maximum inspiratory pressure: MIP bezeichnet

Wiederholungen	% Maximalkraft
1	100 %
2	95 %
3-4	90 %
5-6	85 %
7-8	80 %
9-10	75 %
11-13	70 %
14-16	65 %
17-20	60 %
21-24	55 %
25-29	50 %

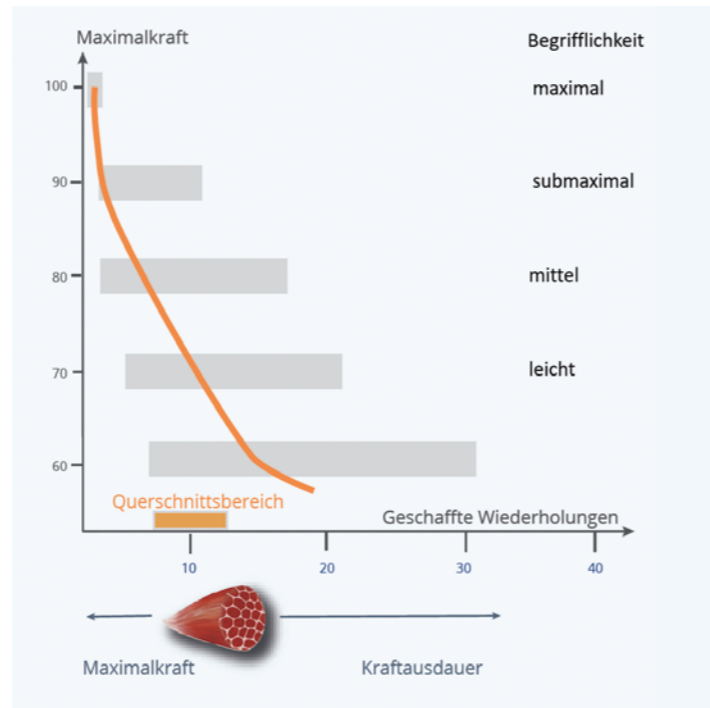


Abb. 3: Krafttraining Skelettmuskulatur: Verhältnis Maximalkraft zu Anzahl Wiederholungen und Trainingseffekten. Die grauen Balken spiegeln die Streuung wider. Aufgezeigte Relation zeigt umso mehr Streuung, v.a. in Bezug auf die Wiederholungszahl, je älter und untrainierter (und ggf. multimorbider) eine Person ist.

Nun zum Begriff der Intensität (Abb. 3). Das Krafttraining der Skelettmuskulatur wird über definierte Variablen beschrieben. Gängige Relationen und Vorgehensweisen gelten für gesunde, aber v.a. trainierte Personen (Leistungssport). Ein zentraler Begriff ist die Maximalkraft, erhoben z. B. durch eine maximale Kontraktion (maximal voluntary contraction = MVC), einhergehend mit dem ermittelten 1-Wiederholungsmaximum (Repetition Maximum = RM). In Bezug auf die Maximalkraft finden sich verschiedene Relationssysteme und zugeordnete Effekte (Maximalkrafttraining, Hypertrophie-/Querschnittstraining, Kraftausdauertraining). Ferner ist zu betonen, dass der Begriff der Intensität zu häufig allein auf die bewältigte Last (% Maximum, geschaffte Wiederholungen) bezogen wird und dabei nicht den Grad der Anstrengung (als Maß der Auslastung bzw. am Ende einer Trainingseinheit eine gewisse Einschätzung der Ermüdung/ geleisteten Arbeit) miteinbezieht.

Ziel des Atemmuskulaturtrainings ist die Verbesserung der Atemmuskulatur. Erreicht werden soll eine Erhöhung des P_{Imax}, also der „Maximalkraft“. Warum man hierzu mehrwöchig ein Kraftausdauertraining (20 Wiederholungen) verwendet, erschließt sich mir – trotz nachgewiesener guter Effekte in einzelnen Studien – nicht ganz. Zu den Pausenzeiten zwischen den einzelnen Sätzen/Serien/Durchgängen: Zum Vergleich werden bei einem allgemeinen Training der Skelettmuskeln für das Kraftausdauertraining ($\geq 15-20$ Wdh.) 30-60 Sekunden, für das Hypertrophie-/Muskelaufbautraining (8-12 Wdh.) 60-90 Sekunden und für das (submaximale bis) Maximalkrafttraining (2-6 Wdh.) 3-5 Minuten Pause empfohlen. Bei älteren, untrainierten und ggf. multimorbiden Personen sind diese Zeiten noch etwas zu verlängern. Entspre-

chend sollten die Pausenzeiten bei IMT länger als 1 Minute ausfallen, bei höheren Intensitäten wie beschrieben gerne ≥ 3 Minuten. Hauptziel ist und bleibt das Umsetzen maximal kräftiger/schneller und tiefer/langer Atemzüge; auch im Sinne eines Koordinationseffekts gerade bei höheren Intensitäten und gegen Ende der Einatmung (Stichwort „dynamische Überblähung“).

7) Inwiefern ist ein IMT auch im Zusammenhang mit Weaning (also der Entwöhnung von Patienten vom Beatmungsgerät) interessant? Können Sie auch hier Trainingsempfehlungen geben?

Obleich ich einige Zeit in einem Akuthaus gearbeitet habe und dort auch auf der Intensivstation mit tätig war, ist meine eigene praktische Erfahrung im Weaning (inkl. IMT) sehr begrenzt. Daher steht mir nur eine Interpretation der Literatur zu. Zum Einstieg [vgl. hierzu auch Bisset B et al. 2019, 2020]: Bei der mechanischen Ventilation wird die Atemarbeit durch das Beatmungsgerät übernommen: das Zwerchfell (Diaphragma) bleibt passiv. Die (lebens-)wichtige Entlastung wird erreicht, führt jedoch per se rasch (innerhalb ≥ 24 Stunden) zu verschiedenen Konsequenzen, u.a. zu schnellen Abnahmen von Muskelkraft, -faserquerschnitt und -kontraktilität (Zwerchfellfunktion). Je ausgeprägter der beatmungsinduzierte Muskelschaden, umso schwieriger wird die Entwöhnung. Beatmungsabhängigkeit und Sterblichkeit (Mortalität) steigen an. Nach der Phase der maschinellen Beatmung, in der die zugrundeliegenden Ursachen der akuten respiratorischen Insuffizienz behandelt werden, be-

ginnt nach Überlegungen des Arztes und verschiedenen Tests die Phase der Entwöhnung vom Beatmungsgerät (Weaning). Strategien, welche die Weaningzeit (ca. 40-50% der Gesamtdauer der mechanischen Ventilation) erfolgreich verkürzen und die Erfolgsaussichten erhöhen sind gefragt. Die nachfolgenden Ausführungen unterscheiden nicht Weaning, prolongiertes Weaning, ob die Entwöhnung komplett erfolgreich war oder ob eine nicht-invasive Beatmung zu Hause fortgeführt werden muss, etc. Das Weaning bei unterschiedlichen Indikationen und Verläufen ist komplex; die nachfolgenden Ausführungen haben wirklich nur orientierenden Charakter.

Grundsätzlich sind die Atemmuskeln auch bei hyperkapnischen Patienten durch verschiedene (Trainings-) Reize trainierbar, die maximale Kraft kann erhöht werden. Zum einen gilt die Zunahme der atemmuskulären Kraft als bester Prädiktor für den Weaningerfolg, zum anderen muss man klarstellen, dass ein Weaningversagen komplex ist und eine Schwäche der Atemmuskeln nur einen beitragenden Faktor darstellt. Atemmuskulaturtraining im Rahmen des Weanings wird bereits seit den 1980er Jahren sicher und erfolgreich eingesetzt. In den letzten Jahren findet die Methode „threshold load“ zunehmend Verwendung. Dies liegt nicht nur an den erreichten Effekten, sondern in der Praxis ist z.B. ein mechanisches Device am Patienten einfach zu handhaben (Adapter verfügbar für die individuelle Situation wie z.B. Tracheostoma, Endotrachealtubus, O₂-Gabe, etc.), es ist relativ günstig und das Device kann im Zimmer verbleiben (nicht selten Keimstatus!). Trotz immer besser belegter Effekte ist die Verbreitung höchst unterschiedlich. Obgleich inzwischen viele Indikationen für den Einsatz eines IMT existieren, kann bei einem Teil formell geeigneter Patienten z.B. aufgrund mangelnder Wachheit oder Delir das IMT nicht genutzt werden.

Nun zur praktischen Umsetzung: Die Zeit am Patienten ist erfahrungsgemäß begrenzt. In der Planung/Vorbereitung (IMT möglichst früh am Tag; aber am Ende der Spontanatmungszeit, etc.) sollte die aktuelle Situation berücksichtigt werden: Wie

müde ist der Patient schon (u.a. Zeit in Spontanatmung), ggf. „gerade erst“ Sekretmanagement (Absaugen) absolviert, passive und/oder aktive Mobilisation durchlaufen, andere Trainingsinhalte (aufstehen/gehen mit Unterarmgehwagen, Inhalte Krafttraining, etc.) absolviert, frisch gewaschen, etc. Im Nachgang zur konkreten Trainingseinheit sollte der Patient wieder an die Beatmung gehen*. Im Gegensatz zu anderen Indikationen tolerieren Patienten auf Intensivstation noch keine langen Trainingszeiten/hohe Umfänge. In der Praxis haben sich eine kurze Trainingszeit, umgesetzt durch eine intervallartige Belastung mit wenigen Wiederholungen und ausreichend Pausen bewährt (vgl. Abb. 4). Initial soll eine Bestimmung der Kraft der Einatemmuskeln erfolgen. Dies ist annäherungsweise ohne großen Aufwand oftmals durch „features“ in der Software des Beatmungsgerätes möglich, oder exakt durch portable Manometer. Werte ≥ 30 cmH₂O wären vorteilhaft. Das Ergebnis ist mit dem Normwert abzugleichen.

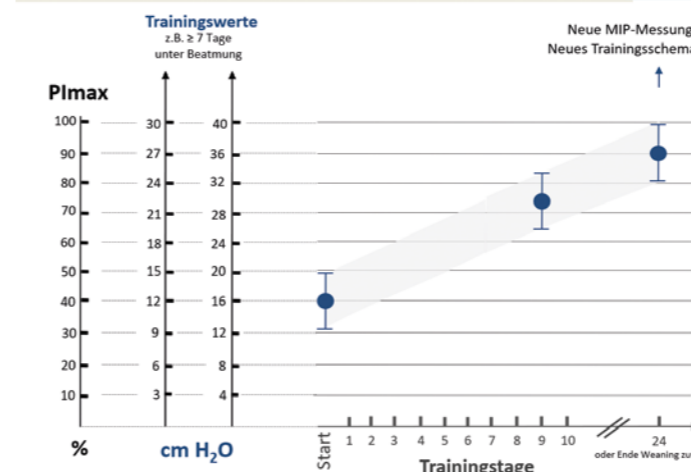
Abschließend muss ich aufgrund der Erkenntnisse mit gewisser Ausführlichkeit auf die aktuelle und hochrangig publizierte Studie von Von Hollbeck M et al. 2025 eingehen. Dort wurde ein hochintensives Training (30-50% P_{Imax}) mit einem Training mit niedriger Intensitäten (Sham-Gruppe: $< 10\%$ P_{Imax}) verglichen. Bei dem täglichen Training kamen elektronisch flussgesteuerte Geräte zum Einsatz. Erstaunlicherweise wurden keine Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf Verbesserungen beim P_{Imax} und im Weaningerfolg gefunden. Die Zuwächse des P_{Imax} in der Gruppe mit sehr niedriger Intensität (Sham Gruppe) von 14 cmH₂O (die hochintensive Trainingsgruppe erreichte 15 cm H₂O) war ungewöhnlich hoch, in anderen Studien werden durchschnittlich nur bis zu 6 cm H₂O bei Sham-Training berichtet.

Die Autoren folgern, dass ein trainingswirksamer Reiz auch in der Sham-Gruppe mit der gewählten sehr niedrigen Intensität von 10 % P_{Imax} erzielt wurde. Wesentlicher Faktor hierfür war die für beide Gruppen gleiche Instruktion einer (forcierten/

Beispiel Intensivstation: Weaning

Start: (30%-) 50% MIP; gemessener Wert! **Häufigkeit:** max. 5x/Woche 5 Sätze mit 4-8 Wdh., mind. 1-2 Min. Pause „an der Beatmung“
Steigern: individuell; Orientierung: jede bis jede 2te Einheit um 1-2 cmH₂O
cave: Trainingsintensitäten wechseln (siehe Ausführungen im Text)!

Hinweis: Keine allgemeine Gültigkeit!
 Unterbrechen/Absetzen IMT je nach Weaningverlauf



Abkürzungen: O₂ (Sauerstoff), Wdh. (Wiederholungen), P_{Imax} (maximaler statischer inspiratorischer Mundverschlussdruck), cmH₂O (Zentimeter Wassersäule), F_{IO₂} (inspiratorische Sauerstofffraktion), Af (Atemfrequenz), SAS (Riker-Sedierungs-Agitations-Skala).

- #### Check vor Trainingsaufnahme
- klinische Stabilität (hämodynamisch, metabolisch)
 - adäquate Oxygenierung (u.a. F_{IO₂} < 0.6)
 - adäquate pulmonale Funktion (z.B. Af < 25)
 - adäquate mentale Funktion (u.a. wach (ideal SAS-Score 4) und kooperativ)
 - weitere (z.B. Angst, Schmerz, Dyspnoe) beachten
 - Werte P_{Imax} möglichst ≥ 30 cmH₂O
- #### Kriterien erfüllt:
- Durchführung in aufrechter Sitzposition
 - Aktuelle Situation und Stabilität des Patienten beachten: klassische Parameter; insb. Ermüdung und Situation Sputum.
 - Fortlaufende Vermittlung Atemmanöver
 - aus (max.) tiefer Ausatmung
 - zunehmend (forcierte) Einatmung erreichen: kräftig/„schnell“, tief/„lang“ → Koordination!
 - Einsatz unterschiedlich hoher Widerstände (siehe Text)
 - Bei Steigerung: Gesamtverbesserung P_{Imax} beachten und im gesamten Weaningzeitraum $\geq 15-20$ cmH₂O anstreben. → Trainingsintensitäten und ggf. -häufigkeiten anpassen!

Abb. 4: Beispiel Intensivstation: Weaning (Methode „threshold load“).

* Regeneration! bzw. Vermeiden eines zu hohen Reizes, wenn die Spontanatmungsphase ggf. in Kombination mit anderen aktiven Maßnahmen noch zu lange andauert

schnellen) maximalen (tiefen) Inspiration. Mitarbeiter dieser Arbeitsgruppe [Poddighe D et al. 2025] konnten in einer weiteren Arbeit bei Weaningpatienten zeigen, dass eine schnelle und tiefe Einatmung (hohe inspiratorische Flüsse) unabhängig von der extern auferlegten Last (Unterschiedlich hohe Widerstände) und tatsächlich umgesetzten Arbeitslast zu einer ähnlichen Auslastung (Borg-Skala Anstrengung) und Muskelaktivierung führt. Weiterhin zeichnet die externe Last (angelegt durch ein IMT) bei schnellem und tiefem Einatemmanöver nur für ca. 1/3 der Gesamtatemanstreuung verantwortlich. Dies indiziert, daß der größte Teil der Atemarbeit benötigt wird, um die durch die reduzierte Compliance des Atmungssystems (verringerte Dehnbarkeit von Lunge und Thoraxwand) auferlegte Belastung zu überwinden. Folglich stellt die externe Last (Trainingswiderstand) den Reiz für ein Atemmuskeltraining möglicherweise nicht angemessen dar. Die Autoren folgern, dass bei vergleichbaren Symptomscores bei einem IMT (z.B. Borg-Skala als CR-10 Skala „Anstrengung“ z.B. im Bereich 6) und ähnlichen Reaktionen des Atemzugvolumens die Gesamtbelastung/der Gesamttrainingsreiz auch bei nominell niedrigen Trainingswiderständen (z.B. 10 % P_{Imax}) bei dieser Patientengruppe einen trainingswirksamen Reiz darstellt (Koordinationsaspekt!). Weitere Gründe für die fehlenden Gruppenunterschiede sind in der Originalarbeit zu finden.

Mein persönliches Fazit (nicht wissenschaftlich belegt!), das sich auch in der obigen Abbildung widerspiegelt: Bei Patienten im Weaningprozess, die eben neben einer verminderten Kraft auch eine verminderte Funktion des Zwerchfells aufweisen, kommt der Verbesserung der Koordination der Einatmung durch fortlaufendes Anleiten und Beüben eines (zunehmend) forcierten Atemmanövers (schnell, kräftig und tief) eine zentrale Bedeutung zu. Die Umsetzung (auch in anderen aktuellen Studien) eines täglichen (teilweise 2x/pro Tag) Trainings mit maximal hohen Intensitäten (z.T. täglich angepasst) scheint eine (zu) hohe absolute Trainingslast zu erzeugen. Die Gesamttrainingsumfänge (IMT + Zeit in Spontanatmung + weitere Maßnahmen im Rahmen der Frühmobilisation, etc.) und Regeneration (Beatmungsmodi) sind auch im Weaning zu beachten. Es ist und bleibt die Gretchenfrage wie das quantitative, qualitative und zeitliche Zusammenspiel erfolgen soll, um bestmögliche Effekte zu erreichen. Beim IMT kann ein Wechsel von höchstmöglichen (z.B. $\geq 50\%$ P_{Imax}) und niedrigen Intensitäten (ca. 10% P_{Imax}) aber jeweils mit forciertem Atemmanöver an maximal 5 Tagen pro Woche (also mindestens 2 Tage trainingsfrei) ein interessanter Trainingsansatz sein. Das Erheben von Symptomscores (v.a. Borg-Skala Anstrengung), die Trainingsdokumentation und die individuell tagesformabhängige Anpassung des Trainings sind essenziell. In Bezug auf die Steigerung der Widerstände/Trainingsbelastung sollte die Gesamtentwicklung des P_{Imax} im gesamten Weaningverlauf beobachtet werden. Steigerungen von ≥ 15 cmH₂O scheinen eine gute Zielsetzung und geben Hinweise auf Training mit höheren oder niedrigeren Werten oder ggf. auch reduzierten Trainingshäufigkeiten (weil z.B. die Entwicklung des P_{Imax} sehr gut verläuft).

8) Welche Rolle spielt IMT vor oder nach thoraxchirurgischen Eingriffen?

Auch dieses Thema ist komplex und bei gegebener Kürze nicht allgemeingültig zu beantworten. Grundsätzlich sind individuelle Kontraindikationen zu beachten; eine ärztliche Freigabe und professionelle therapeutische Anleitung sind verpflichtend. Zusätzlich möchte ich auf das allgemeine Risiko eines Pneumothorax oder spontaner Rippenfrakturen durch die generierten (hohen) intrathorakalen Drücke verweisen.

Nun zur Ausgangslage: Der thoraxchirurgische Eingriff erfolgt je nach Notwendigkeit als Sternotomie (komplette Öffnung des Brustkorbs) oder minimalinvasiv (seitlich/„über die Rippen“). Respiratorische Komplikationen (z.B. Lungenentzündung) auch nach z.B. kardialen Operationen sind häufig und können u.a. die Krankenhausaufenthaltsdauer erhöhen und das Überleben beeinflussen.

In der Situation post-OP haben die Patienten u.a. starke Schmerzen, die Atmung ist entsprechend flach, die Liegezeiten (Inaktivität!) sind ausgeprägt. Als Folge entstehen u.a. ein Verlust von Kraft (und Funktion) der Atem- und Skelettmuskulatur. In dieser (akuten) Phase spielt die Pneumonieprophylaxe (Vorbeugung einer Lungenentzündung) eine große Rolle. Eingesetzt werden zahlreiche Maßnahmen u.a. zur Verbesserung der Lungenbelüftung und Sekretlösung. Die Umsetzung hierbei erfolgt u.a. durch physiotherapeutische Techniken (wie Mobilisation, etc.) und diverse Atemtrainer (SMI-Atemtrainer: Sustained Maximal Inspiration). Vielen Patienten kennen sicherlich die flow-orientierten (z.B. 3 Kugeln durch die Einatmung steigen lassen) oder volumenorientierten (2-Kammer-System; absolutes Volumen der Einatmung sichtbar) Geräte. Angestrebt wird eine Steigerung von Flow und Volumen. Die Widerstände bei der Einatmung sind hierbei sehr gering. Die kontrollierte Durchführung des IMT (definierte Trainingslast) ermöglicht ein Heranführen an ein nicht nur tiefes (= Volumen), sondern auch zunehmend kräftiges Einatmen (= Kraft). Diese Kraftlast hat zusätzliche Auswirkungen auf die Atemmuskulatur und -funktion und kann entsprechend nicht nur bei der Pneumonieprophylaxe helfen, sondern ggf. auch die Belastbarkeit, etc. beeinflussen. Effekte und Evidenz hierzu folgen später.

Wie gerade ausgeführt nimmt postoperativ die Atemmuskulatur ab. Wissend um diesen regelhaften Verlauf kann es sinnvoll sein auch im Vorfeld einer Operation (prä-operativ) die Atemmuskeln aufzutrainieren. Auch hier folgt die Darstellung der Effekte und der Evidenz später.

Abschließend kann ich bereits jetzt vorwegnehmen, dass ein Einsatz prä-, aber v.a. postoperativ bei verschiedenen Indikationen zu thoraxchirurgischen Eingriffen sinnvoll sein kann. Der Einsatz eines IMT vor und nach thoraxchirurgischen Eingriffen hat in den letzten Jahren mehr Beachtung in der Literatur gefunden, die Anzahl durchgeführter Studien, Reviews und Metaanalysen ist deutlich gestiegen. Ob sich diese Erkenntnisse bereits in einem (gestiegenen) routinemäßigen Einsatz von IMT (zusätzlich zu SMI-Trainern) niederschlägt kann ich nicht beantworten.

9) Herr Dr. Göhl, uns interessiert natürlich auch die aktuelle Evidenzlage zum Thema IMT. Welche Verbesserungen sind durch das IMT zu erwarten und wie beurteilen Sie die aktuelle Studienlage (für welche Krankheitsbilder ist der Nutzen von IMT am besten belegt)?

Ich möchte zunächst den Begriff der Evidenz kurz erläutern: In der wissenschaftlich begründeten Medizin (Evidence-based Medicine: EbM) bilden evidenzbasierte Studien das Fundament. Sie sollen verlässliche Erkenntnisse erzeugen und Meinungen durch belegbare Fakten ersetzen. Als höchste methodologische Qualität gilt, wenn eine ausreichend große Anzahl an Studienteilnehmern durch eine zufällige Zuordnung auf z.B. eine Gruppe verteilt wird, welche eine Maßnahme (Treatment) erhält und die andere nicht (control group/Kontrollgruppe). Eine hohe Aussagekraft entsteht ferner, wenn solche Studien (randomized controlled trials, RCT's) in einem weiteren Schritt in Übersichtsarbeiten systematisch aufbereitet werden (Review) oder nach bestimmten Regeln u.a. Effekte und Stärke dieser Effekte berechnet werden (Metaanalysen).

Im Bereich IMT (alle Indikationen) hat die Anzahl durchgeführter Studien in den letzten 25 Jahren extrem zugenommen. Die Einzelstudien sind häufig von niedriger methodologischer Qualität, da sie eine hohe Heterogenität in Bezug auf die Population (z.B. unterschiedliche Schweregrade bei Krankheitsbildern), die Intervention (unterschiedlichste Trainingsregimes, oftmals keine klare Ausführung zu weiteren Therapie- oder Aktivitätsmaßnahmen), die Messinstrumente und die (häufig geringen) Fallzahlen (z.T. seltene Krankheitsbilder oder bisher wenig Untersuchungen bei häufigen auftretenden Krankheitsbildern) aufweisen. Inzwischen existieren aber auch eine beachtliche Anzahl an („belastbaren“) Übersichtsarbeiten und Metaanalysen.

Indikationsunabhängig unstrittig ist, dass durch ein IMT die Kraft (und Ausdauer) der Einatemmuskeln verbessert werden kann. Bei vielen Indikationen bzw. Krankheitsbildern besteht weiterhin Unklarheit, bis zu welchem Ausmaß sich dies auf weitere Outcomes wie z.B. Leistungsfähigkeit, Lebensqualität oder Atemnot überträgt. Dies gilt v.a., wenn weitere Maßnahmen wie z.B. eine Rehabilitationsmaßnahme, ein systematisches Training oder andere Therapiemaßnahmen im gleichen Zeitraum durchgeführt werden. Ich werde nun einige ausgewählte Indikationen weiter ausführen, bei denen die Methode threshold load angewandt wurde. Es liegt deutlich mehr Literatur vor als hier angeführt; auch werden nicht alle Effekte aufgezeigt. Ich habe mich im Nachweis auf (aktuelle) Übersichtsarbeiten und Metaanalysen beschränkt.

Gesunde, Freizeitsportler, Leistungssportler

Nicht nur bei Schwimmern, Radfahrern, Ruderern und Läufern verbessert ein IMT die Kraft und Ausdauer der Einatemmuskulatur, Parameter der Lungenfunktion, die körperliche Leistungsfähigkeit, die Leistung in verschiedenen Szenarios, darunter Zeitfahren, intermittierende inkrementelle Tests, Dauerbelastungstests und Sprintfähigkeitstests [Archiza et al. 2018, Haj-Ghanbari et al. 2013, Illi et al. 2012, Kowalski et al. 2024, Sales et al. 2016, Silva et al. 2019]. Es mildert die wahrgenommene Anstrengung und Atemnot und verzögert die respiratorische und periphere Muskelermüdung [HajGhanbari et al., 2013; Xavier et al., 2025], der „Metaboreflex“ wird beeinflusst. IMT erhöht fer-

ner die Anpassung an Hypoxie (Bedingungen wie im Höhen Trainingslager), und reduziert respiratorischen Stress während der Höhenakklimatisation [Álvarez-Herms et al. 2018].

Weaning

IMT im Weaning ist sicher und gut durchführbar, es wird eine hohe Verträglichkeit und Adhärenz berichtet. Als gesichert gilt, dass ein IMT die maximale Kraft der Einatemmuskulatur (P_{Imax}) verbessert. Widersprüchliche Daten liegen vor, wie sich diese erhöhte Kraft in Bezug auf die Verbesserung weiterer klinisch relevanter Outcomes wie (Wahrscheinlichkeit für den) Weaningerfolg (auch nach erstem frustrierten Weaningversuch), Beschleunigung des Weaningprozesses, Zeitraum auf Intensivstation (und Krankenhausaufenthaltsdauer) und Beeinflussung der Lebensqualität und (verbleibende) Atemnot auswirkt [Alonso-Perez et al. 2025, Elkins M & R Dentice 2015, Vorona et al. 2018]. Dies gilt auch für relevante Einzelgrößen wie z.B. dem RSBI (Rapid Shallow Breathing Index). Für die Situation nach erfolgreichem Weaning verbleibt bei einem Teil der Patienten eine fortbestehende Schwäche der Einatemmuskulatur, die sich in einer erhöhten Ruhe- und Belastungsdyspnoe manifestiert. Hier liegen Arbeiten vor, die diese Situation verbessern.

Erwähnenswert ist noch die Arbeit von Benli et al 2024, in der v.a. mittels bildgebender Verfahren die Zwerchfellfunktion bei Einsatz eines IMT nach Extubation untersucht wurde. Hierbei verbesserte das IMT die mittels Ultraschalles erhobene Zwerchfellauslenkung (Ausmaß der Bewegung des Zwerchfells zwischen Ein- und Ausatmung; ein Indikator für Funktion und Kraft) und die Zwerchfell-Verdickungsfraktion (Parameter, der die Funktion und Anstrengung des Zwerchfells während der Atmung widerspiegelt). In der Gruppe, die konventionelle Physiotherapie erhielt, verringerte sich die Zwerchfelldicke, in der Gruppe mit zusätzlichem IMT erhöhte sich die Zwerchfelldicke geringfügig. Die mittels Gewebedoppler-Verfahren erhobenen Geschwindigkeiten von Kontraktion und Relaxation des Zwerchfells verbesserten sich. Die Autoren folgern, dass sich die Zwerchfellfunktion durch den Einsatz von IMT nach Extubation verändern und verbessern lässt.

COPD

Im Bereich der Atemwegs- und Lungenerkrankungen ist die Datenlage zum IMT bei der COPD am besten. Bezüglich der gesicherten Effekte ergibt sich folgendes Bild: Als alleinige Trainingsmaßnahme verbessert IMT u.a. Kraft und Ausdauer der Atemmuskeln, die Leistungsfähigkeit (z.B. erreichte Gehstrecke in einem 6-Minuten-Gehtest), die Lebensqualität und die Atemnot. In Kombination mit einer standardisierten pneumologischen Rehabilitationsmaßnahme (PR) führt IMT zu einer (z.T. geringen zusätzlichen) Verbesserung von Kraft und Ausdauer der Atemmuskeln, welche sich jedoch nicht auf die körperliche Leistungsfähigkeit, Lebensqualität und Atemnot überträgt [Ammous O et al 2023, Beaumont M et al. 2018, Geddes et al. 2008, O'Brien K et al 2008, Shoemaker M et al. 2009, Xie J et al. 2025]. Es lagen große Unterschiede bzgl. der Rehahalte und -dauer, bei den Trainingsregimes und erreichten Verbesserungen des P_{Imax} vor. Oftmals wurde die minimal klinisch wichtige Differenz (engl.: MCID) nicht erreicht.

Die bis vor wenigen Jahren weitgehend akzeptierte Annahme, dass ein IMT besonders effektiv bei Patienten mit vorhandener Atemmuskelschwäche ist [Gosselink R et al 2011, Spruit M et al. 2013], findet in einer aktuellen Übersichtsarbeit keine Bestätigung [Ammous O et al. 2023].

Kardiale thoraxchirurgische Eingriffe

Gomes Neto M et al. 2017 weisen in ihrem Review für ein präoperatives IMT Verbesserungen der Kraft und Ausdauer der Einatemmuskeln, der Lungenfunktion, der Länge des postoperativen Krankenhausaufenthaltes und vermindertes Risiko pulmonaler Komplikationen aus. Postoperatives IMT führt zu Verbesserungen der Kraft der Einatemmuskeln und der Lungenfunktion (Atemzugvolumen und PEF: peak expiratory flow). Die Autoren gehen davon aus, daß diese Verbesserungen die Hustenfähigkeit und Sekretentfernung verbessern und so zur Verringerung postoperativer pulmonaler Komplikationen beitragen könnte. De Aquino et al. 2024 bestätigen dies (Erhöhung P_{lmax} und Atemzugvolumen) für die akute postoperative Phase eines kardialen Eingriffes. In ihrer Arbeit wurden die Länge des Krankenhausaufenthaltes und die Leistungsfähigkeit nicht wesentlich beeinflusst.

Ein isoliertes IMT bei Patienten mit einer kardialen Bypassoperation verbessert Kraft und Ausdauer der Einatemmuskeln, die Lungenfunktion, die Leistungsfähigkeit (6 Minuten Gehstrecke) und trägt zu einer Senkung postoperativer Komplikationen und der Länge des Krankenhausaufenthaltes bei [Araújo CO et al 2024, Zhang et al 2023]. Das systematische Review von Evangelodimou A et al. 2024 gibt einen Überblick über erreichte Effekte mit verschiedenen Intensitäten und Kombinationen des IMT mit anderen Maßnahmen.

Soweit die kurze und sicherlich unvollständige Darstellung ausgewählter Indikationen. Abschließend möchte ich zumindest noch einige Indikationen und entsprechende Literatur nennen (Review und/oder Metaanalyse): neuromuskuläre Erkrankungen: Göhl et al. 2016, Human A et al. 2017, Silva IS et al. 2019, Asthma: Shei RJ et al. 2016, Lista-Paz A et al 2022, Xiang Y et al. 2024, interstitielle Lungenerkrankungen: Gore B & A Demirel 2025, Hoffman M 2021, zystische Fibrose/Mukoviszidose: Aksel-Uylar AA et al 2025, Reid WD et al 2008, Lungenresektion bei Lungenkrebs: Pu CY et al. 2021, Herzinsuffizienz: Siddiqi et al. 2025. Die nachgewiesenen Effekte in den einzelnen Indikationen sind z.T. sehr vielversprechend. Es verbleiben die Probleme der unterschiedlichen Trainingsregimes und Kombination mit anderen Therapiemaßnahmen, etc.

10) Lässt sich IMT in pneumologische Reha-programme oder andere Settings integrieren?

Wie in der vorherigen Frage dargestellt führt ein zusätzliches IMT im Rahmen einer pneumologischen Rehabilitation (PR) zu keinen erhöhten Zugewinnen z.B. im Bereich Leistungsfähigkeit, Lebensqualität oder Atemnot. Ein „Add-on“ ist daher nicht zu fordern. Das IMT sollte dennoch in die PR aufgenommen werden, da eine strukturierte Anleitung und beaufsichtigtes Training stattfinden können*. Der Patient kann befähigt werden ein IMT selbständig und sicher zu Hause fortzuführen. Da ein nicht unerheblicher Teil der Patienten regelhaft akute Verschlechterungen (ausgelöst z.B. durch einen Infekt) erleidet, einhergehend mit Verlusten der Kraft der Einatemmuskeln und Leistungsfähigkeit, könnte in solchen Fällen eine sichere Anwendung erfolgen. IMT könnte im Verlauf der COPD auch zu „Kontrollzwecken“ nützlich sein: Welche Trainingslast kann ich (im Vergleich zur PR) noch bewältigen → Rückschlüsse ziehen auf

maximale Kraftwerte: z.B. Patient (weiblich, 60 Jahre alt) konnte in der PR und kann immer noch mit 30 cmH₂O mühelos mehrere Durchgänge mit 25-30 Atemzüge (am Stück) über das Device schnell/kräftig und lange/tief ziehen. Ein gemessener P_{lmax} Wert dürfte wahrscheinlich einen Wert erreichen, bei dem man eine relevante Atemmuskelschwäche ausschließen kann (vgl. Abb. 1). Die gleiche Patientin kann 2 Jahre später „keine“ 20 cmH₂O mehr bewältigen und empfindet Atemnot bei Belastung: Ein gemessener P_{lmax} weist sicherlich auf eine Schwäche der Atemmuskulatur hin.

Eine weitere Verbreitung der Anwendung in Akuthäusern (unterschiedliche, nicht nur pneumologische Indikationen) wäre aus meiner Sicht sinnvoll. Zusätzlich zu den genannten Effekten (Pneumonieprophylaxe, Vorbereitung auf körperliche Aktivität, etc.) können viele Patienten in dieser Zeit nicht ausreichend aktiv sein. Hier könnte ein IMT Benefits bewirken. Gemäß den Ergebnissen für thoraxchirurgische Eingriffe (u.a. kardiale Operationen) ist eine Implementierung eines IMT in entsprechende Anschlussheilbehandlungen und Rehamaßnahmen ebenfalls sinnvoll.

Auch ein Einsatz im Bereich der ambulanten Atemphysiotherapie ist denkbar. Beispiel: Bei Patienten mit der (Haupt-) Problematik Sekret wird die Anwendung von Geräten (z.B. PEP-Systeme mit oder ohne Oszillation) geübt und diese werden „selbstverständlich“ eingesetzt. Bei ausgewählten Patienten (z.B. mit einer ausgeprägten Atemmuskelschwäche, eingeschränkter Mobilität, keine „Sportangebote“ in der Nähe, etc.) kann die Anleitung zur Umsetzung eines IMT in häuslicher Umgebung sinnvoll sein.

Der Einsatz in anderen Settings wie Rehabilitationssport, Präventionskurse etc. ist problematisch bzw. es bleibt zu klären, ob ein Einsatz von apparativen Hilfen/Hilfsmitteln/Geräten in Gruppen formal erlaubt ist.

11) Das Thema Adhärenz und geschulte Begleitung sind auch beim IMT-Training sehr wichtig. Wie gut ist das Thema IMT derzeit in der Aus- und Weiterbildung von Atemtherapeuten und Ärzten verankert und wo sehen Sie Schulungsbedarf?

Zunächst zur Ausbildung von Atemtherapeuten: In der zweijährigen Ausbildung - mit einem Umfang von 720 Stunden, davon ca. 280 Stunden Unterricht, 320 Stunden Praktika und 120 Stunden Selbststudium – ist das IMT bei verschiedenen Anbietern nominell im Curriculum enthalten. Zur Situation in der Weiterbildung: Nach meiner persönlichen Einschätzung, basierend auf meinen Referententätigkeiten und Gesprächen, die man mit Kollegen, Therapeuten und Ärzten führt, nimmt das IMT aktuell einen sehr geringen bis keinen Platz ein. Eine ähnliche Rückmeldung erhalte ich auch in Bezug auf Aus- und Weiterbildung von Ärzten (Hausärzte, Facharzt Pneumologie, Internisten). Ebenso das Bild bei anderen Berufsgruppen wie Physiotherapeuten, Sporttherapeuten, etc. oder in der Aus- und Fortbildung an Universitäten und Ausbildungsinstituten.

Zum Herantasten an eine Antwort für das Thema IMT in der Aus- und Weiterbildung möchte ich eine Arbeit von Tristan Bonnevie und Kollegen aus dem Jahr 2015 heranziehen; auch wenn

die Daten aus Frankreich stammen, denke ich spiegeln diese die Situation recht gut wider: Auf den Versand von strukturierten Fragebögen antworteten 265 auf Intensivstation tätige Therapeuten. Etwas mehr als 1/3 der befragten setzten IMT ein. Von den anderen knapp 2/3 – Mehrfachantworten möglich – gaben ca. 64% mangelndes spezifisches Wissen (konkretes Umsetzen), 33% mangelnde personelle Ressourcen, 20% mangelnde Literatur zum Thema, 12% nicht Bewußt sein der Benefits und 17% andere/weitere Gründe an. Entsprechend dieser Ausgangslage wurden andere (den Therapeuten bekannte) Techniken viel häufiger eingesetzt.

Die Datenlage zum IMT habe ich in Ausschnitten dargestellt. Trotz der z.T. immer noch widersprüchlichen Datenlage in Bezug auf Add-On Effekte gibt es für fast alle Indikationen gewisse Phasen in der ein (alleiniges) IMT eingesetzt werden und effektiv sein kann. Angesichts der geringen Kosten für ein Device – auch im Vergleich zu anderen Therapieoptionen – eine realisierbare Therapieoption. Eine neutrale, evidenzbasierte Information (nicht nur für pneumologische Indikationen) für verschiedene Berufsgruppen sollte flächendeckender erfolgen. Die vorliegende Evidenz rechtfertigt eine Auseinandersetzung mit dem Thema in Aus- und Weiterbildung.

12) Welche Entwicklungen erwarten Sie in den nächsten Jahren im Bereich des inspiratorischen Atemmuskeltrainings und welche offenen Forschungsfragen halten Sie für besonders relevant?

Etwas unorthodox möchte ich zunächst auf die sehr lesenswerte Arbeit von Ammous O et al. 2023 verweisen. Neben der detaillierten Aufarbeitung relevanter Literatur findet man dort die zu nennenden allgemeinen wissenschaftlich noch zu klärenden Forschungsfragen. Ich möchte mir nachfolgend einen persönlichen Standpunkt erlauben und nur ausgewählte Aspekte ausführen. Ich würde es begrüßen, wenn man wieder beginnt an optimalen Trainingskonzeptionen (auch im Zusammenspiel mit standardisierten Therapiemaßnahmen) für verschiedene Indikationen (nicht nur COPD, sondern auch andere Krankheitsbilder) und Schweregrade zu forschen. Zu viele Studien, die u.a. als Berech-

nungsgrundlage für Metaanalysen dienen, hatten nicht optimale Trainingsregimes (allgemein und auch IMT), überschaubare Effekte und der minimal klinisch relevante Unterschied für den P_{lmax} wurde oftmals nicht erreicht. Allgemein müssen die methodologische Qualität besser und mehr klinisch relevante Outcomes miterhoben werden. Ohne diese (in Bezug auf Ressourcen und finanzielle Mittel) sicherlich schwer zu realisierbarer Vorgehensweise bleibt eine Aufnahme in relevante Literatur (Reviews und Metaanalysen) verwehrt. So wie in aktuellen Arbeiten auch werden zukünftige Übersichtsarbeiten (aufgrund geforderter Einschlusskriterien) weiter zu den gleichen und bekannten Ergebnissen führen.

Ein für viele Indikationen denkbarer Ansatz wäre es, einen allgemeinen Kraftaufbau zu testen. Nach einer Gewöhnungsphase: 4 Wochen (3 Wochen Training, 1 Woche Regeneration) Kraftausdauertraining (20 Wiederholungen), 4 Wochen (3 Wochen Training, 1 Woche Regeneration) Querschnittstraining (10-12 Wiederholungen), 4 Wochen (3 Wochen Training, 1 Woche Regeneration) submaximales bis maximales Training (als Pyramidentraining: 8-6-4-2-4-6-8 Wiederholungen mit angepassten Widerständen). Die Widerstände sind entsprechend der angestrebten Wiederholungszahl anzupassen. Spätestens ab der Phase Querschnitts-/Hypertrophietraining soll ein finales Ermüden erreicht werden.

Im Bereich Weaning besteht Bedarf ein effektives IMT-Protokoll in Kombination mit den standardmäßig eingesetzten weiteren Therapiemaßnahmen für die verschiedenen Indikationen und Weaningsituationen zu entwickeln. Es scheint an einer gewissen flexiblen, der Tagesform und der Entwicklung des P_{lmax} (im gesamten Weaningverlauf) angepassten Handhabung zu mangeln; im Rahmen der Studien wurden die vorgegebenen Trainingsregimes verständlicherweise „gemäß Protokoll durchgezogen“, was ggf. zu den nicht immer optimalen Ergebnissen beigetragen hat. Ein situatives „mehr oder weniger“ unter Beachtung der Gesamtentwicklung könnte vorteilhaft sein. In einem nächsten Schritt sind bei Einsatz eines solchen modifizierten IMT standardisiert Daten zu erheben, um den Einfluss auf relevante klinische Outcomes (Weaningserfolg, Verweildauer auf ICE, etc.) zu untersuchen. Auch hier sind ohne die Erzeugung neuer Daten und die Aufnahme in die Literatur der Nachweis der Wirksamkeit nicht möglich.

Wir bedanken uns herzlich bei Ihnen, Herrn Dr. Göhl, für das informative Gespräch und die fundierten Erläuterungen zum inspiratorischen Atemmuskeltraining. Die Einblicke aus Forschung und Praxis zeigen eindrucksvoll, welches Potenzial IMT in verschiedenen Anwendungsbereichen bietet. Das von uns angebotene IMT Gerät AirFeel® IMT kann von Patienten über Apotheken, Sanitätshäuser und den medizinischen Fachhandel bezogen werden. Die Praxiserfahrung zeigt, dass das AirFeel® IMT i.d.R. von den Krankenkassen übernommen wird. Es ist bei entsprechender Indikation verordnungsfähig. Vielen Dank für Ihre Zeit und Ihre Expertise!

Hinweis: Im Rahmen dieses Formats war es nicht immer möglich, alle Fragen ausführlich und wissenschaftlich vollständig zu beantworten. Die dargestellten Antworten geben daher Ausschnitte und teilweise vereinfachte Darstellungen wieder, die der Komplexität des jeweiligen Themas nur bedingt gerecht werden können. Der Autor erhebt keinen Anspruch auf wissenschaftliche Vollständigkeit seiner Ausführungen.

Dr. phil. Oliver Göhl, geboren 1973 in Schweinfurt, ist Diplom-Sportwissenschaftler (univis.) und Sporttherapeut (DVGS) mit Spezialisierung in den Bereichen innere Medizin, Orthopädie, Rheumatologie und Traumatologie. Er promovierte mit summa cum laude im Fachbereich Sportwissenschaft über die "Effekte eines ambulanten wohnortnahen Rehabilitationsprogramms für Patienten mit COPD". Neben seiner Arbeit im Therapiezentrum Schmerz-Weg engagierte er sich als Vorstandsmitglied der AG Lungensport in Deutschland e.V., war stellvertretender Vorsitzender der Arbeitsgemeinschaft Atemmuskeltraining und ist als wissenschaftlicher Beirat für mehrere Selbsthilfegruppen und Fachvereinigungen zum Thema COPD tätig. Er lehrte an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-

Nürnberg und an der Philipps-Universität Marburg und ist seit vielen Jahren als Referent (u.a. Kongresse von Fachgesellschaften, Patientenvereinigungen, Industrie) und in der Ausbildung (Übungsleiter, Ärzefortbildungen) tätig.

Dr. Göhl hat langjährige praktische Erfahrung in der Therapie und Trainingsbetreuung von Menschen mit chronischen Lungenerkrankungen und veröffentlichte zahlreiche Fachbeiträge, Patientenratgeber und Informationsbroschüren zum Thema körperliches Training bei Atemwegs- und Lungenerkrankungen. Er ist u.a. Autor des Buchs "COPD - ein Lehrbuch für Patienten, Angehörige und Interessierte" sowie Mitherausgeber des Lehrbuchs "Handbuch Lungensport - Ein Leitfaden für Übungsleiter, Therapeuten und Ärzte".

Quellenangaben:

- Aksel-Uylar AA et al.** Effects of inspiratory muscle training on physical fitness in cystic fibrosis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2025 Nov 27;17(1):384. doi: 10.1186/s13102-025-01430-w. PMID: 41310767; PMCID: PMC12751194.
- Aliverti A.** The respiratory muscles during exercise. *Breathe (Sheff).* 2016 Jun;12(2):165-8. doi: 10.1183/20734735.008116. PMID: 27408635; PMCID: PMC4933622.
- Alonso-Pérez JL et al.** Inspiratory Muscle Training and Its Impact on Weaning Success in Mechanically Ventilated ICU Patients: A Systematic Review. *J. Funct. Morphol. Kinesiol.* 2025, 10, 111. <https://doi.org/10.3390/jfkm10020111>
- Álvarez-Hermis, J et al.** Putative Role of Respiratory Muscle Training to Improve Endurance Performance in Hypoxia: A Review. *Front. Physiol.* 2018, 9, 1970.
- Ammous O et al.** Inspiratory muscle training, with or without concomitant pulmonary rehabilitation, for chronic obstructive pulmonary disease (COPD). *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2023, Issue 1. Art. No.: CD013778. DOI: 10.1002/14651858.CD013778.pub2.
- Aquino TN et al.** Efficacy of Respiratory Muscle Training in the Immediate Postoperative Period of Cardiac Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Braz J Cardiovasc Surg.* 2024 Feb 5;39(1):e20220165. doi: 10.21470/1678-9741-2022-0165. PMID: 38315040; PMCID: PMC10836657.
- Araújo CO et al.** Inspiratory Muscle Training in Phase 1 and 2 Postoperative Cardiac Rehabilitation Following Coronary Artery Bypass Graft Surgery: Systematic Review With Meta-Analysis. *Phys Ther.* 2024 Jul 2;104(7):pzae061. doi: 10.1093/ptj/pzae061.
- Archiza, B. et al.** Effects of Inspiratory Muscle Training in Professional Women Football Players: A Randomized Sham-Controlled Trial. *J. Sports Sci.* 2018, 36, 771-780.
- Beaumont M et al.** Effects of inspiratory muscle training in COPD patients: A systematic review and meta-analysis. *Clin Respir J.* 2018;12(7):2178-2188. doi:10.1111/crj.12905.
- Benli RK et al.** Effect of post-extubation inspiratory muscle training on diaphragmatic function in mechanically ventilated patients: A randomized controlled trial. *Adv Clin Exp Med.* 2024;33(10):1077-1085.
- Bissett B et al.** Inspiratory muscle training for intensive care patients: A multidisciplinary practical guide for clinicians. *Aust Crit Care.* 2019 May;32(3):249-255. doi: 10.1016/j.aucc.2018.06.001.
- Bissett B et al.** Respiratory muscle rehabilitation in patients with prolonged mechanical ventilation: A targeted approach. *Crit Care.* 2020;24(1):103. doi:10.1186/s13054-020-2783-0
- Black LF & RE Hyatt.** Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Respir Dis* 1969; 99: 696±702.
- Bonnevie T et al.** Inspiratory muscle training is used in some intensive care units, but many training methods have uncertain efficacy: a survey of French physiotherapists. *J Physiother.* 2015 Oct;61(4):204-9. doi: 10.1016/j.jphys.2015.08.003. Epub 2015 Sep 11. PMID: 26365266.
- Carlsen KH.** The breathless adolescent asthmatic athlete. *Eur Respir J.* 2011 Sep;38(3):713-20. doi: 10.1183/09031936.00068510. Epub 2011 Mar 24. PMID: 21436348.
- Críe CP.** Empfehlungen der Deutschen Atemwegsliga zur Messung der respiratorischen Muskelfunktion. *Pneumologie* 2003; 57: 98-100.
- Cvok T et al.** Correlation of dyspnea and physiological impairment in COPD exacerbation. *European Respiratory Journal* 2014 38(Suppl 55): p910; DOI: https://doi.org/10.1183/13993003/erj.38.Suppl_55.p910
- Elkins M, Dentice R.** Inspiratory muscle training facilitates weaning from mechanical ventilation in patients in the intensive care unit: a systematic review. *J Physiother.* 2015;61:125-134.
- Evangelodimou A et al.** Benefits from Implementing Low- to High-Intensity Inspiratory Muscle Training in Patients Undergoing Cardiac Surgery: A Systematic Review. *J. Cardiovasc. Dev. Dis.* 2024, 11, 380.
- Geddes EL et al.** Inspiratory muscle training in adults with chronic obstructive pulmonary disease: an update of a systematic review. *Respir Med* 2008; 102:1715-1729.
- Göhl O et al.** Atemmuskeltraining: State-of-the-Art. *Pneumologie* 2016; 70: 37-48. Doi:<http://dx.doi.org/10.1055/s-0041-109312>
- Göhl, O.** Training bei COPD – Ein Lehrbuch für Patienten, Angehörige und Interessierte. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage. Donauaufst. 2014.
- Goligher EC et al.** Mechanical ventilation-induced diaphragm atrophy strongly impacts clinical outcomes. *Am J Respir Crit Care Med.* 2018;197(2):204-213. doi:10.1164/rccm.201703-0536OC
- Gomes Neto M et al.** Pre- and postoperative inspiratory muscle training in patients undergoing cardiac surgery: systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2017 Apr;31(4):454-464. doi: 10.1177/0269215516648754. Epub 2016 Jul 10. PMID: 27154820.
- Gore B and A Demirel.** Effects of respiratory muscle training in patients with interstitial lung diseases: Systematic review. *Heart Lung.* 2025 Dec 5;76:132-138. doi: 10.1016/j.hrtlung.2025.11.023. Epub ahead of print. PMID: 41352327.
- Goselink R, Wagenaar RC, Decramer M.** Reliability of a commercially available threshold loading device in healthy subjects and in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax.* 1996 Jun;51(6):601-5. doi: 10.1136/thx.51.6.601. PMID: 8693441; PMCID: PMC1090490.
- Goselink R et al.** Impact of inspiratory muscle training in patients with COPD: what is the evidence? *Eur Respir J.* 2011 Feb;37(2):416-25. doi: 10.1183/09031936.00031810. PMID: 21282809.
- Haj Ghanbari B et al.** Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: a systematic review with meta-analyses. *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association* 2013; 27: 1643-1663
- Han, B.; et al.** Effects of Inspiratory Muscle Training in People with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Life* 2024, 14, 1470. <https://doi.org/10.3390/life14111470>
- Hill K et al.** High-intensity inspiratory muscle training in COPD. *Eur Respir J* 2006; 27:1119-1128.
- Hoffman M.** Inspiratory muscle training in interstitial lung disease: a systematic scoping review. *J Bras Pneumol.* 2021 Sep 6;47(4):e20210089. doi: 10.36416/1806-3756/e20210089. PMID: 34495175; PMCID: PMC8979670.
- Human A et al.** Inspiratory muscle training for children and adolescents with neuromuscular diseases: A systematic review. *Neuromuscul Disord.* 2017 Jun;27(6):503-517. doi: 10.1016/j.nmd.2017.03.009. Epub 2017 Mar 29. PMID: 28462787.
- Illi SK et al.** Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: a systematic review and meta-analysis. *Sports medicine (Auckland, NZ)* 2012; 42: 707-724
- Kowalski, T. et al.** Practical Application of Respiratory Muscle Training in Endurance Sports. *Strength Cond. J.* 2024, 10-1519.
- Lista-Paz A et al.** Effect of respiratory muscle training in asthma: A systematic review and meta-analysis. *Ann Phys Rehabil Med.* 2023 Apr;66(3):101691. doi: 10.1016/j.rehab.2022.101691. Epub 2022 Dec 1. PMID: 35843501.
- O'Brien K et al.** Inspiratory muscle training compared with other rehabilitation interventions in chronic obstructive pulmonary disease: a systematic review update. *J Cardiopulm Rehabil Prev* 2008; 28:128-141.
- Poddighe D et al.** Inspiratory effort and respiratory muscles activation during different breathing conditions in difficult to wean (DTW) patients: an explorative study. *Intensive care medicine* experimental 2024; 12: 87.
- Reid WD et al.** Effects of inspiratory muscle training in cystic fibrosis: a systematic review. *Clin Rehabil.* 2008 Oct-Nov;22(10-11):1003-13. doi: 10.1177/0269215508090619. PMID: 18955432.
- Sales, AT et al.** Respiratory Muscle Endurance after Training in Athletes and Non-Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Phys. Ther. Sport* 2016, 17, 76-86.
- Shel RJ et al.** The role of inspiratory muscle training in the management of asthma and exercise-induced bronchoconstriction. *Phys Sportsmed.* 2016 Nov;44(4):327-334. doi: 10.1080/00913847.2016.1176546. Epub 2016 Apr 26. PMID: 27094568.
- Shoemaker MJ et al.** Inspiratory muscle training in patients with chronic obstructive pulmonary disease: the state of the evidence. *Cardiopulmonary physical therapy journal* 2009; 20: 5-15
- Siddiqi AK et al.** The efficacy of inspiratory muscle training in improving clinical outcomes in heart failure patients: An updated systematic review and meta-analysis. *J Cardiol.* 2025 May;85(5):374-385. doi: 10.1016/j.jcc.2025.01.016. Epub 2025 Feb 3. PMID: 39909304.
- Silva, RLC et al.** Inspiratory Muscle Training Improves Performance of a Repeated Sprints Ability Test in Professional Soccer Players. *J. Bodyw. Mov. Ther.* 2019, 23, 452-455.
- Silva IS et al.** Respiratory muscle training in children and adults with neuromuscular disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2019 Sep 5;9(9):CD011711. doi: 10.1002/14651858.CD011711.pub2. PMID: 31487757; PMCID: PMC6953358.
- Spruit MA et al.** An official American Thoracic Society/European Respiratory Society statement: key concepts and advances in pulmonary rehabilitation. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 2013;188(8):e13-64.
- Van Hollebeke M et al.** Similar Weaning Success Rate with High-Intensity and Sham Inspiratory Muscle Training: A Randomized Controlled Trial (IMweanT). *Am J Respir Crit Care Med.* 2025 Mar;211(3):381-390. DOI: 10.1164/rccm.202405-1042OC
- Vorona S et al.** Inspiratory muscle rehabilitation in critically ill adults: a systematic review and meta-analysis. *Ann Am Thorac Soc* 2018;15(6):735e44.
- Witt, JD et al.** Inspiratory Muscle Training Attenuates the Human Respiratory Muscle Metaboreflex. *J. Physiol.* 2007, 584, 1019-1028.
- Xavier DM et al.** The effectiveness of respiratory muscular training in athletes: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Bodywork and Movement Therapies.* Volume 42, June 2025, Pages 777-792. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2025.01.010>
- Xiang Y et al.** Effect of inspiratory muscle training in children with asthma: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Front Pediatr.* 2024 Mar 18;12:1367710. doi: 10.3389/fped.2024.1367710. PMID: 38562138; PMCID: PMC10982517.
- Xie J et al.** Effects of pulmonary rehabilitation combined with inspiratory muscle training on lung function and exercise capacity in older patients with COPD: a systematic review and meta-analysis. *Front. Med.* 2025; 12:1621375. doi: 10.3389/fmed.2025.1621375
- Zhang S et al.** The Effects of Inspiratory Muscle Training (IMT) on Patients Undergoing Coronary Artery Bypass Graft (CABG) Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Rev. Cardiovasc. Med.* 2023; 24(1): 16. <https://doi.org/10.31083/j.rcm2401016>