

# **Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittlähmung**

## **Langfassung**

S2k-Leitlinie  
Version 01.08.2022

AWMF-Register Nr: 179-011



Deutschsprachige Medizinische  
Gesellschaft für Paraplegiologie e.V.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	4
A. Vorbemerkungen	5
B. Ziele der Leitlinie	5
C. Methodik	5
1. Besonderheiten der Atmung bei Querschnittlähmung	7
1.1. Einfluss der Querschnittlähmung auf die Atmung	7
1.2. Husten- und Sekretmanagement	8
1.3. Atelektasenprophylaxe	12
1.4. Mit dem Schlaf zusammenhängende Atmungsstörungen	12
2. Akute respiratorische Insuffizienz	14
2.1. Tracheotomie	14
2.2. Frühe Mobilisation	15
3. Invasive Beatmung	15
3.1. Ventilationseinstellungen	15
3.2. Kommunikation und Phonation	17
3.3. Ventilator assoziierte untere Atemwegsinfekte	19
3.4. Weaning	19
4. Elektrostimulation Zwerchfell	21
4.1. Einführung	21
4.2. Zwerchfellstimulation - Indirekte Stimulation (PNS)	21
4.3. Zwerchfellstimulation - Direkte Stimulation (DPS)	22
5. Nicht-invasive Beatmung (NIV)	22
5.1. Ventilationseinstellungen	24
6. Überleitung	26
6.1. Pflegerische Versorgung	26
6.2. Technische Ausstattung	27
7. Vorsorge / Nachsorge	28
7.1. Warum lebenslange Nachsorge?	28
7.2. Empfehlungen zur Prävention	30
7.3. Verlaufskontrollen	30
D. Anhang	31
1. American Spinal Injury Association Impairment Scale	31
2. Dekanülierungsschema	32
3. Informationen zu dieser Leitlinie	35
Version 1.0	35
Federführende Fachgesellschaft	35
Beteiligte Fachgesellschaften	35

Leitlinienkoordination und Korrespondenzadresse	35
Leitlinienautoren	36
Danksagung	36
Redaktionelle Unabhängigkeit (gemäß AWMF-Kriterien)	36
8. Literaturverzeichnis	37

Für die vereinfachte Lesbarkeit wird im gesamten Text die männliche Sprachform genutzt. Die Inhalte beziehen sich auf alle Geschlechter.

## Abkürzungsverzeichnis

Da die Begriffe häufig international benutzt werden, folgen die Begriffe in englischer Sprache:

AHI	Apnea-hypopnea index
AIS	American Spinal Injury Association Impairment Scale
ALS	Amyotrophic lateral sclerosis
AMV	Respiratory minute volume
ARDS	Acute respiratory distress syndrome
ARF	Acute respiratory failure
ASB	Assisted spontaneous breathing
ASSPCV	Assisted pressure-controlled ventilation
ASV	Adaptive servo ventilation
AVAPS	Average volume-assured pressure support
AZV	Breathing volume
BMI	Body mass index
COPD	Chronic obstructive lung disease
CPAP	Continuous positive airway pressure
DPS	Diaphragm stimulation
EPAP	Expiratory positive airway pressure
ERV	Expiratory reserve volume
FEV <sub>1</sub>	Forced expiratory volume in 1 second
FiO <sub>2</sub>	Inspiratory oxygen fraction
FRC	Functional residual capacity
FVC	Forced vital capacity
ICU	Intensive care unit
IPAP	Inspiratory positive airway pressure
IPPB	Intermittent positive pressure breathing
IVAPS	Intelligent volume-assured pressure support
MIC	Maximal inspiratory capacity
NIV	Noninvasive Ventilation
NPV	Negative pressure ventilation
OSA(S)	Obstructive sleep apnea (syndrome)
Pe <sub>max</sub>	Peak expiratory pressure
Pi <sub>max</sub>	Peak inspiratory pressure
PAV	Proportional assist ventilation
PCF	Peak cough flow
PCV	Pressure-controlled ventilation
PEEP	Positive end-expiratory pressure
PEF	Peak expiratory flow
PNS	Phrenic nerve stimulation
PSV	Pressure support ventilation
RV	Residual volume
TLC	Total lung capacity
VAP	Ventilator associated pneumonia
VAT	Ventilator associated tracheobronchitis
VCV	Volume controlled ventilation
Vt	Tidal volume

## **A. Vorbemerkungen**

Die vorliegende Leitlinie „Atmung, Atemunterstützung und Beatmung bei akuter und chronischer Querschnittlähmung“ soll dazu beitragen, dass Menschen mit einer Querschnittlähmung wissenschaftlich begründet, angemessen, wirtschaftlich und qualitätsgesichert behandelt und betreut werden. Das praktische Wissen ist mitentscheidend für den Erfolg der Atemunterstützung. Dieses Wissen kann nur durch zusätzliche praktische Kurse und Schulungen erworben werden. Diese Leitlinie wurde von Experten aus Deutschland und der Schweiz für alle Betroffenen und Fachpersonen erarbeitet, die Menschen mit einer Querschnittlähmung behandeln, betreuen und versorgen.

Der Begriff „Heimventilation“, entsprechend dem angelsächsischen „home ventilation“, der in der Schweiz üblicherweise verwendet wird, ist mit dem Begriff „außerklinische Beatmung“, wie er in Deutschland verwendet wird, identisch. Diese Begriffe werden in diesem Text synonym verwendet.

## **B. Ziele der Leitlinie**

Das Ziel dieser Leitlinie ist die theoretische Wissensvermittlung in der Behandlung und Betreuung von Menschen mit einer Querschnittlähmung, die einer Atemunterstützung bedürfen.

Das theoretische Wissen beinhaltet insbesondere:

- Wissen um die querschnittlähmungsspezifischen respiratorischen Probleme mit Berücksichtigung der gestörten gastrointestinalen Funktion und deren Auswirkungen auf die Atmung
- Wissen um das diagnostische und therapeutische Vorgehen bei temporärer und dauerhafter Beatmungspflicht von Menschen mit einer Querschnittlähmung
- Wissen um das diagnostische und therapeutische Vorgehen bezüglich des Husten- und Sekretmanagements
- Wissen um das Vorgehen und die Anforderungen bei der Überleitung nach Hause oder in eine in anderer Weise organisierte außerklinische Versorgung
- Wissen um die technischen und fachlichen Voraussetzungen in den Behandlungszentren und in der außerklinischen Versorgung bezüglich der Betreuung beatmeter und atmungsunterstützter Menschen mit einer Querschnittlähmung
- Wissen um die Qualitätssicherung und lebenslange Nachsorge bei der Langzeit-Betreuung, unabhängig von der Art der außerklinischen Versorgung

## **C. Methodik**

Die Themen und die entsprechenden Kapitel der vorliegenden Leitlinie wurden vom Arbeitskreis „BeAtmung“ der „Deutschsprachigen Medizinischen Gesellschaft für Paraplegiologie“ e.V. (DMGP) in mehreren Redaktionssitzungen festgelegt und die einzelnen Kapitel den einzelnen Arbeitskreismitgliedern zur Bearbeitung zugeordnet. Ein Redaktionsteam von sieben Mitgliedern wurde aus Arbeitskreismitgliedern konstituiert.

Die einzelnen Kapitel wurden von den verantwortlichen Mitgliedern bearbeitet. Zu diesem Zweck wurden mehrere Literaturrecherchen für die Themengebiete einzeln durchgeführt. Die Suchstrategie oblag den einzelnen verantwortlichen Redakteuren. Sie wurde in mehreren Redaktionssitzungen besprochen, festgelegt und während des ganzen Entstehungsprozesses, falls notwendig, ergänzt.

Insbesondere wurden bereits bestehende Leitlinien miteinbezogen (siehe jeweilige Referenz im Text).

In protokollierten Sitzungen des Arbeitskreises, anlässlich der Jahrestagungen der DMGP und ordentlichen Herbsttagungen des Arbeitskreises seit 2014, sowie durch die mehrmalige Möglichkeit zur schriftlichen Stellungnahme während des Entstehungsprozesses dieser Leitlinie, wurden die Textversionen angepasst. Die letzte Version wurde nochmals allen Arbeitskreismitgliedern zur Stellungnahme zur Verfügung gestellt und anschließend der Leitlinienkommission der DMGP unter

Leitung von Prof. Norbert Weidner zur Genehmigung vorgelegt. Anschließend wurde diese Version allen mitbeteiligten Verantwortlichen der nachfolgenden Fachgesellschaften zur Stellungnahme zugestellt.

Beteiligung anderer Fachgesellschaften:

Folgende Fachgesellschaften wurden in die Erarbeitung der Leitlinie einbezogen:

- Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin (DGKJ)
- Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung (DIGAB)
- Deutsche Gesellschaft für Neurologie (DGN)
- Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP)
- Deutsche Gesellschaft für Neurorehabilitation (DGNR)
- Schweizerische Gesellschaft für Pneumologie (SGP)
- Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM)
- Fördergemeinschaft für Querschnittgelähmte in Deutschland e.V.
- ParaHelp AG der Paraplegiker-Gruppe Nottwil, Schweiz

Die delegierten Vertreter der einzelnen Gesellschaften und Vereinigungen nahmen an der Konsensuskonferenz vom 18.01.2022 teil.

**Formulierung der Empfehlung mit Empfehlungsstärken:**

Die wichtigsten Empfehlungen dieser Leitlinie wurden formuliert und sind in Textboxen dargestellt. Bei allen Empfehlungen ist die Stärke der Empfehlung anhand der Formulierung ersichtlich (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Dreistufiges Schema zur Graduierung von Empfehlungen

Beschreibung	Ausdrucksweise
Starke Empfehlung	Soll /Soll nicht
Empfehlung	Sollte /sollte nicht
Empfehlung offen	Kann erwogen/verzichtet werden

Die Konsensstärke wurde gemäß Tabelle 2 klassifiziert.

Tabelle 2: Feststellung der Konsensstärke

Klassifikation der Konsensusstärke	
Starker Konsens	> 95% der Stimmberechtigten
Konsens	>75-95% der Stimmberechtigten
Mehrheitliche Zustimmung	>50-75% der Stimmberechtigten
Keine mehrheitliche Zustimmung	<50% der Stimmberechtigten

Die Empfehlungen wurden anhand der zugrunde liegenden Literatur begründet.

# 1. Besonderheiten der Atmung bei Querschnittlähmung

## 1.1. Einfluss der Querschnittlähmung auf die Atmung

Eine Querschnittlähmung führt häufig zu einer verminderten Atemfunktion und folglich zu einem erhöhten Risiko von Pneumonien (1). Ursachen sind (a) die motorische, lähmungsbedingt verminderte Kraft der in- und expiratorischen Atemmuskulatur (inkl. Atemhilfsmuskulatur), (b) die veränderte Compliance von Lungen- und Thoraxwand insbesondere im Langzeitverlauf, (c) die zentrale Atemkontrolle, (d) die Verminderung des Durchmessers und der Reagibilität der Atemwege infolge der autonomen Dysregulation und (e) die Interaktion zwischen Thorax und Abdomen, infolge lagebedingter Verschieblichkeit des Zwerchfells und der thorako-abdominalen Druckverhältnisse.

a) Infolge der Abnahme der Kraft der inspiratorischen Muskulatur vermindern sich in Abhängigkeit von der Lähmungshöhe die Vitalkapazität (inspiratorische VC, forcierte VC (FVC)), das Atemzugvolumen (AZV), die Ein-Sekunden-Kapazität (FEV<sub>1</sub>) und die inspiratorische Kapazität (2). Das Atemminutenvolumen (AMV) wird kompensatorisch durch eine Erhöhung der Atemfrequenz aufrechterhalten. Die fehlende Stabilisierung des Rippen thorax durch die Interkostalmuskulatur führt zudem zu einer paradoxen Einwärtsbewegung bei der Inspiration (3, 4).

Die Abnahme der Kraft der expiratorischen Muskulatur führt ebenfalls in Abhängigkeit von der Lähmungshöhe zu einer Verminderung des expiratorischen Reservevolumens (ERV), damit zu einer Erhöhung des Residualvolumens (RV) und vermindert die VC zusätzlich (5, 6). Diese Veränderungen werden auch als „complex restrictive pattern“ bezeichnet (7). Der maximal erreichbare Luftfluss beim Husten ist verringert. Bronchialsekret kann nicht mehr genügend abgehustet werden. Bei einem maximalen Luftfluss beim Hustenstoß (PCF/peak cough flow) unter 270l/min ist das effiziente Abhusten von Sekret nicht mehr gewährleistet (8, 9), bei einem maximalen Hustenstoß von <160l/min kaum mehr möglich. Die Messung des Hustenspitzenflusses kann einfach mittels eines Peak-Flow-Meters durchgeführt werden und sollte bei allen Patienten erfolgen, bei denen eine eingeschränkte Funktion der Atemmuskulatur vorliegen könnte und damit ein erhöhtes Risiko für einen Sekretverhalt aufweisen.

b) Die Compliance von Lunge und Thorax ist bei Menschen mit einer Tetraplegie bedingt durch eine Abnahme der Lungenvolumina und Veränderungen des Surfactants bei Atmung mit niedrigen Lungenvolumina schon ein Jahr nach Lähmungseintritt vermindert (10, 11). Die Versteifung des Rippen thorax durch Ankylosierung der Rippengelenke und die Spastizität der Interkostalmuskulatur vermindern im weiteren Verlauf die Thoraxcompliance zusätzlich (12-14).

c) Die zentral gesteuerte Atemkontrolle ist bei tetraplegischen Patienten beeinträchtigt. Der Atemantrieb als Antwort auf eine Hyperkapnie ist vermindert (15-17). Zentrale Atemregulationsstörungen treten nachts häufiger auf, mitverursacht durch Medikamente mit atemdepressiven Nebenwirkungen, die bei Komplikationen der Querschnittlähmung (z.B. Schmerz, Spastik) eingesetzt werden.

d) Bei Querschnittlähmung oberhalb Th6 ist die sympathische Nervenversorgung der Luftwege unterbrochen. Die fehlende sympathische Aktivität und entsprechend ungebremste vagale cholinergische Aktivität führen zu verengten Bronchien, vermehrter Sekretproduktion und zu einer bronchialen Hyperreagibilität (18, 19).

e) Die Interaktion zwischen Abdomen und Thorax erlangt bei einer Tetraplegie Bedeutung bei Lagewechseln, erhöhtem intraabdominalen Druck und Rumpfspastik (20, 21). Durch die erhöhte Compliance des Abdomens infolge des Verlustes der Innervation der abdominalen Muskulatur wird in sitzender Position das Zwerchfell passiv nach kaudal gezogen und abgeflacht. Die intraabdominalen Organe werden gleichzeitig nach ventral-kaudal verlagert. Dadurch verringern sich die laterale Appositionszone des Zwerchfells und die vertikale Kraft bei Kontraktion des Zwerchfells.

Dies führt zu einer Abnahme des AZV, zu einer erhöhten Atemarbeit und entsprechend schneller zur Dyspnoe. Es zeigt sich somit im Gegensatz zur klassischen Orthopnoe ein vermindertes AZV im Sitzen gegenüber dem Liegen (22, 23). Andererseits führt ein erhöhter intraabdominaler Druck durch Koprostase, vermehrte Gasbildung mit Blähungen oder Spastik der abdominalen Muskulatur zu vermehrter Atemarbeit und Atemnot. Aufgrund der verlängerten Magen-Darm-Passage sind die genannten Phänomene bei Menschen mit einer Querschnittlähmung häufig zu beobachten (20, 21).

Im Langzeitverlauf wird eine Abnahme der Lungenfunktion über das normale altersbedingte Ausmaß diskutiert (24, 25). Übergewicht, reduzierte inspiratorische Muskelkraft, persistierende bronchiale Obstruktion und Höhe der Querschnittläsion beeinflussen die Lungenfunktion im Langzeitverlauf (24-29). Die Häufigkeit von Lungenerkrankungen im Langzeitverlauf korreliert mit dem Ausmaß der Lungenfunktionseinschränkung, dem Rauchen und Zeichen der obstruktiven Lungenerkrankung sowie stattgehabten Pneumonien, hingegen nicht mit der Läsionshöhe, der Klassifikation und Dauer der Läsion (30).

#### **Empfehlung 1 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

In Bezug auf das Atemvermögen bei Querschnittlähmung sollen beachtet werden

- die motorisch lähmungsbedingte verminderte Kraft der in- und expiratorischen Atemmuskulatur
- die veränderte Compliance von Lungen- und Thoraxwand
- die veränderte zentrale Atemregulation
- die autonome Dysregulation mit Hyperreagibilität der Atemwege
- die Interaktion zwischen Thorax und Abdomen

## **1.2. Husten- und Sekretmanagement**

Eine maschinelle nicht invasive Atemunterstützung (NIV) oder invasive Beatmung wie auch eine Elektrostimulation des Zwerchfells können nur bei offenen und sekretfreien Luftwegen erfolgreich sein. Die Verlegung von Luftwegen durch Sekret führt zu einer verminderten Ventilation und Verschlechterung des Ventilations-Perfusions-Verhältnisses und erhöht das Risiko von Shunts, Atelektasen und Bronchopneumonien. Das Monitoring und die Interventionen bezüglich des Husten- und Sekretmanagements müssen deshalb bereits vor Einleitung einer maschinellen Atemunterstützung oder Elektrostimulation erfolgen (31, 32). Eine Unterstützung des Hustens sollte bei allen Patienten erwogen werden, die keinen maximalen Hustenstoß von >270l/min erreichen (8, 9, 33).

### **Die Ziele eines erfolgreichen Husten- und Sekretmanagements sind:**

Das Gewährleisten eines effizienten Abhustens von Sekret, das Vermeiden von Sekretverhalt und von Atelektasen, die Verbesserung der Ventilation sowie die Reduktion von Bronchopneumonien (34).

Diese Ziele werden erreicht durch:

- Belüften der Lungen bis zur maximal möglichen inspiratorischen Kapazität (MIC) vor dem Abhusten (35). Dies kann durch Mobilisation, Lagewechsel, air stacking, Blähungen mit dem Beatmungsbeutel oder mittels glossopharyngealer Atmung erreicht werden
- Eine Kräftigung der in- und expiratorischen Muskulatur zur Verbesserung der inspiratorischen Kapazität und des maximalen expiratorischen Flusses (36, 37)
- Spezifische Lagerungstechniken (z.B. Kopftief- und/oder 135°-Lagerung) zur Erleichterung und Verbesserung des Abhustens
- Die Verbesserung des maximalen Luftflusses beim Hustenstoß durch Kompression des Abdomens mittels eines dreiteiligen Bauchgurtes (38)
- Assistierte Abhustetechniken mit dem Zielwert des maximalen Hustenstoßes von >270l/min

(8): Mittels vertiefter Inspiration durch air stacking, glossopharyngealer Atmung, Insufflation mit einem Beatmungsbeutel, IPPB-Gerät (Intermittend positive pressure breathing) oder In-Exsufflatoren soll ein möglichst hohes inspiratorisches Volumen erreicht werden, um anschließend den Luftfluss bei Expiration mittels manueller Kompression auf das obere Abdomen nach dorso-kranial maximal zu erhöhen (39, 40)

- Inhalation mit hyperosmolarer Kochsalzlösung, möglichst im Rahmen einer IPPB-Therapie
- Extra- oder intrathorakale Vibrationen zur Sekretmobilisation

Das Husten- und Sekretmanagement bildet einen integralen Anteil bezüglich des Langzeiterfolges einer effizienten Beatmung. Bei jeder Form der Langzeitbeatmung müssen der Patient und dessen Pflegeteam bezüglich des effizienten Abhustens von Sekret geschult werden.

### **Maschinelle Abhusttechniken:**

Diese Techniken können angewendet werden, falls bei korrekt durchgeführten manuell-assistierten Techniken der maximale Hustenstoß niedrig bleibt (<270l/min) oder das Sekret nicht effektiv abgehustet werden kann. Die korrekte Einstellung und Schulung der Patienten und Pflegenden ist für den Erfolg entscheidend.

### **Besondere Aspekte bei tracheotomierten und invasiv beatmeten Patienten:**

Assistiertes Abhusten und maschinelle Abhusthilfen (In-Exsufflatoren) sind empfehlenswert, um invasives Absaugen so weit als möglich zu reduzieren (41). Auch bei invasiv beatmeten Patienten kann das mechanische assistierte Abhusten mittels In-Exsufflator angewandt werden (42, 43). Zu beachten ist, dass das Lumen der Trachealkanüle einen Einfluss auf den intrathorakal applizierten Druck hat (44). Patienten ziehen dabei meist das maschinelle Abhusten dem invasiven Absaugen vor (45).

Für invasiv beatmete Patienten sollte zusätzlich unter Beachtung adäquater Volumina sobald als möglich eine Versorgung mittels Kanüle ohne Cuff erfolgen oder über eine möglichst lange Zeitdauer mit entblockter Kanüle beatmet werden (46). Das Ziel dabei ist es, neben der Verhinderung von Trachealschäden, das Sekretmanagement und die Schluckfunktion zu verbessern, sowie das Sprechen zu ermöglichen (47).

Endotracheales Absaugen: Minimal invasives Absaugen ist bei tracheotomierten Patienten dem tiefen, bis in die Hauptbronchien reichenden Absaugen vorzuziehen, da dies mit geringeren Nebenwirkungen behaftet ist (41). Insbesondere bei hoher frischer Querschnittlähmung ist zu beachten, dass durch die autonome Dysregulation dadurch ein Blutdruck-Abfall oder eine Bradykardie bis zur Asystolie provoziert werden kann (48, 49). Situationsbedingt kann dies trotzdem notwendig sein. Auf atraumatisches Vorgehen wird hingewiesen.

Zur Atemgaserwärmung und –befeuchtung stehen zwei Prinzipien zur Verfügung, die a) kontrollierte Erwärmung und Befeuchtung (aktive Atemgaskonditionierung) oder b) ein Wärmeaustauscher (passive Atemgaskonditionierung, z.B. HME-Filter (Heat and Moisture Exchanger) und sollten je nach Sekretbeschaffenheit bei invasiv beatmeten Patienten eingesetzt werden (50).

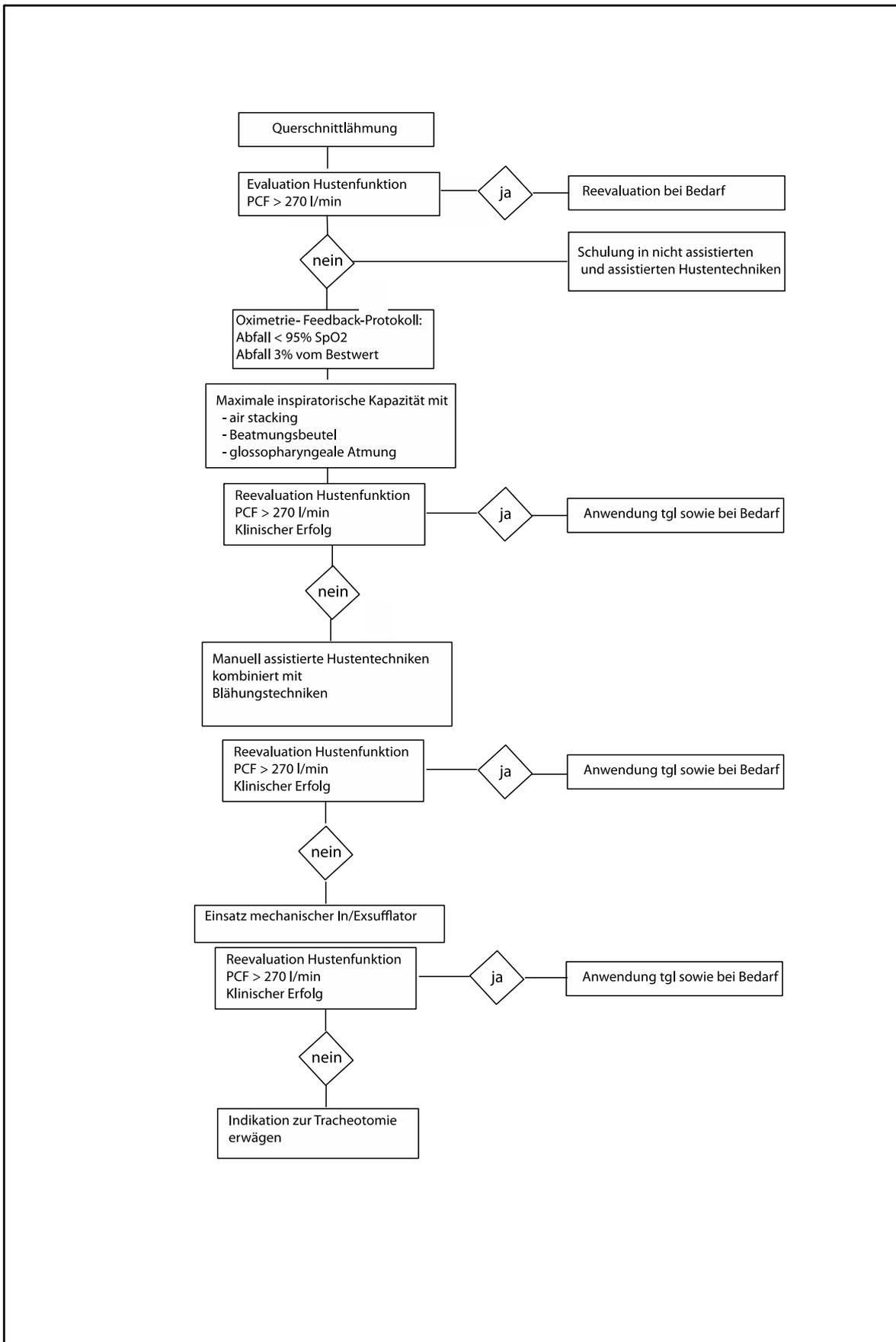
Zur Strukturierung eines einheitlichen Vorgehens kann ein Algorithmus zum Husten- und Sekretmanagement genutzt werden (51) (siehe Abbildung 1). Es wird auf den Algorithmus für das Sekretmanagement bei nicht invasiver Beatmung bei neuromuskulären Erkrankungen hingewiesen (S2k-Leitlinie: Nicht invasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz. Revision 2017, S. 109, Abbildung 13.2 (51)).

Bei vermindertem Hustenstoß ohne Zeichen der Sekretstase ist eine Schulung des Patienten und Betreuenden zu erwägen, um bei vermehrter Sekretbildung gewappnet zu sein.

Bei vermindertem Hustenstoß mit Zeichen der Sekretstase, gekennzeichnet durch Atemnotepisoden, thorakalem Engegefühl, Sättigungsabfall um >3% gegenüber dem Ausgangswert

oder einem Abfall der Sättigung  $< 95\%$  ist ein umgehendes manuell assistiertes Abhusten notwendig.

Ist das Abhusten von Sekret trotz manuell assistierten Hustentechniken nicht gesichert, der maximale Hustenstoß unter den assistierten Hustentechniken  $< 270\text{l/min}$ , dann ist der Einsatz eines In/Exsufflators gerechtfertigt.



**Abbildung 1:** Fluss-Diagramm für Husten- und Sekretmanagement (modifiziert nach der DGP-Leitlinie Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz Revision 2017 (51))

### 1.3. Atelektasenprophylaxe

Atelektasen sind häufige Komplikationen bei Menschen mit einer Querschnittlähmung (52). Die Entstehung ist bei Menschen mit einer Querschnittlähmung meist bedingt durch die Kombination aus einer Minderbelüftung infolge der Bronchokonstriktion oder -obstruktion durch Sekretverhalt, verminderter inspiratorischer Kapazität bei Abnahme der Kraft der inspiratorischen Muskulatur und, insbesondere in der Akutphase der Querschnittlähmung durch Pleuraergüsse (52). Obschon Studien mit hohem Evidenzgrad zur Vermeidung dieser Komplikationen fehlen, können dennoch folgende Empfehlungen gegeben werden (53):

- Eine effiziente Sekretmobilisation durch pflegerische, physiotherapeutische und/oder apparativ assistierte Maßnahmen zum Offenhalten der Luftwege
- Die Verwendung eines Bauchgurtes (Abdominal Belt) verbessert die Zwerchfellfunktion durch Vergrößerung der Appositionszone (ideal im Sitzen oder in 70° Stehtischposition) und führt damit im Rollstuhl zu einer Verbesserung der Inspiration und zu einem effizienteren Husten (38, 54)

#### **Empfehlung 2 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Die Messung der maximalen inspiratorischen Kapazität und des maximalen Hustenstoßes soll bei allen Menschen mit einer Querschnittlähmung erfolgen, bei denen auf Grund der Lähmungshöhe eine verminderte Kraft der Atemmuskulatur vermutet werden kann und die deswegen ein erhöhtes Risiko für einen Sekretverhalt aufweisen.

### 1.4. Mit dem Schlaf zusammenhängende Atmungsstörungen

Atemstörungen im Schlaf, wie die obstruktive und zentrale Schlafapnoe oder eine alveoläre Hypoventilation, sind bei Menschen mit einer Querschnittlähmung häufiger als bei der Normalbevölkerung (55, 56). Insbesondere bei Menschen mit einer Tetraplegie sind Atemstörungen im Schlaf innerhalb des ersten Jahres nach Lähmung bei ca. 60% vorhanden (57). Ursachen, die auch in Kombination wirksam werden, sind eine vermehrte Obstruktion der oberen Luftwege durch Hypertrophie der Halsmuskulatur, Spastizität der Atemhilfsmuskulatur, der erhöhte intraabdominale Druck, reduzierte Lungenvolumina, der Gebrauch von zentral wirksamen Schmerz- und/oder antispastischer Medikation und die Adipositas infolge von Inaktivität (58). Neben akuter Hyperkapnie durch mangelnden willkürlichen Einsatz der noch vorhandenen Atemhilfsmuskulatur kann sich wie bei Menschen mit neuromuskulären Erkrankungen eine chronische Hyperkapnie entwickeln, die dann auch eine Reduktion des hyperkapnischen Atemantriebs bedingt (59). Die Symptome bei Menschen mit einer Tetraplegie mit obstruktivem Schlaf-Apnoe-Syndrom sind neben den typischen Symptomen wie Tagesmüdigkeit, Schläfrigkeit (60) und Blutdruckveränderungen (61) auch neurokognitive Beeinträchtigungen wie verminderte Aufmerksamkeit, Konzentrations- und Lernfähigkeits- sowie Gedächtnisleistungsdefizite (62).

#### **Therapie:**

Zur Therapie schlafassoziierter Atemstörungen haben sich je nach zugrundeliegender Atmungsstörung die CPAP und auto-CPAP Therapie (Continuous Positive Airway Pressure), die Bilevel-PAP (Positive Airway Pressure) Therapie und die adaptive Servoventilation etabliert. Bei Menschen mit einer Tetraplegie konnte im Vergleich zu nicht-querschnittgelähmten Menschen gezeigt werden, dass niedrigere CPAP Druckeinstellungen zur erfolgreichen Therapie benötigt werden (bei 69% der Menschen mit einer Tetraplegie  $<10\text{cmH}_2\text{O}$ ) (63). Es gilt jedoch, die verminderte CPAP-Therapie-Adhärenz bei dieser Patientengruppe zu beachten (58). Die CPAP-Adhärenz ist besser bei älteren Patienten mit höherem Apnoe-Hypopnoe-Index, höherem BMI und mit ausgeprägter Tagessymptomatik, welche sich typischerweise in einer erhöhten Schläfrigkeit mit Tendenz zum ungewollten Einschlafen, zusätzlich vermehrter Müdigkeit bei unerholsamem Schlaf,

morgentlichen Kopfschmerzen und mangelnder Konzentrationsfähigkeit zeigen kann. Insbesondere bei Menschen mit einer Tetraplegie werden Sicherheitsaspekte bei der Wahl und der Handhabung der Maske relevant und können zu Einschränkungen in der Therapieauswahl führen. In einer randomisiert kontrollierten Studie konnte gezeigt werden, dass bei akuter Tetraplegie mit nächtlicher Atemstörung eine (A)CPAP Therapie die Schläfrigkeit tagsüber verbessern konnte, nicht jedoch die neurokognitive Dysfunktion (64).

Die Wahl des Modus der Atemunterstützung (CPAP; ASV; Bilevel-PAP) ist grundsätzlich identisch derjeniger bei nicht querschnittgelähmten Menschen. Die Erfahrung zeigt, dass bei hoher Querschnittlähmung die CPAP Therapie, insbesondere bei Notwendigkeit von höheren Druckniveaus gelegentlich nicht toleriert wird wegen der damit verbundenen erhöhten Atemarbeit bei gleichzeitig verminderter Kraft der Atemmuskulatur (65). Gegebenenfalls ist in diesen Situationen ein Wechsel auf eine Bilevel-PAP Therapie in Erwägung zu ziehen.

Es ist die eigenständige Handhabung der Maske sicherzustellen, insbesondere das sichere Entfernen der Maske, allenfalls durch individuelle Anpassungen und bei nicht ausreichender Hand- und Fingerfunktion die Sicherung der Alarmpöglichkeit oder die Durchführung und Überwachung durch eine Hilfsperson.

Neben einer Rampenfunktion (ein langsamer Druckaufbau über einen längeren Zeitraum bis der Therapiedruck erreicht ist) empfinden gerade Menschen mit einer Tetraplegie das Einschalten des CPAP-Gerätes über ein Antriggern durch die Nase als angenehm. Weiterhin sollte eine Anfeuchtung der Atemluft erfolgen, um die Luftwege optimal zu befeuchten und eine vermehrte Bildung von zähem Sekret zu vermeiden.

### **Schlafqualität unter Beatmung:**

Eine während der Erstbehandlung sorgfältig adaptierte Beatmungsform, unabhängig ob druck-, volumenkontrolliert oder zwerchfellstimuliert, führt im Regelfall zu einer ausreichenden Schlafqualität. Lediglich die durchgehend mit einem Phrenicusnervenstimulator (PNS) therapierten Patienten zeigen bei Rückführung in eine externe Überdruckbeatmung signifikante Schlafqualitätsdefizite (66).

### **Screening:**

Trotz häufigen Tagessymptomen als Folge der Atemstörungen im Schlaf wird das Schlafapnoe-Syndrom und die schlafbezogene Hypoventilation häufig nicht diagnostiziert und bleibt unbehandelt (67). Beobachtete Apnoen, ausgeprägtes Schnarchen, die Tagesschläfrigkeit (ermittelt mit der Epworth sleepiness scale oder dem Berlin-Fragebogen), eine arterielle Hypertonie, oder fehlende Blutdruckabsenkung nachts sind Gründe für eine weitere Abklärung in einem Zentrum mit Schlaflabor und Erfahrung in der Langzeitbeatmung (stufenweises Vorgehen analog den Empfehlungen der Leitlinie der DGP (51), Polygraphie, Polysomnographie, kontinuierliche SaO<sub>2</sub>- und PtcCO<sub>2</sub>-Messung). Bei Menschen mit einer Tetraplegie ist innerhalb des ersten Jahres nach Lähmungseintritt auch bei geringer oder fehlender Tagessymptomatik eine Abklärung zu erwägen (68).

Bei hoher Querschnittlähmung finden sich häufiger auch zentrale nächtliche Atemstörungen. Zur korrekten Klassifizierung und Bestimmung des Ausmaßes der nächtlichen Atemstörung wird eine Polysomnographie empfohlen. Es ist sinnvoll, gleichzeitig eine Kapnographie durchzuführen. Ferner ist eine Polysomnographie zu empfehlen, um die Schlafstadien zu beurteilen. Die schlafbezogenen Atmungsstörungen treten zuerst im REM-Schlaf auf (69).

#### **Empfehlung 3 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Ein Screening auf schlafbezogene Atemstörungen soll bei Menschen mit einer Querschnittlähmung frühzeitig durchgeführt werden.

## 2. Akute respiratorische Insuffizienz

Die Einschränkung der Atempumpe bei akuter Querschnittlähmung führt in Abhängigkeit von der Läsionshöhe und in Kombination mit thorakoabdominalen Zusatzverletzungen häufig zu einer protrahierten hypoxämischen- oder ventilatorischen Insuffizienz. Aus diesen Gründen ist eine zügige Entwöhnung von der Beatmung häufig nicht möglich. Bei höheren Querschnittlähmungen ergibt sich aus den oben aufgeführten querschnittspezifischen Besonderheiten, wie insbesondere dem Sekretmanagement, eine enger gefasste Indikation zur invasiven Beatmung, während bei tieferer Lähmungshöhe der Weg über eine nicht invasive Beatmungsform alternativ in Erwägung gezogen werden kann.

### 2.1. Tracheotomie

Die Tracheotomie bei akuter Tetraplegie wird empfohlen:

- Bei motorisch kompletter Tetraplegie entsprechend AIS (American Spinal Injury Association Impairment Scale) A und B (70) (siehe Anhang 1) und bestehender Ateminsuffizienz
- Bei einer VC  $\leq$  500ml
- Bei einem Injury Severity Score (ISS)  $>$ 32

Eine Früh-Tracheotomie (<10 Tage nach Lähmungseintritt) verkürzt sowohl die Aufenthaltszeit auf der Intensivstation (ICU) als auch den gesamten Beatmungszeitraum (ein erfolgreiches Weaning vorausgesetzt). Unbeeinflusst davon zeigen sich sowohl die Pneumonierate als auch die Gesamtdauer der querschnittspezifischen Behandlung (71). Die Tracheotomie kann dilatativ oder plastisch-chirurgisch erfolgen. Vorteile sind die Zurücknahme der Analgosedierung und damit die frühere Eingliederung des wachen, beatmeten Patienten in die ersten Phasen der querschnittspezifischen rehabilitativen Therapien (z.B. Mobilisation in den Rollstuhl, Sprechtraining, orale Nahrungszufuhr und ggf. Weaning).

Bezüglich der kurz- und langfristigen Komplikationen dilatativer und plastisch-chirurgischer Tracheotomien zeigen sich unterschiedliche Studienergebnisse (46, 72, 73). Bei entsprechender klinischer Erfahrung und nach der zu erwartenden Beatmungsdauer können somit beide Methoden Anwendung finden.

Menschen mit einer Tetraplegie mit hohem Lähmungsniveau können vereinzelt auch in der Akutphase NIV-beatmet werden (42) oder frühzeitig extubiert und anschließend NIV-beatmet werden (74). Dieses Vorgehen bleibt jedoch erfahrenen Zentren vorbehalten, da ansonsten das Auftreten von Re-Intubationen und Re-Tracheotomien erhöht ist (75).

Bei dauerhaft invasiv beatmeten Patienten soll entsprechend der aktuellen S2k Leitlinie „Nichtinvasive und invasive Beatmung“ der DGP (Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e.V. (51)) das Tracheostoma stabil sein. (76) In der Regel sind dies operativ angelegte, epithelialisierte Tracheostomata. In Ausnahmefällen kann auch ein stabiles, nicht-epithelialisiertes Tracheostoma ausreichend sein.

Bei Kanülenwechseln, insbesondere bei Wechsel der Kanülenart oder -größe und vor der Dekanülierung soll eine endoskopische Kontrolle durchgeführt werden (77).

Nach einer Tracheotomie sollte die Möglichkeit der Dekanülierung frühzeitig und regelmäßig evaluiert werden.

### Dekanülierung:

Wann immer eine Dekanülierung bei Menschen mit einer Querschnittlähmung angestrebt wird, ist ein strukturiertes Vorgehen sinnvoll. Hierzu kann auf das detaillierte Dekanülierungsschema der DMGP im Anhang (siehe Anhang 2) verwiesen werden.

**Empfehlung 4 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Bei ateminsuffizienten Menschen mit einer Querschnittlähmung soll die Indikation zur Tracheotomie individuell gestellt werden unter dem Aspekt eines frühzeitigen Beginns der querschnittspezifischen Rehabilitation.

## 2.2. Frühe Mobilisation

Zusätzliche Risikofaktoren bei der Akut- und Langzeitbeatmung von Menschen mit einer Querschnittlähmung sind Pneumonien (78), Dekubitalgeschwüre (79) und Thromboembolien (80). Deshalb wird eine frühe Mobilisation dieser Patienten schon auf ICU- und Intermediate Care-Stationen (IMC) (79) unter Berücksichtigung der dazu notwendigen apparativen und personellen Voraussetzungen empfohlen.

## 3. Invasive Beatmung

Bei Menschen mit einer Querschnittlähmung, die infolge einer längerdauernden ventilatorischen Insuffizienz einer invasiven Beatmung bedürfen sind Besonderheiten hervorzuheben. Siehe auch Kapitel 14 Querschnittlähmung der S2k Leitlinie der DGP: Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz, Revision 2017 (51).

### 3.1. Ventilationseinstellungen

Die Ziele bei der Wahl des Beatmungsmodus für Menschen mit einer Querschnittlähmung sind:

- Ausreichende Oxygenierung und CO<sub>2</sub> Eliminierung bei subjektivem Wohlbefinden
- Verhinderung von Atelektasen
- Möglichkeit der Phonation unter Beatmung

#### **Druck- und volumenkontrollierte Modi:**

Zur Beantwortung der Frage, ob vorzugsweise volumenkontrollierte oder druckkontrollierte Beatmungsverfahren gewählt werden sollen, gibt es keine verlässlichen Studien (76). Beide Methoden können somit bei entsprechender Expertise und klinischen Gegebenheiten gewählt werden. Wird druckkontrolliert beatmet, sollte ein Mindest-/Sicherungsvolumen hinterlegt werden, da Spastiken und Lagerung unmittelbar das Tidalvolumen sinken lassen können.

Von biomechanischen Überlegungen ausgehend sind druckkontrollierte Beatmungsformen zur Verhinderung von Atelektasen und zur möglichen Kompensation bei Leckagebeatmung (um die Sprechfähigkeit des Patienten zu ermöglichen) gegenüber der volumenkontrollierten Beatmung von Vorteil.

#### **Zielvolumen und Hypokapnie:**

Welches Zielvolumen mit dem eingestellten inspiratorischen Druckniveau anzustreben ist, wird unterschiedlich beurteilt. Nach den aktuell gültigen Empfehlungen soll das Zielvolumen innerhalb der Grenzen zwischen 6-8ml/kg Idealkörpergewicht liegen (81). In der Vergangenheit wurden auf das ideale Körpergewicht bezogen in der Akutphase 10-15ml/kg empfohlen (82). Diese hohen Tidalvolumina sind bei teilweise bereits Jahrzehnten dauerbeatmeten Menschen mit einer Tetraplegie noch zu finden. In der aktuellen Praxis der deutschsprachigen Querschnittgelähmtenzentren liegt das Zielvolumen bei 8 bis maximal 10ml/kg Idealkörpergewicht. Dabei kann zur Atelektasenprophylaxe bei blockierter Trachealkanüle ein PEEP von 5-6cmH<sub>2</sub>O

gewählt werden.

Eine Normokapnie wird angestrebt. Häufig ist aber eine Hypokapnie zu beobachten, an die sich der beatmete Mensch mit einer Tetraplegie gewöhnt. Daraus kann subjektive Dyspnoe unter Normokapnie resultieren.

Bei langzeitbeatmeten tetraplegischen Patienten mit einliegender Trachealkanüle konnten folgende Vorteile einer häufig vorkommenden Hyperventilation beobachtet werden (83, 84):

- Verbesserung der Sprechfähigkeit
- Verhinderung von Atelektasen
- Ermöglichung von schwankenden Minutenvolumina, ohne eine Hypoxämie zu erleiden
- Verhinderung einer Abnahme der statischen Compliance
- Verhinderung von subjektiver Luftnot unter Beatmung

Allgemeine Beobachtungen bei der Langzeitbeatmung mit hohen Tidalvolumina zeigen, dass die resultierende Hypokapnie mit respiratorischer Alkalose renal kompensiert wird, so dass in der Regel normwertige pH-Werte resultieren. Die theoretischen negativen Auswirkungen einer Hypokapnie (z.B. reduzierter zerebraler Blutfluss durch Vasokonstriktion mit Erniedrigung der Krampfschwelle, kardiale Rhythmusstörungen) waren im Langzeitverlauf nicht zu beobachten (83).

### **Zusammenfassung:**

Somit ergeben sich aus der Literatur folgende Empfehlungen zu Beatmungsformen für invasiv langzeitbeatmete und lungengesunde Menschen mit einer Tetraplegie:

- Verwendung druckkontrollierter Beatmungsformen mit relativ hohen Tidalvolumina (beginnend mit 8-10ml/kg Idealkörpergewicht)
- Verwendung eines Sicherheits-/Mindestvolumens unter druckkontrollierter Beatmung, da Spastiken und Lagerung unmittelbar das Tidalvolumen sinken lassen können
- Bedingt durch vegetative Dysregulationen (Temperaturdysregulation, Kreislaufdysregulation etc.) entsteht häufig die Notwendigkeit Parameter (z.B. Inspirationsdruck oder Beatmungsfrequenz) der Situation anzupassen
- Eine Hypokapnie wird toleriert, wenn Luftnot unter Normokapnie auftritt
- Zur besseren Phonation und Vermeidung von trachealen Läsionen sollte patientenindividuell eine möglichst lange Entblockungszeit der Trachealkanüle unter Beatmung ermöglicht werden

#### **Empfehlung 5 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Unter der invasiven Beatmung für Menschen mit einer Querschnittlähmung sollen folgende Ziele erreicht werden:

- Ausreichende Oxygenierung ( $\text{paO}_2 \geq 60\text{mmHG}$ )
- Eine Hypokapnie wird toleriert, wenn Luftnot bei Normokapnie auftritt
- Subjektives Wohlbefinden
- Verhinderung von Atelektasen

## 3.2. Kommunikation und Phonation

Insbesondere invasiv beatmete Menschen mit Querschnittlähmung sollen die Möglichkeit haben unter Beatmung sprechen zu können, und dies auch schon auf ICU- und IMC-Stationen (siehe Abbildung 2). Neben den Vorteilen der besseren Kommunikation und der höheren Lebensqualität kann dieser Zuwachs an laryngealer Wahrnehmung den Schluckakt verbessern und damit zusätzlich auch Aspirationen verhindern (85, 86).

### Phonation unter Beatmung:

Die Unfähigkeit über Sprache zu kommunizieren, stellt für den invasiv dauerbeatmeten oder anteilig über Tag beatmeten Patienten eine deutliche Einschränkung der Teilhabe im Alltag dar. Das laute und deutliche Phonieren unter Beatmung bei mäßiger oder nicht vorhandener Schluckstörung ist grundsätzlich möglich und erlernbar (87-89). Hierzu gibt es drei Möglichkeiten:

1. Leckagebeatmung
2. Leckagebeatmung unter Einsatz von Sprechventilen in Beatmungssystemen (sog. Phonationsventile)
3. Einsatz von Sprechkanülen
  - a. Gefensterte Trachealkanülen mit Innenkanüle („Seele“)
  - b. Nicht-gefensterte Trachealkanülen mit subglottischer Lufteinleitung

### Leckagebeatmung:

Bei einer Beatmung mit Trachealkanüle und geblocktem Cuff ist der Luftstrom unilateral in Richtung Tracheo-Bronchialbaum gerichtet. Entlüftet man den Cuff (Leckage) unter kontrollierter Beatmung strömt Luft zusätzlich auch retrograd neben dem Kanülenschaft durch die Stimmritze, so dass je nach Flowstärke des Luftstromes eine Phonation möglich ist – auch in der Ausatemphase (90, 91). Hierbei ist grundsätzlich zu beachten, dass der maschinell eingestellte PEEP nicht aufrecht erhalten wird, die alveoläre Ventilation durch den erhöhten Inspirationsdruck dennoch gewährleistet werden kann unter entsprechender Anpassung von Druck oder Volumen. Ein erhöhtes PEEP-Niveau (zwischen 10 und 12cmH<sub>2</sub>O) führt zu einem höheren Luftstrom in der Expiration, so dass hierdurch eine deutlichere und lautere Phonation erreicht werden kann (92-95). Der durch den erhöhten PEEP erzeugte Dauerluftstrom wird von manchen Patienten als störend empfunden oder nicht toleriert. Ein Bilevel-Beatmungs-Modus weist gegenüber einer assistierten kontrollierten Beatmungsform in dieser Situation Vorteile für die Sprechfähigkeit auf (93).

### Leckagebeatmung unter Einsatz eines Phonationsventils:

Bei Zwischenschaltung eines Phonationsventils (dabei muss zwingend der Cuff entblockt sein) wird die Phonationsmöglichkeit verbessert, indem bei der Ausatmung keine Luft durch die Kanüle entweicht und somit das gesamte Ausatemvolumen die Stimmritze durchströmt. Hierbei muss auf ausreichend Platz für die entweichende Ausatemluft neben der Kanüle geachtet werden, da die Ausatemluft nur noch durch die oberen Atemwege entweichen kann (z.B.: Kanüle mit geringerem Außendurchmesser, weniger Volumen des entblockten Cuff, Fensterung in der Kanüle). Eine Beurteilung des Ausatemdruckes mittels eines Druckmanometers kann in diesen Situationen hilfreich sein. Auf diese Art ergibt sich zusätzlich der Vorteil, dass das Phonieren nahezu gleich kräftig in der Ein- und Ausatemphase möglich ist (82-86).

### Sprechkanülen:

- a) Gefensterte Trachealkanülen mit Innenkanüle („Seele“)

Es gibt eine Vielzahl an Trachealkanülen, bei denen durch eine Fensterung oder Siebung in der Biegung der zum Phonieren notwendige Luftstrom zu den Stimmlippen verbessert werden soll. Es muss jedoch auf die korrekte Lage der Fensterung geachtet werden und diese ggf. auch endoskopisch kontrolliert werden. Zur effektiven Ventilation mit geblocktem Cuff ohne

Phonationsmöglichkeit kann die Fensterung durch eine geschlossene Innenkanüle aufgehoben werden.

b) Nicht-gefensterte Trachealkanüle mit subglottischer Luftzufuhr

Sollte ein Entblocken oder der Einsatz einer Sprechkanüle nicht möglich sein, so besteht die Möglichkeit, eine blockbare Kanüle mit subglottischer Absaugungsmöglichkeit zu nutzen, um Luft über diesen Kanal oberhalb des Cuff einzuleiten, anstatt darüber abzusaugen. Auf diese Weise kann die Phonation unabhängig vom Atemzyklus kontinuierlich trainiert werden. Wenn eine Entblockung der Kanüle nicht möglich ist, ergibt sich beim Einsatz dieser Kanülenart in Abhängigkeit von der Nähe des Lufteinleitungskanals zum oberen Cuffpol oft das Problem, dass Speichel vor dem Kanäleingang liegt und hierdurch eine „blubbernde“ Sprache entsteht. Der notwendigerweise einzuleitende Luftstrom wird zudem von manchen Patienten als sehr störend empfunden, wenngleich in Sprechpausen der Luftstrom durch einen Fingertip unterbunden werden könnte – dies ist jedoch für Menschen mit einer Tetraplegie mit hohem Lähmungsniveau ohne fremde Hilfe nicht nutzbar. Insgesamt wird diese Kanülenart nur von wenigen Patienten genutzt und über einen längeren Zeitraum toleriert.

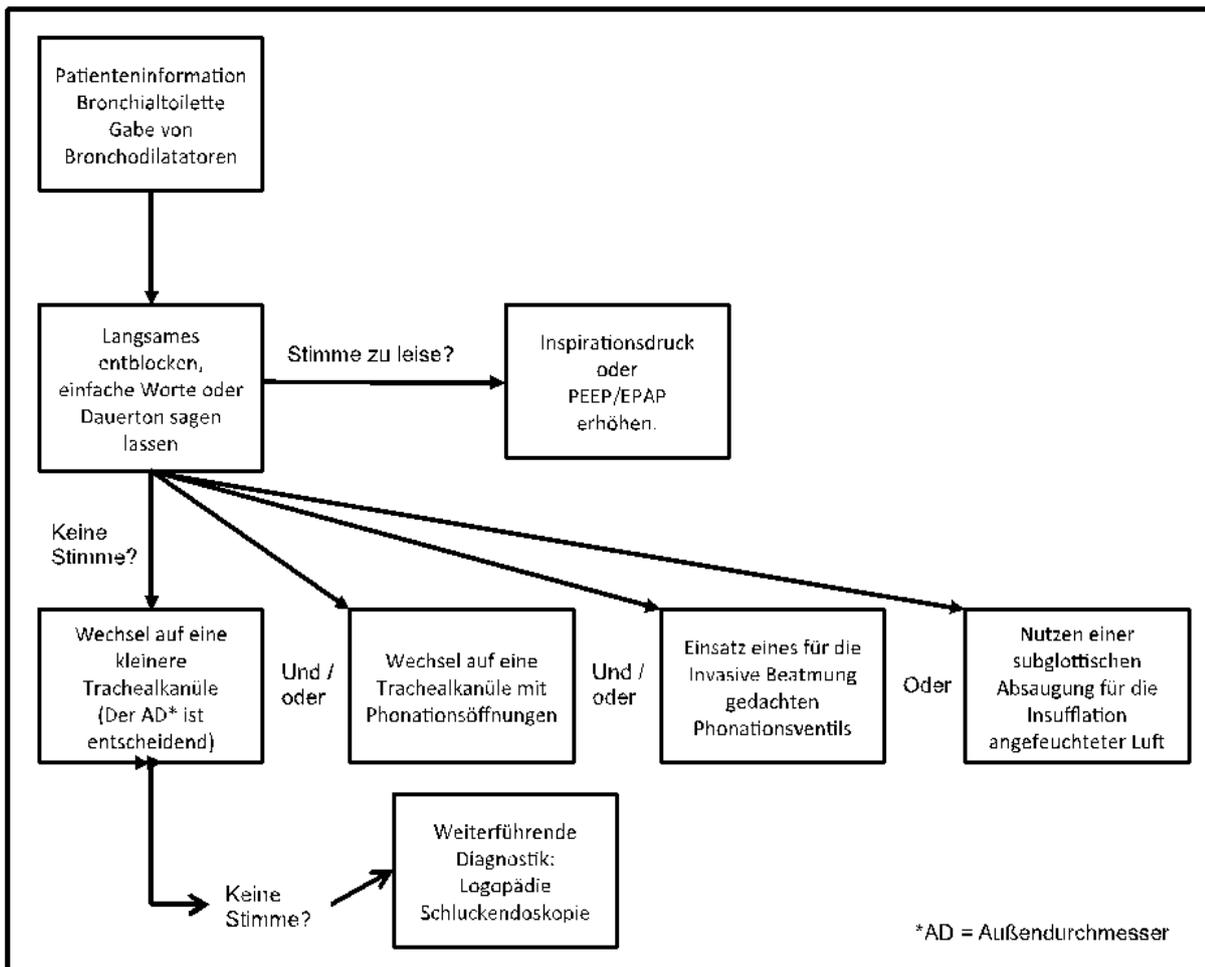


Abbildung 2: Praktische Empfehlung zum Phonieren.

**Empfehlung 6 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Die Möglichkeit zur Phonation soll bei invasiv beatmeten tetraplegischen Patienten frühzeitig geschaffen werden, da dies die natürliche Art und Weise bedeutet, mit Mitmenschen in Kontakt zu treten.

Unter invasiver Beatmung kann Phonieren häufig mit einer einfachen Leckagebeatmung ermöglicht werden.

### 3.3. Ventilator assoziierte untere Atemwegsinfekte

Menschen mit einer Querschnittlähmung unter invasiver Beatmung bei Versagen der Atempumpe und gleichzeitig vermindertem Hustenvermögen sind häufiger Träger multiresistenter Erreger in den Luftwegen. Bei den gramnegativen Erregern zeigt sich v.a. eine Erhöhung der Resistenzgrade durch die Eskalation der intravenösen Antibiotikatherapien insbesondere bei langzeitbehandelten Patienten. Dazu verweisen wir auf die aktuell vom Robert Koch-Institut herausgegebenen Veröffentlichungen zum Umgang mit Antibiotika (96).

Die Ventilator-assoziierte Tracheobronchitis (VAT) ist gekennzeichnet durch Fieber, vermehrtes Sekretvolumen, positive Kultur des Bronchialsekretes ohne Nachweis von radiologisch erkennbaren Infiltraten. Sie kann auch als Zustand zwischen einer Kolonisation der unteren Luftwege und einer Ventilator-assoziierten Pneumonie (VAP) bezeichnet werden (97). Die Inzidenz beträgt zwischen 1.4-11% (98). Häufig nachzuweisende Erreger sind: *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* und *Acinetobacter baumannii* (99). Dies beinhaltet auch mehrfach resistente Keime (100). Die VAT ist mit einer längeren mechanischen Ventilation, einer längeren Aufenthaltsdauer auf der ICU und einer höheren Sterblichkeit assoziiert (98). Antibiotika können neben der intravenösen Gabe auch inhalativ in der Behandlung der VAT erfolgreich sein (101, 102).

Inhalative antibiotische Therapieformen können bei rezidivierenden Infekten der Atemwege und Bronchopneumonien, sowie bei rezidivierendem Sekretverhalten infolge Exazerbationen von Tracheobronchitiden in Analogie zu den Therapieempfehlungen bei „Non-CF-Bronchiectasis“ (103) und der S3-Leitlinie "Epidemiologie, Diagnostik und Therapie erwachsener Patienten mit nosokomialer Pneumonie" (103, 104) erwogen werden.

### 3.4. Weaning

Das Weaning bei Menschen mit einer Tetraplegie ist aus vielen Gründen eine Herausforderung für die Behandlungszentren. Es handelt sich dabei meist um ein prolongiertes Weaning. Der Inhalt der S2k Leitlinie „Prolongiertes Weaning“, Revision 2020 der DGP (105) sowie der Inhalt der DGNR Leitlinie Prolongiertes Weaning in der neurologisch-neurochirurgischen Frührehabilitation (106) wird im Folgenden berücksichtigt (77).

Da es sich hier im Regelfall um ein prolongiertes, diskontinuierliches Weaning bei tracheotomierten Patienten handelt (107, 108), beträgt die in der Literatur angegebene Liegezeit auf den spezialisierten Stationen zwischen 40 und 292 Tagen (109). Prolongierte Weaningverläufe sind somit die Regel, da u.a. rezidivierende pulmonale Infekte den Weaningprozess verzögern (108, 110). Die Versagerquote nach Langzeitweaning beträgt ca. 30% (107, 109). Parallel dazu können vegetative Dysregulationen wie Hypotonien, Bradykardien, Temperaturregulationsstörungen und autonome Dysreflexien den Behandlungsverlauf erschweren (111, 112). Frühzeitig sollte im Weaningprozess der Transfer auf eine NIV in Betracht gezogen werden.

#### **Pathophysiologische Aspekte:**

Alle Menschen mit einer hohen Querschnittlähmung sind in ihrer Atmung eingeschränkt (110). Dies liegt seltener an (vor-) bestehenden Lungenerkrankungen, sondern hauptsächlich an der Beeinträchtigung der muskulären Atempumpe. Häufig verbleibt das Zwerchfell, welches alleine die Atemarbeit leisten muss (113). Dabei ist zu bedenken, dass bereits durch eine kurzfristige Beatmung unter Analgosedation die Zwerchfelltätigkeit zusätzlich beeinträchtigt werden kann (114-116). Es gilt, diesen Muskel und seine (Rest-) Funktionen behutsam, methodisch und vor allem ohne Ermüdung zu trainieren. Dieses Training bewirkt, dass bestimmte Muskelfasertypen, welche zunächst schnell ermüden, nun eine ausdauernde Leistung erbringen können (117, 118). Dieses Phänomen ist bei Menschen mit einer Querschnittlähmung erstmals nach Stimulation des Phrenicuskerven eingehend untersucht worden (119). Dadurch können Respiator-freie Zeiten kontinuierlich und schrittweise verlängert werden. Wichtig ist, den Ermüdungspunkt des Zwerchfells

(sog. fatigue-point) nicht zu erreichen, da sonst das Weaning nachhaltig verzögert wird oder überhaupt nicht möglich ist (113, 115, 120).

### **Charakteristika von Menschen mit einer Querschnittlähmung:**

Die Mehrzahl der Patienten mit eingeschränkter Atemfunktion sind Menschen mit einer Tetraplegie oder -parese mit einer Querschnittlähmung Niveau C0–C7, AIS A, B oder C (121). Seltener finden sich aber auch Menschen mit einer Paraplegie mit zusätzlichen Begleitverletzungen und/oder -erkrankungen, welche die Atemleistung beeinträchtigen.

### **Ergänzende Ausschlusskriterien für den Beginn des Weaningprozesses:**

Bei einer Querschnittlähmung sind insbesondere folgende Situationen zu beachten, bei denen ein Weaning nicht begonnen resp. fortgesetzt werden kann:

- *Persistierende* komplette Zwerchfelllähmung
- Unbehandelte, hochgradig ausgeprägte autonome Dysreflexie
- Nicht kompensierte, die Atmung signifikant beeinträchtigende Rumpfspastik
- Jegliche Form von Sepsis

### **Praktischer Ablauf des Weaningprozesses:**

Das Weaning wird tagsüber meist in liegender Position begonnen. Die Gründe dafür sind, dass Menschen mit einer Querschnittlähmung in dieser Position sowohl stabilere Blutdruckverhältnisse als auch ein höheres AZV vorweisen (20, 21). Ab einer Spontanatmungszeit von 20min/h kann das Weaning aufgrund des trainierten Zwerchfelles im Regelfall auch in sitzender Position durchgeführt werden (z.B. im Rollstuhl) (122). Eine Überwachung des AZV und eine Kapnometrie sind zu gewährleisten.

Während der Nacht wird die Atemmuskulatur des Patienten bis zum nächsten täglichen Trainingszyklus durch einen kontrollierten Beatmungsmodus möglichst komplett entlastet.

Das Weaningkonzept wird tagsüber wie folgt durchgeführt: Ein Weaningzyklus wird über 12 Stunden geplant (z.B. 8-20 Uhr). Idealerweise gibt es für jede Stunde einen Anteil Spontanatmung und einen Anteil Entlastungszeit am Beatmungsgerät (angepasst an die Bedürfnisse des Patienten und der Möglichkeiten der Weaningstation), es handelt sich hierbei um ein diskontinuierliches Weaning. Pro Tag ergeben sich somit bis zu 12 Trainingseinheiten. Für die Bestimmung der Steigerung des Anteils der Spontanatmung ist die Messung des gemittelten AZV (spirometrisch gemessenes durchschnittliches AZV über 20 Spontanatemzüge) aus Erfahrung hilfreich.

Weitere Einflussgrößen sind VC, Atemfrequenz, Ausmaß der Zwerchfellbeweglichkeit (Sonografie) und Prüfung des Hustenstoßes. Wichtige Abbruchkriterien der Spontanatmung sind Abnahme des AZV (mittleres AZV minus 30%) sowie die Entwicklung vegetativer Symptomatik (Spastik, Dysreflexie). Die Steigerungseinheiten sind mittels dieser Parameter und aufgrund der klinischen Erfahrung der Behandler jeden Tag zu überprüfen und ggf. zu korrigieren. Ist das Weaning am Tag erfolgreich abgeschlossen, d.h. der Patient für ca. eine Woche tagsüber respiratorisch stabil, wird das Weaning in der Nacht wie folgt begonnen: Pro Tag wird die Spontanatmungszeit hier um eine Stunde verlängert. Dabei hat der Patient die Wahl, ob die Zeiten in die Nacht hinein verlängert werden oder ob er in den frühen Morgenstunden früher vom Beatmungsgerät diskonnektiert werden möchte. Ist der Patient 24 Stunden entwöhnt, so sollte über mindestens drei Tage beobachtet werden, ob die Spontanatmung stabil ist. Wenn sich im nächtlichen Weaning, oder in den Tagen nach dem Weaning, eine respiratorische Insuffizienz andeutet, sollte der Transfer auf eine NIV erfolgen. Für den Weaningprozess haben sich standardisierte Protokolle als hilfreich erwiesen und sollten im Rahmen der Dokumentation verwendet werden (122).

Die Option einer Umstellung auf die NIV bei bleibender, ventilatorischer Insuffizienz - auch bei langen Beatmungszeiten pro Tag – ist wert, geprüft zu werden, wenn dadurch eine Verbesserung der Lebensqualität erwartet werden kann. Neben der Nasenmaske kann dazu auch eine Mundstückbeatmung eingesetzt werden.

**Empfehlung 7 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Im Weaning soll darauf geachtet werden, eine Überlastung der noch funktionstüchtigen Atemmuskulatur bei hoher Querschnittlähmung zu vermeiden.

## 4. Elektrostimulation Zwerchfell

Es handelt sich um eine von außen gesteuerte, artifizielle und kontrollierte Beatmung und im Gegensatz zur invasiven Druck- oder Volumenbeatmung um einen Modus der Negativ-Druck Beatmung analog der Spontanatmung.

### 4.1. Einführung

Bei einer Rückenmarkläsion und/oder bei angeborenen oder erworbenen zentralen Atemregulationsstörungen können die nachfolgenden Systeme zur Stimulation des Zwerchfells implantiert werden. Es gibt zwei verschiedene Systeme, die direkte und indirekte Zwerchfellstimulation. Beide Systeme eignen sich für die Langzeitstimulation und für die Anwendung über 24h. Positive Auswirkungen bezüglich Infektrate, der Lungenbelüftung, vor allem in den posterior-basalen Lungensegmenten und eine Verbesserung des Sekretmanagement sind belegt. Darüber hinaus konnte eine Verbesserung der Phonation, des Schluckaktes, sowie des Geruch- und Geschmacksinns nachgewiesen werden (119, 123). Die indirekten Systeme können auch bei Patienten mit respiratorischer Restfunktion und einseitig eingesetzt werden (119).

Ausschlusskriterien sind schwerwiegende kognitive Beeinträchtigung, ein stark vorgeschädigtes Herz- oder Lungenparenchym, außerdem präfinal erkrankte Patienten. Voraussetzungen zur Implantation sind intakte Alpha-Motoneurone (2. Motoneuron) beider unbeschädigter Phrenicusnerven, sowie ein funktionsfähiger Zwerchfellmuskel.

Geringere pulmonale Komplikationsraten und die Verbesserung der Sprechfähigkeit sind beschrieben (119, 123, 124). Langzeitstudien zeigten eine hierdurch bedingte niedrigere Mortalitätsrate gegenüber den konventionell beatmeten Patienten (119, 123).

Aufgrund der Ersparnis von Verbrauchsartikeln sind diese Systeme nach ca. 3-5 Jahren kostengünstiger gegenüber der invasiven Beatmung (119).

Darüber hinaus werden weitere negative Aspekte der invasiven Positivdruckbeatmung vermieden, so vorrangig die Zwerchfellmuskelatrophie und auch die Folgen der unphysiologischen Veränderung der thorakalen Druckverhältnisse mit einem verminderten venösen Rückstrom.

### 4.2. Zwerchfellstimulation - Indirekte Stimulation (PNS)

Modelltypen (zum Zeitpunkt der Erstellung der Leitlinie):

- Atrostim Yukka® / Atrotech, Finnland
- Avery System®/ Avery Biomedical Devices Inc., USA
- Thoma System®/ MedImplant, Österreich (besitzt zum Zeitpunkt der Erstellung der Leitlinie keine CE-Zulassung)

Der PNS ist seit Mitte der sechziger Jahre eine Möglichkeit der Negativ-Druckbeatmung von Patienten mit respiratorischer Insuffizienz (125).

Es werden Elektroden an beide Zwerchfellnerven in Höhe des 3.- 4. Interkostalraums mediastinal oder in der Skalenuslücke implantiert und sämtliche Empfänger und Kabel intrakorporal eingesetzt. Die Stimulation erfolgt bei geschlossenen Hautverhältnissen transcutan durch Induktion. Thorakale Blutungen und Pneumothoraces sind mögliche peri- und postoperative Komplikationen. Verletzungen des Phrenicus-Nervs sind beschrieben.

Die Schwellen- und Reizstromwerte verändern sich in Langzeitstudien nicht, so dass die o.g. Systeme zur Langzeitbeatmung geeignet sind (126). Die Beatmungszeiten werden international aufgrund der besonderen Art der Stimulation in über 50% der Fälle mit 24h/Tag angegeben.

### 4.3. Zwerchfellstimulation - Direkte Stimulation (DPS)

Modelltypen (zum Zeitpunkt der Erstellung der Leitlinie):

- NeurX<sup>®</sup> / Synapse Biomedical, USA
- TransAeris<sup>®</sup> / Synapse Biomedical, USA

Hierbei werden Elektroden laparoskopisch direkt in den Zwerchfellmuskel in die Nähe des Eintritts des N. phrenicus eingebracht und die Kabel aus dem Abdomen herausgeleitet (127). Peri- und postoperativer Kapno- und Pneumothorax, Kabelbrüche und Schmerzen während der Stimulation sind mögliche Komplikationen (128, 129).

Trotz einliegender Elektroden können MRT-Untersuchungen durchgeführt werden. Dauerstimulationen über 24h sind möglich, ebenso ein Einsatz bei teilbeatmeten und partiell spontanatmenden Patienten. Eine Unterstützung im Weaning oder zur Vermeidung einer maschinellen Beatmung bei zunehmender respiratorischer Erschöpfung oder bei Phasen akuter Ateminsuffizienz ist mit passageren Systemen (TransAeris<sup>®</sup>) durchführbar (130).

#### **Empfehlung 8 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Aufgrund der Vorteile der Verfahren der Elektrostimulation des Zwerchfells soll deren Anwendung überprüft werden.

Auf das mögliche Auftreten von obstruktiven Apnoen im Schlaf soll bei der Anwendung geachtet werden.

## 5. Nicht-invasive Beatmung (NIV)

Die NIV kann die Intubation und Tracheotomie mit den damit verbundenen Komplikationen vermeiden. Die körpereigene Filterung und Immunabwehr sowie die optimale Erwärmung und Befeuchtung der Atemluft bleiben dadurch weitgehend erhalten. Die NIV wird sowohl zur Langzeit-Therapie als auch zunehmend zur akuten Behandlung der respiratorischen Insuffizienz zur Unterstützung der Atempumpe genutzt (131).

Die NIV soll in der akuten Situation der Erschöpfung einer über viele Jahre ausreichenden Spontanatmung eingesetzt werden, um die akute Situation zu überbrücken und zur Spontanatmung zurückzukehren.

Sie kann im Verlauf einer Intensivtherapie einer erstmalig erworbenen Querschnittlähmung nach notwendiger invasiver Beatmung nach Extubation zur Überleitung zur spontanen Atmung Unterstützung leisten. Sie ist der Tracheotomie und invasiven Beatmung dann unterlegen, wenn die Kontextfaktoren der Intensivtherapie erkennen lassen, dass eine längerfristige Ventilation

erforderlich ist. In diesen Fällen verkürzt die frühzeitige (< 10 Tage) Tracheotomie die Zeit der intensivmedizinischen Behandlung (132). Sie dient zur nächtlichen Entlastung bei Spontanatmung tagsüber. Sie kann in Kombination von Masken- und Mundstückbeatmung auch bei langen Beatmungszeiten pro Tag eingesetzt werden (133).

### **NIV in der Akutsituation:**

Patientenbezogene Einschränkungen der Anwendung der NIV und insbesondere die eingeschränkte Kooperationsmöglichkeit, müssen in der Akutsituation nach einer Querschnittlähmung beachtet werden. Erfahrung und Training in der Anwendung, sowohl beim ärztlichen Personal als auch bei den Pflegenden entscheiden über Erfolg und Dauer der Anwendung. Die zwingenden Voraussetzungen für eine erfolgreiche NIV wie der funktionelle Erhalt der Gesichts- und Schlundmuskulatur bleiben. Ebenso die Kontraindikationen eines nicht zu beherrschenden Sekretverhalts sowie abdominelle Komplikationen einer möglichen Aerophagie. Abbruchkriterien unterliegen den Kriterien der intensivmedizinischen Beatmungstherapie und orientieren sich an den Blutgasanalysen und den dazu notwendigen Beatmungsdrücken.

### **NIV in der chronischen Situation der Querschnittlähmung:**

Bei Menschen mit einer Querschnittlähmung tritt eine akute Ateminsuffizienz häufiger auf. Gründe dafür sind Pneumonie, Atelektase, Pleuraerguss, nicht pulmonale Komplikationen wie Sepsis, lange Inaktivität bei Liegezeiten infolge Dekubitalgeschwür, abdominale Komplikationen und eine langsam progrediente Erschöpfung der Atempumpe mit zunehmendem Lebensalter (134).

Häufig manifestiert sich eine Ateminsuffizienz zuerst während des Schlafes. Das verminderte aktive AZV mit geringen Tidalvolumina führt nicht nur zur Hypoventilation (verstärkt im REM-Schlaf infolge der verminderten Aktivität der Atemhilfsmuskulatur), sondern auch zur Begünstigung von obstruktiven Apnoen infolge der verminderten Dehnung der oberen Luftwege (135).

Gestörter Schlaf, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schläfrigkeit tagsüber, Blutdruckdysregulation, intellektuelle Leistungseinbuße mit Beeinträchtigung von Konzentration und Gedächtnis sind die Folgen.

Insbesondere nächtliche Atemstörungen können zu plötzlichem Erwachen mit Atemnot, gestörtem Schlaf, morgendlichen Kopfschmerzen, Müdigkeit und Schläfrigkeit tagsüber, arterieller Hypertonie und zu intellektueller Leistungseinbuße mit Beeinträchtigung des Konzentrations- und Gedächtnisvermögens führen.

Bisher sind keine verlässlichen Prädiktoren einer zunehmenden ventilatorischen Insuffizienz bekannt. Bei neuromuskulären Erkrankungen gilt, dass eine erhöhte Wachsamkeit für das Vorliegen einer ventilatorischen Insuffizienz geboten ist, falls die "20-30-40 Regel" vorliegt: VC geringer als 20 ml/kg Idealkörpergewicht; maximaler inspiratorischer Druck ( $P_{i_{max}}$ ) geringer als 30cmH<sub>2</sub>O; maximal expiratorischer Druck ( $P_{e_{max}}$ ) geringer als 40cmH<sub>2</sub>O (136) oder die FVC < 40% soll beträgt.

Voraussetzungen für die Durchführung der NIV sind (137):

- Funktioneller Erhalt der Gesichts- und Schlundmuskulatur
- Stabile Herz- und Kreislauffunktion
- Fehlende schwere Bewusstseinsstörung
- Fehlendes Gesichtstrauma oder chirurgische Eingriffe im Gesicht
- Erfahrung des Betreuerteams

Kontraindikationen sind:

- Fehlende Kooperation des Patienten
- Erhöhte Aspirationsgefahr bei fehlenden Schutzreflexen
- Verlegungen der oberen Atemwege
- Sekretverhalte, die mit nichtinvasiven Mitteln nicht beherrscht werden können

- Dekubitalgeschwüre im Bereich der Maskenflächen
- Ileus aufgrund der möglichen Aerophagie

Initial ist eine NIV über 24h/Tag möglich und kann häufig im weiteren Verlauf stufenweise reduziert werden. Um eine Langzeit-NIV bei Querschnittlähmung über 24h pro Tag durchzuführen, bedarf es einer hohen Patientcompliance und einer hohen Expertise des Behandlungsteams. Dies sowohl in der klinischen wie auch der außerklinischen Betreuung. Bei Einleitung einer NIV sind bei Menschen mit einer Querschnittlähmung, abhängig von der Höhe der Läsion, folgende Aspekte zu beachten (42, 138):

- Bei eingeschränkter bis fehlender Hand-/Armfunktion kann die Maske nur durch eine Hilfsperson oder speziellen Anpassungen aufgesetzt und entfernt werden. Insbesondere zu beachten ist die Möglichkeit zur raschen eigenständigen Entfernung der Maske in Notfallsituationen
- Bei Verwendung von Mund-Nasen- und Vollgesichtsmasken besteht u.a. die Gefahr des Erstickens (z.B. bei Erbrechen oder Fehlfunktion des Beatmungsgerätes) und/oder einer Aspiration, insbesondere im Schlaf. Ist also eine Entfernung durch den Patienten nicht möglich, muss eine qualifizierte Pflegekraft die Beatmung durchgehend im Rahmen einer Behandlungspflege überwachen. Eine zusätzliche technische Überwachung (Pulsoximetrie) ist notwendig
- Die Alarmmöglichkeit durch den Patienten kann durch die NIV eingeschränkt werden (z.B. lautes Rufen oder Bedienen des Patientenrufes) und muss technisch sichergestellt werden
- Die Hilfestellung beim Abhusten muss auch während der Zeitphasen der NIV-Applikation abhängig von den Bedürfnissen des Patienten sichergestellt sein
- Das Bedienen des Gerätes durch den Patienten oder die Betreuenden muss überprüft und sichergestellt werden
- Ängste des Patienten insbesondere unangenehme Hyperästhesien im Gesichtsbereich (oft die letzten innervierten Areale) und die mangelnde Kommunikation mit Hilfe der mimischen Muskulatur während der Beatmung sollen berücksichtigt werden
- Die Aerophagie kann gelegentlich den intraabdominalen Druck zusätzlich erhöhen mit der Gefahr des Unwohlseins, Erbrechens oder eines Ileus. Ob Nasenmasken in diesem Zusammenhang einen Vorteil gegenüber Vollgesichtsmasken (sog. full-face-Masken) haben, ist in der Literatur nicht dokumentiert. Arbeiten, die sich mit den Unterschieden der beiden Maskentypen beschäftigen, beurteilen die Effektivität der Masken anhand der Kriterien Schlafqualität und dem Ergebnis der alveolären Ventilation. Die Patienten beurteilten Vor- und Nachteile des jeweils anderen Maskensystems unterschiedlich und zogen häufiger das jeweils andere System dem gewohnten vor. Objektiv ergab sich kein signifikanter Unterschied der Wirksamkeit, sodass die individuelle Anpassung des Interface und die Einstellung der Beatmungsparameter unter Blutgaskontrolle entscheidend sind (139, 140). In einer Studie zum Langzeit-follow-up der NIV wird die Aerophagie als ein häufiges Vorkommnis beschrieben, das nur selten zu ernsthaften Komplikationen führt und im Wesentlichen vom Inspirationsdruck abhängig ist (141).

## 5.1. Ventilationseinstellungen

Für die NIV gibt es eine Vielzahl geeigneter Beatmungsgeräte, welche häufig unterschiedliche Beatmungsmodi bieten. Dabei liegt keine einheitliche Nomenklatur der Modi vor.

Die Einstellungen der Beatmungsmodi sind bei Menschen mit einer Querschnittlähmung individuell zu wählen. Einstellungen, welche kontrollierte Beatmungsparameter beinhalten, werden dabei häufiger eingesetzt als sie bei nicht gelähmten Patienten gewählt würden. Dies gilt auch für Menschen mit einer Querschnittlähmung mit geblähtem Abdomen. Das Hinterlegen eines Sicherungs-/Minimalvolumens kann sinnvoll sein.

Gleichzeitig vorliegende Lungengerüsterkrankungen müssen beachtet werden. Die optimale Einstellung der Beatmungsparameter bei chronischer Ateminsuffizienz infolge hoher

Querschnittslähmung ist nicht bekannt. Daher ist es sinnvoll den Leitlinien für die NIV zu folgen und die Beatmungsparameter sowohl der Lähmungshöhe anzupassen, der Lungenerkrankung, den Thoraxdeformitäten (lähmungstypische Kyphoskoliose), der abdominalen Druckerhöhung (Koprostase und Meteorismus) und dem Ausmaß der Dyspnoe sowie der Blutgasanalyse (142, 143).

Des Weiteren wird gerade bei Menschen mit einer hohen Tetraplegie nachts eine Atemantriebsstörung beobachtet. Daher muss wegen der möglicherweise ausbleibenden Triggerung eine ausreichend hohe Hintergrund- (sog. Backup-) Frequenz gewählt werden.

Es ist vorteilhaft die NIV unter Monitorüberwachung adäquat zu titrieren mit dem Ziel der Normoventilation. Zur Verbesserung der Toleranz kann dies protrahiert oder stufenweise erfolgen.

Die Einleitung einer NIV bei Querschnittslähmung sollte initial mit einer Nasen- oder Nasenpolstermaske unter aktiver Befeuchtung tagsüber erfolgen (138). Ist eine Mund-Nasen-Maske bei Menschen mit einer Tetraplegie notwendig, so muss permanent eine Überwachung durch eine dauerhaft anwesende qualifizierte Pflegekraft und per Pulsoxymetrie erfolgen und die Alarmmöglichkeit sichergestellt werden. Es sollte mit niedrigen Drücken begonnen werden, beispielsweise einer Druckunterstützung von 8-12cmH<sub>2</sub>O und einem expiratorischen Druck von 4-8cmH<sub>2</sub>O. Erhöhte expiratorische Druckeinstellungen sollten bei gleichzeitigem Vorliegen von obstruktiven Apnoen erwogen werden. Die Drücke sind sukzessiv zu steigern, bzw. anzupassen, bis sich ein Therapieerfolg, idealerweise eine Normalisierung des Gasaustausches einstellt. Dies sollte mit Pulsoxymetrie, einer transcutanen PCO<sub>2</sub>-Messung und/oder direkter Messung der Blutgase validiert werden.

Für eine maschinelle Atemunterstützung qualifizieren sich folgende Patienten:

- Arteriell  $\text{PaCO}_2 > 45 \text{ mmHg}$  tagsüber unter Berücksichtigung der Beschwerdesymptomatik
- Bei Vorliegen einer nächtlichen Hypoventilation unter folgenden Bedingungen (144):
  - Falls während des Schlafes ein Anstieg des arteriellen  $\text{PaCO}_2$  oder  $\text{tcCO}_2 > 55 \text{ mmHg}$  für  $> 10$  Minuten vorliegt
  - Falls ein Anstieg des  $\text{PaCO}_2$  ( $\text{tcCO}_2$ ) während des Schlafes von  $> 10 \text{ mmHg}$  gegenüber dem Wachzustand zu einem Wert von  $> 50 \text{ mmHg}$  für minimal 10 Minuten vorliegt

Zusätzlich kann bei entsprechender Fragestellung die polygraphische oder polysomnographische Überwachung empfohlen werden (145).

Nach der initialen Einstellung sind kurzfristige Kontrolluntersuchungen zur Erfolgskontrolle notwendig. Dabei sollen neben der Erfassung der Symptomatik mittels strukturierter Fragebögen (z.B. Epworth sleepiness scale; Berlin Fragebogen) Compliance-Daten erfasst werden (z.B. durchschnittliche nächtliche Nutzungsdauer; Dokumentation der Nächte mit Nutzung der Therapie).

Anschließend ist eine kombinierte technische und medizinische Kontrolle nach drei und sechs Monaten und bei stabilem Verlauf in 6-12 monatlichen Abständen empfehlenswert.

Ziele der nächtlichen NIV sind die Normalisierung des arteriellen  $\text{PaCO}_2$  tagsüber, eine Normoventilation unter der NIV nachts ( $\text{AHI} < 5/\text{h}$ ), eine stabile O<sub>2</sub>-Sättigung und die Verbesserung der Tagessymptomatik.

Im Langzeitverlauf wird ein Überlebensvorteil, eine Verbesserung oder idealerweise eine Normalisierung der Blutgase tagsüber und ein Vorteil bezüglich der Lebensqualität angestrebt (146).

**Empfehlung 9 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Bei der NIV bei Menschen mit einer Querschnittslähmung sollen folgende Punkte beachtet werden:

- Tägliches Sekretmanagement
- Tägliches assistiertes Husten
- Sichere Maskenhandhabung
- Sicherstellung der Alarmierungsmöglichkeit
- Adäquate, kontinuierliche Überwachung der Beatmung
- Sicherstellung der Kommunikationsfähigkeit

## 6. Überleitung

In Deutschland trat unter der Voraussetzung des Versorgungsstärkungsgesetzes vom 23.07.2015 der Rahmenvertrag Entlassmanagement am 01.10.2017 in Kraft (147).

Im Ergebnis wurden Vertragsinhalte festgesetzt, die den Anspruch der Versicherten auf ein Entlassmanagement gegenüber dem Krankenhaus, sowie auf Unterstützung des Entlassmanagements durch die Kranken- bzw. Pflegekasse umsetzen.

Die spezifischen Aspekte der Überleitung von hochgelähmten Patienten mit Beatmung werden im Folgenden dargestellt und sollen eine Standardisierung in der Versorgung der Patienten im Rahmen des Entlassmanagements ermöglichen.

Die im Vordergrund stehende Querschnittlähmung bedingt einen lebenslangen medizinischen Behandlungsbedarf, der sich aus den Behandlungszielen ergibt.

Die allgemeinen Behandlungsziele sind:

- Das Überleben zu sichern
- Den somatischen Zustand zu verbessern, mindestens jedoch eine Verschlechterung einschließlich möglicher Komplikationen zu verhindern und ggf. zu behandeln
- Den psychischen Zustand zu verbessern, mindestens jedoch eine Verschlechterung zu vermeiden
- Die Komplikationen der Querschnittlähmung zu minimieren

Die spezifischen Behandlungsziele sind:

- Tägliche Mobilisation in den Rollstuhl
- Wiederherstellung/Erhaltung der Sprechfähigkeit (auch unter Beatmung)
- Sicherstellung der Kommunikation
- Wiederherstellung der größtmöglichen Selbständigkeit in Aktivitäten des täglichen Lebens, der beruflichen und sozialen Integration

### 6.1. Pflegerische Versorgung

Die permanente personelle Krankenbeobachtung durch entsprechend qualifizierte Krankenpflegekräfte und die Sicherung aller punktuell erforderlichen krankheitsspezifischen Pflegemaßnahmen ist durch einen Pflegedienst, welcher nach § 80 SGB XI und SGB V über Qualitätsrichtlinien zur Struktur-, Prozess- und Ergebnisqualität verfügt, zu gewährleisten (gilt für die Bundesrepublik Deutschland). An die fachpflegerische Qualifikation des ambulanten Dienstes ist ein hoher medizinischer Anspruch zu stellen, da beatmete Menschen mit Querschnittlähmung vielfältige und komplexe pflegerische Herausforderungen bieten.

Es sollte im Einzelfall gewährleistet sein, dass bei bestehender Beatmungspflicht und mobilisationserschwerenden Faktoren (z.B. Adipositas, Kontrakturen, Spastik, Dysregulationen) während der Durchführung der Grundpflege (große Körperpflege, Transfers usw.) eine zweite Person zur Verfügung steht.

Zur Sicherung der Qualität der Langzeitversorgung beatmeter Menschen mit Querschnittlähmung sind insbesondere folgende Aspekte wichtig (148). Die Evaluation der Gesamtsituation des Patienten vor der Überleitung nach Hause:

- Die strukturierte und kontrollierte Schulung der Mitarbeiter aller Behandlungsgruppen
- Die Beherrschung des Risiko-Managements im Notfall
- Interventionen, die nach Entlassung zu bewältigen sind

- Die Benennung eines strukturierten Follow-up Programms zur Überwachung der Qualitätsstandards insbesondere in der spezifischen Beatmungspflege

Zur Minimierung des Risikos von Zwischenfällen sollen folgende Faktoren berücksichtigt und das Verhalten entsprechend geschult werden (148):

- Sicherstellung eines Ansprechpartners in Behandlungs- und Beatmungszentren
- Alarmmanagement
- Maßnahmen zur Verhinderung von Diskonnektionen
- Stromversorgung und deren Sicherung auch bei Ausfällen
- Lückenloser und strukturierter Informationsaustausch mittels gemeinsamer oder gemeinsam geteilter Dokumentation
- Erstellung von individualisierten Check-Listen und deren regelmäßige Überprüfung

Angehörige, welche die Grund- oder Behandlungspflege ausüben möchten, können geeignet sein, die Pflege durchzuführen. Eine fachliche Eignung sollte jedoch überprüft werden. Die Schulung in theoretischem und praktischem Wissen in der Betreuung dieser Patienten stellt hohe Anforderungen. Insbesondere gilt es dabei zu bedenken, dass die Angehörigen in Notfallsituationen emotional betroffen sind und deshalb eine adäquate Reaktion in Frage gestellt sein könnte.

### **Versorgung im Arbeitgebermodell / Assistenzmodell:**

Betroffene, die das Arbeitgebermodell/ Assistenzmodell für sich als Versorgungsmodell gewählt haben, übernehmen selbständig und eigenverantwortlich die Auswahl ihrer persönlichen Assistenten sowie die Verantwortung für deren Befähigung. Die Hinzunahme externer Experten, die bezüglich des Krankheitsbildes und der therapeutischen Maßnahmen erfahren sind, wird zumindest zur Einarbeitung empfohlen (76).

Es muss weiter gewährleistet sein, dass bei bestehender Beatmungspflicht bei pflegerischen Verrichtungen immer genügend Pflegenden zur Verfügung stehen, um auch in schwierigen Situationen Hilfestellungen leisten zu können (149).

## **6.2. Technische Ausstattung**

Die dauerbeatmeten Menschen mit einer Querschnittlähmung sind in allen Aktivitäten des täglichen Lebens in jeder Hinsicht und ständig auf fremde Hilfe angewiesen. Zur Sicherung der Vitalfunktionen ist daher neben der Krankenbeobachtung eine möglichst lückenlose technische Überwachung erforderlich. Zusätzlich kann so eine häufige querschnittlähmungstypische Komplikation, die autonome Dysreflexie, detektiert werden, denn diese bietet typischerweise einen Wechsel von Tachy- zu Bradykardie bei persistierender Hypertonie (150, 151), sowie einen initialen Anstieg des CO<sub>2</sub> mit nachfolgendem Abfall der peripheren Sauerstoff-Sättigung (152). Außerdem können respiratorische Entgleisungen (z.B. Hypoxie, Hyperkapnie) wiederum eine dysreflektorische Episode auslösen (153), was wiederum die Kontrolle dieser Werte erforderlich macht.

### **Pulsoximetrie und Kapnographie/Kapnometrie:**

Eine Versorgung mit einem Pulsoximeter bei teil- und vollbeatmeten Menschen mit einer Querschnittlähmung ist erforderlich, weil der Patient eine lebensbedrohliche Sauerstoff-Entsättigung nicht bemerkt, diese nicht mitteilen oder selbständig beseitigen kann.

Folgende Patientengruppen sollen mit einer Möglichkeit zur nicht invasiven PCO<sub>2</sub>-Messung ausgestattet werden:

- Instabile Beatmungssituation bei autonomer Dysreflexie (150, 151), Spastik, erhöhtem

- intraabdominalen Druck bei Meteorismus und Koprostase
- Bei implantiertem PNS oder DPS (aufgrund fehlender Volumetrie)
- Bei tagesformabhängiger Spontanatemleistung mit Gefahr der Erschöpfung der Atempumpe

### **Respirometer:**

Eine Versorgung mit einem Respirometer ist bei der Beatmung durch einen PNS-/DPS (aufgrund der fehlenden Volumetrie) und zur Spontanatemungskontrolle bei intermittierender Beatmung (Überprüfung der Atemleistung) indiziert.

### **Versorgung mit einem zweiten Beatmungsgerät:**

Seit vielen Jahren hat sich eine klinische Praxis des Einsatzes von Zweitgeräten bewährt, die sich in klinischen Empfehlungen und Richtlinien von Experten, Expertengruppen und Fachgesellschaften niederschlägt (76, 154-157). Insbesondere sei auf die S2k Leitlinie der DGP, Nichtinvasive und invasive Beatmung als Therapie der chronischen respiratorischen Insuffizienz, Revision 2017 (51) hingewiesen.

Daraus ergeben sich folgende Empfehlungen:

Ein Zweitgerät (sog. „back-up“) muss bei einer täglichen Beatmungsbedürftigkeit von  $\geq 16$  Stunden vorhanden sein. Die Indikation für ein zweites Beatmungsgerät und einen externen Akku ist in anderen Fällen unabhängig von der täglichen Beatmungszeit immer dann gegeben, wenn aufgrund querschnittspezifischer Komplikationen und Besonderheiten jederzeit eine unvorhersehbare vollständige Abhängigkeit vom Beatmungsgerät eintreten kann.

Weiterhin ist die tägliche Mobilisation des Betroffenen in den Rollstuhl und damit Ermöglichung einer Teilhabe wesentliches Ziel der Behandlung, weshalb ein Zweitgerät, angepasst an die Rollstuhlsituation, mit einer entsprechenden Stromversorgung (zusätzlicher Akku) vorhanden sein muss. Ein mehrmaliger Wechsel pro Tag und Umstellung des Schlauchsystems inkl. Befeuchtungssystems von der nächtlichen Beatmung zur Beatmung im Rollstuhl gefährdet die Sicherheit und die Kontinuität der Beatmung.

Wird die Ventilation über eine PNS oder DPS (=Erstgerät) durchgeführt, ist ein zusätzliches Beatmungsgerät als Zweitgerät bei Ausfall der Stimulation oder in Stimulationspausen zwingend notwendig.

#### **Empfehlung 10 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

Die Mitarbeiter aller Behandlungsgruppen in der außerklinischen Versorgung sollen vor Überleitung von Menschen mit einer Querschnittlähmung in folgenden Punkten geschult werden:

- Autonome Dysreflexie
- Lagerung
- Spastik
- Notfallsituationen

## **7. Vorsorge / Nachsorge**

### **7.1. Warum lebenslange Nachsorge?**

Die lebenslange Nachsorge ist wichtig, um medizinischen Problemen vorzubeugen, frühzeitig zu diagnostizieren und den Rehabilitationsprozess im ambulanten Verlauf regelmässig zu überprüfen. Nach Entlassung aus der Erstrehabilitation werden im Idealfall regelmässige ambulante Nachkontrollen/ Standortbestimmungen durchgeführt. Somit soll der Übergang von der stationären

Behandlung in die Situation zu Hause ganzheitlich begleitet werden, aufkommende medizinische Probleme rechtzeitig erkannt und den Rehabilitationsprozess mit den Therapien, der sozialen und beruflichen Eingliederung weitergeführt werden. Das Wissen um die spezifischen Probleme im Langzeitverlauf und die Komplikationen nach einer Querschnittlähmung führte zur Entwicklung von umfassenden paraplegiologischen, strukturierten Jahreskontrollen. Das aktualisierte Konzept der Vorsorge und Nachsorge für Menschen mit einer Querschnittlähmung berücksichtigt die spezifischen Probleme dieser Patienten (158). Für die detaillierten Empfehlungen zur lebenslangen Nachsorge verweisen wir gerne auf die aktuelle AWMF-Leitlinie «Lebenslange Nachsorge 179-014» der DMGP.

### **Langzeitkomplikationen:**

Die in der Literatur angegebenen Komplikationen bei Menschen mit einer Querschnittlähmung zeigen deutliche Unterschiede zwischen beatmeten und nichtbeatmeten Menschen mit einer Tetraplegie. Während pulmonale Komplikationen für Menschen mit einer Beatmung typisch sind, finden sich das Dekubitalgeschwür, Schmerzen und Obstipation bei den nicht beatmeten Menschen mit einer Tetraplegie häufiger (108).

### **Aging:**

Die Lebensqualität nach Querschnittlähmung bleibt hoch und stabil, insbesondere auch im hohen Alter. Sie kann selbst im fortgeschrittenen Alter noch verbessert werden (159).

In der Normalbevölkerung ist eine Abnahme der Lungenfunktion mit zunehmendem Alter zu beobachten. Rauchende zeigen dabei einen rascheren Abfall der Lungenfunktion (160). Atemstörungen im Schlaf, insbesondere die obstruktive Schlafapnoe, treten mit zunehmendem Alter häufiger auf. Faktoren wie die Zunahme des Fettanteiles im Körper im Alter, die Abnahme der Elastizität der Gewebe, insbesondere die oberen Luftwege betreffend, und die Abnahme des Muskeltonus sind dabei begünstigende Faktoren (161). Habituelles Schnarchen ist häufiger, lauter und tritt bei Menschen mit einer Querschnittlähmung eher in jüngerem Alter auf als bei Fußgänger (162). Eine Schlafapnoe-Syndrom zeigt bei Menschen mit einer Querschnittlähmung gegenüber den Fußgängern eine höhere Prävalenz und tritt mit zunehmendem Alter häufiger auf (163).

Die altersbedingte Abnahme der FVC und des FEV<sub>1</sub> ist nicht durch die Höhe und das Ausmaß der Läsion bedingt. Neben dem Alter wird sie zusätzlich durch das Rauchen, durch den Nachweis einer pfeifenden Atmung, einer Gewichtszunahme und Abnahme der Atemmuskulatur beeinflusst (134).

Diese Resultate weisen auf Faktoren hin, die die Abnahme der Lungenfunktion mit zunehmendem Alter beeinflussen können (134):

- Gewichtskontrolle im Alter
- Nichtrauchen
- Atemmuskulaturtraining
- Behandlung einer zusätzlichen obstruktiven Ventilationsstörung

### **Mortalität:**

Die Todesursachen sind poststationär zu 90% lähmungsbedingt und meist pulmonaler Genese (164). Auffällig ist, dass beatmete Menschen mit einer Tetraplegie während ihrer Erstbehandlung eine deutlich niedrigere Mortalitätsrate aufweisen. Auf die Entlassung folgt eine vulnerable 2-Jahres-Phase. Überleben sie diese Phase, sind sie anschließend seltener mit Komplikationen belastet. Zu erklären ist dies mit der engmaschig monitorüberwachten stationären Erstbehandlung und der anschließenden außerklinischen Lernkurve von Patient, Angehörigen, Hausarzt und Pflegediensten nach der Entlassung (165).

## 7.2. Empfehlungen zur Prävention

### Therapie:

Regelmäßiges Belüften der Lunge bis zur MIC über Jahre führt zu einer geringeren Abnahme der Vitalkapazität. Der Zeitaufwand für diese präventive Maßnahme ist gering (166).

Erhalten oder Verbessern der Kraft der inspiratorischen Muskulatur (36), dieses Ziel kann durch regelmäßiges Krafttraining der inspiratorischen Atemmuskulatur erreicht werden:

- Täglich sind mindestens 10 Minuten intensives Training erforderlich (167)
- Am wirksamsten ist ein Training mittels inspiratorischem Widerstand (Kraft) (168) unterstützt durch spezifische Atemmuskeltrainingsgeräte
- Das Training (4-5mal/Woche) sollte möglichst intensiv (ca. 60-80% des maximalen inspiratorischen Widerstandes ( $P_{i\max}$ ) sein (169)

### Vermeidung von Hypoventilation und Atemstörungen nachts:

Bei typischer Konstellation und/oder Tagessymptomen (Schläfrigkeit, Einschlaf tendenz, Konzentrationsstörungen etc.) frühzeitige Evaluation mittels nächtlicher Polygraphie und transcutaner  $CO_2$  Messung ( $tcCO_2$ ), arterieller Blutgasanalyse tagsüber oder bei tracheotomierten Patienten mittels Kapnometrie.

### Impfungen:

- Jährliche Grippeimpfung
- Pneumokokkenimpfung
- Pertussis-Boosterimpfung
- COVID-19 Impfung (Boosterimpfung)

## 7.3. Verlaufskontrollen

Im Rahmen der lebenslangen Nachsorge soll die Atemfunktion, insbesondere bei Menschen mit einer Tetraplegie, durch Spirometrie und Messung der in- und expiratorischen Muskelkraft überprüft werden. Eine symptombasierte Suche (z.B. Polygraphie / Polysomnographie) nach Atemstörungen im Schlaf ist wegen der Häufigkeit und Zunahme im Alter empfehlenswert. Im Rahmen der lebenslangen Nachsorge sollte insbesondere bei Menschen mit höherem Lähmungsniveau die Kapazität, Sekret effizient abhusten zu können, regelmässig überprüft werden. Dazu dient die Messung des peak cough flow, der maximalen inspiratorischen Kapazität sowie die Überprüfung der assistierten und apparativ unterstützten Hustentechniken. Für die detaillierten Empfehlungen zur lebenslangen Nachsorge verweisen wir gerne auf die aktuelle AWMF-Leitlinie «Lebenslange Nachsorge 179-014» der DMGP.

### **Empfehlung 11 (Starke Empfehlung, Konsens 100%)**

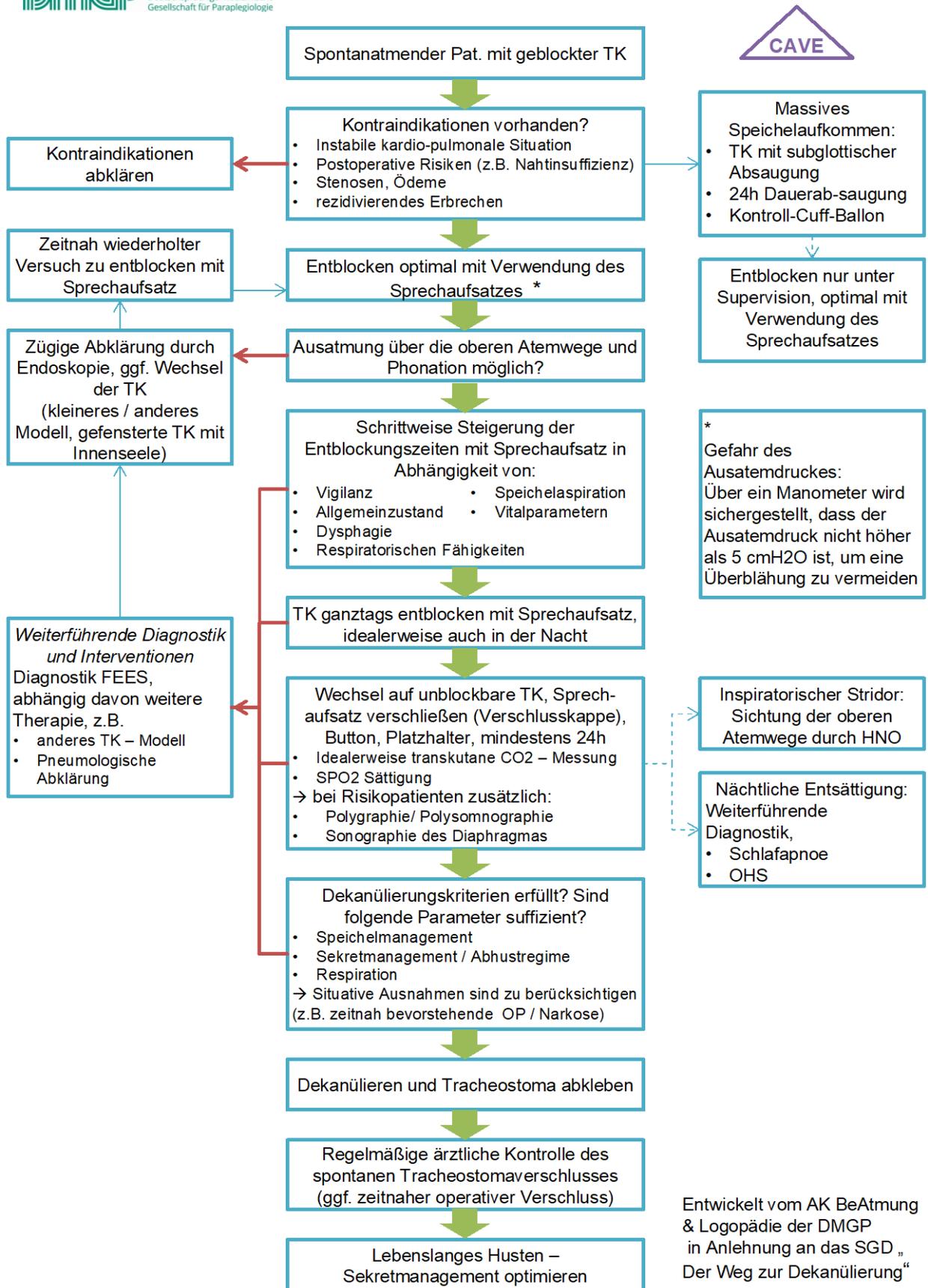
Vorsorge und Nachsorge sollen in einem Querschnittgelähmtenzentrum erfolgen.

## D. Anhang

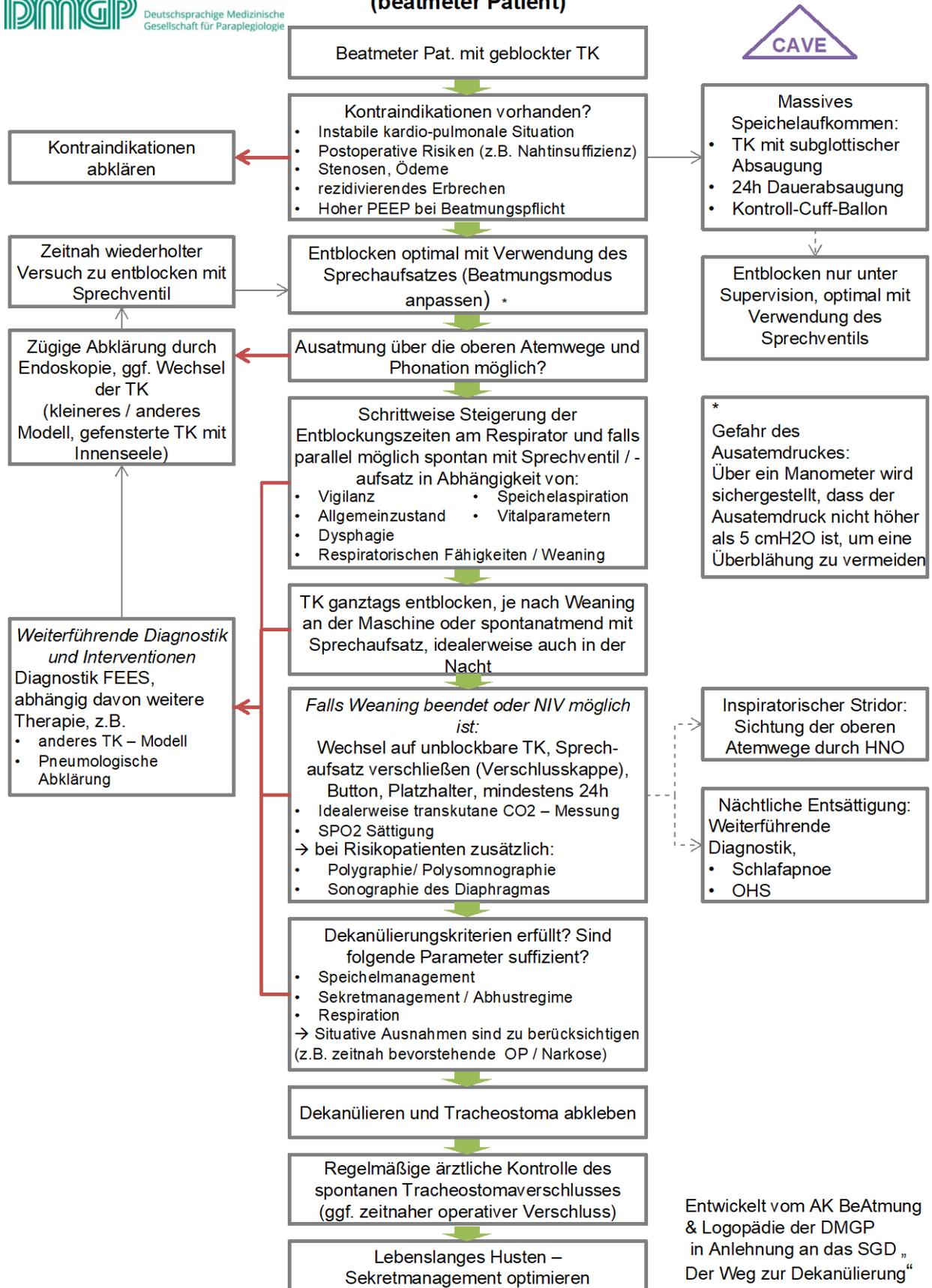
### 1. American Spinal Injury Association Impairment Scale

A	Komplett	Keine sensible oder motorische Funktion ist in den sakralen Segmenten S4-S5 erhalten.
B	Inkomplett	Sensible, aber keine motorische Funktion unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten; dehnt sich bis in die sakralen Segmente S4-S5 aus.
C	Inkomplett	Motorische Funktion ist unterhalb des neurologischen Niveaus erhalten und die Mehrzahl der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Muskelkraftgrad von kleiner als 3.
D	Inkomplett	Motorische Funktion ist unterhalb des Schädigungsniveaus erhalten und die Mehrheit der Kennmuskeln unterhalb des neurologischen Niveaus haben einen Muskelkraftgrad größer oder gleich 3.
E	Normal	Sensible und motorische Funktion ist normal.

## 2. Dekanülierungsschema



## Trachealkanülenmanagement bei ventilatorischer Insuffizienz (beatmeter Patient)



Entwickelt vom AK BeAtmung & Logopädie der DMGP in Anlehnung an das SGD „Der Weg zur Dekannülierung“

## Legende

<b>Cuff</b>	aufblasbarer Ballon, der zur Abdichtung der Trachealkanüle dient
<b>Entblocken</b>	Luftvolumen maximal mit einer Spritze aus dem Cuff entfernen
<b>FEES</b>	„Fiberoptic endoscopic evaluation of swallowing“; bildgebendes Verfahren in der Dysphagie-Diagnostik
<b>IV</b>	Invasive Ventilation; Beatmung über Tubus oder Trachealkanüle
<b>Kontroll- Cuff- Ballon</b>	Druckregulierender Ballon für das Cuffventil; hält den Druck des Cuffs konstant
<b>NIV</b>	Non-invasive Ventilation; Beatmung über eine Maske / Mundstück, zur Abgrenzung der IV
<b>OHS</b>	Obesitas Hypoventilationssyndrom; Atmungsstörung bei extremer Adipositas
<b>PEEP</b>	positiver endexpiratorischer Druck; Parameter unter Beatmung; bezeichnet den Druck, der am Ende der Ausatmung in der Lunge verbleibt
<b>Polygraphie</b>	Aufzeichnung einiger wichtiger schlafbezogener Körperfunktionen: Atmung, Schnarchen, Herzschlag, Körperlage, Bewegung und Sättigung
<b>Polysomnographie</b>	stationäre umfangreiche Untersuchungsmethode des Schlafes; misst Schlaftiefe, -verlauf und -qualität
<b>SAS</b>	Schlafapnoe-Syndrom; schlafbezogene Atmungsstörung, die zu Entsättigung und unbewussten Weckreaktionen in der Nacht führt
<b>Sprechventil</b>	lenkt die Ausatmung unter invasiver Beatmung wie ein Sprechaufsatz Richtung Larynx bei entblockter Trachealkanüle; Sprechaufsatz
<b>Stridor</b>	Geräusch, das auf eine Enge unterhalb (expiratorisch) und / oder oberhalb (inspiratorisch) des Kehlkopfes hinweist
<b>TK</b>	Trachealkanüle
<b>Tracheostomabutton</b>	Silikonstopfen zur kurzfristigen Abdichtung des offenen Tracheostomas
<b>Transkutane CO2-Messung</b>	Bestimmung des CO2-Wertes über einen längeren Zeitraum
<b>Weaning</b>	Prozess des Entwöhnens vom Respirator

Entwickelt vom AK BeAtmung  
& Logopädie der DMGP  
in Anlehnung an das SGD „  
Der Weg zur Dekanülierung“

### 3. Informationen zu dieser Leitlinie

#### Version 1.0

Anmeldung der Leitlinie an die AWMF:	2017/07
Letzte inhaltliche Überarbeitung:	2022/08/01
Gültigkeitsdauer der Leitlinie:	2027/08/01
Erstveröffentlichung:	2022/MM/DD
Überarbeitung von:	YYYY/MM/DD
Nächste Überprüfung geplant:	YYYY/MM/DD

#### Federführende Fachgesellschaft

Deutschsprachige Medizinische Gesellschaft für Paraplegiologie e.V. (DMGP)  
Postfach 35 04 30  
10213 Berlin

#### Beteiligte Fachgesellschaften

- Deutsche Gesellschaft für Kinder- und Jugendmedizin (DGKJ)
- Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung (DIGAB)
- Deutsche Gesellschaft für Neurologie (DGN)
- Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP)
- Schweizerische Gesellschaft für Pneumologie (SGP)
- Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM)
- Fördergemeinschaft für Querschnittgelähmte in Deutschland e.V.
- ParaHelp AG der Paraplegiker-Gruppe Nottwil, Schweiz

Die Verabschiedung der finalen Version hat durch die Vorstände aller beteiligten Fachgesellschaften stattgefunden.

#### Nicht berücksichtigte Fachgesellschaften/Organisationen

Initial in Erwägung gezogene, in der Folge nicht beteiligte Fachgesellschaften.

- Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI)
- Deutsche Gesellschaft für Pflegewissenschaft e.V. (DGP)
- Deutsche Gesellschaft für Physikalische und Rehabilitative Medizin e.V. (DGPRM)
- Gesellschaft für Pädiatrische Pneumologie e.V. (GPP)

Da die Auswahl der Leitlinienautor\*innen professionelle und wissenschaftliche Expertise im Themenbereich der Leitlinie repräsentieren, wurde auf die zusätzliche Einbindung der genannten Fachgesellschaften/Organisationen verzichtet.

Auf ein spezifisches pädiatrisches Kapitel wurde nach Rücksprache mit der GPP und SGPP (Schweizerische Gesellschaft für pädiatrische Pneumologie) verzichtet und die Beteiligung dieser Fachgesellschaften hat sich demzufolge erübrigt.

#### Leitlinienkoordination und Korrespondenzadresse

Dr.med. Franz Michel  
Facharzt Allgemeine Innere Medizin und Pneumologie  
Fähigkeitsausweis Tauchmedizin SUHMS  
Mitglied FMH  
Spitalstrasse 11A  
6004 Luzern

Tel: +41 (0) 79 751 70 45  
E-mail: [fr.michel@bluewin.ch](mailto:fr.michel@bluewin.ch)

### **Leitlinienautor\*innen**

F. Michel<sup>1</sup>, G. Ketter<sup>2</sup>, S. Tiedemann<sup>3</sup>, O. Marcus<sup>4</sup>, S. Hirschfeld<sup>5</sup>, M. Landscheid<sup>6</sup>, M.-C. Hallwachs<sup>7</sup>, A.M. Raab<sup>8,9</sup>

- <sup>1</sup> REHAB Basel, Basel, Schweiz (wiss. Beirat AK BeAtmung der DMGP, Mitglied Schweizerische Gesellschaft für Pneumologie, VR Parahelp)
- <sup>2</sup> BDH-Klinik Vallendar, Deutschland (Mitglied DMGP AK BeAtmung, Mitglied Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC), Mitglied Deutsche Gesellschaft für Neurologische Rehabilitation (DGNR), Mitglied Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI), Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung (DIGAB))
- <sup>3</sup> BG Klinikum Hamburg, Hamburg, Deutschland (Arbeitskreissprecher AK BeAtmung der DMGP, Mitglied Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin (DGP), Mitglied Deutsche Interdisziplinäre Gesellschaft für Außerklinische Beatmung (DIGAB))
- <sup>4</sup> BG Unfallklinik Frankfurt am Main gGmbH, Frankfurt, Deutschland (Mitglied DMGP AK BeAtmung, Mitglied Deutsche Gesellschaft für Chirurgie)
- <sup>5</sup> BG Klinikum Hamburg, Hamburg, Deutschland (Mitglied DMGP AK BeAtmung, Mitglied ISCoS, Mitglied DIGAB, Vorstand Sektion „Querschnittlähmung“, Ärztlicher Experte des Innovationsausschusses beim Gemeinsamen Bundesausschuss (G-BA) Berlin, wiss. Fachbeirat / Berater DFG, wiss. Beirat Münchener Außerklinischer Intensiv Kongress (MAIK) Komitee)
- <sup>6</sup> BG Unfallklinik Murnau, Murnau, Deutschland (Mitglied DMGP AK BeAtmung, Arbeitskreissprecher, Mitglied Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin e.V. (DIVI), Mitglied ISCoS, Mitglied DGSP, Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention, Mitglied DGOU, Mitglied DGU, Mitglied DGOOC)
- <sup>7</sup> Repräsentation Betroffenenperspektive (Mitglied DMGP AK BeAtmung Vertreterin der Menschen mit Beatmung in der DIGAB, Mitglied Fördergemeinschaft Querschnittgelähmter in Deutschland e.V.)
- <sup>8</sup> Clinical Trial Unit, Schweizer Paraplegiker Zentrum, Nottwil, Schweiz (Mitglied DMGP AK BeAtmung, Mitglied Physioswiss)
- <sup>9</sup> Berner Fachhochschule, Departement Gesundheit, Bern, Schweiz

Die Zusammensetzung der Leitlinienautor\*innen repräsentieren die professionelle und wissenschaftliche Expertise im Themenbereich dieser Leitlinie sowie die Perspektive der Betroffenen.

### **Danksagung**

Allen Mitgliedern des DMGP-Arbeitskreises „BeAtmung“ gebührt großer Dank für die Mitarbeit und Unterstützung während der Erstellung der Leitlinie.

### **Redaktionelle Unabhängigkeit (gemäß AWMF-Kriterien)**

Die Erstellung dieser Leitlinie wurde nicht finanziell unterstützt.

Die Autor\*innen haben erklärt, dass bei ihnen gemäß den AWMF-Kriterien keine Interessenkonflikte vorliegen. Erklärungen über Interessenkonflikte aller Arbeitsgruppenmitglieder können im Leitlinienreport eingesehen werden.

## 8. Literaturverzeichnis

1. Raab AM, Mueller G, Elsig S, Gandevia SC, Zwahlen M, Hopman MTE, et al. Systematic review of incidence studies of pneumonia in persons with spinal cord injury. *J Clin Med*. 2021;11(1).
2. Mueller G, de Groot S, van der Woude LH, Perret C, Michel F, Hopman MT. Prediction models and development of an easy to use open-access tool for measuring lung function of individuals with motor complete spinal cord injury. *J Rehabil Med*. 2012;44(8):642-7.
3. Linn WS, Adkins RH, Gong H, Jr., Waters RL. Pulmonary function in chronic spinal cord injury: a cross-sectional survey of 222 southern California adult outpatients. *Arch Phys Med Rehabil*. 2000;81(6):757-63.
4. Linn WS, Spungen AM, Gong H, Jr., Adkins RH, Bauman WA, Waters RL. Forced vital capacity in two large outpatient populations with chronic spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2001;39(5):263-8.
5. De Troyer A, Estenne M. The expiratory muscles in tetraplegia. *Paraplegia*. 1991;29(6):359-63.
6. Fujiwara T, Hara Y, Chino N. Expiratory function in complete tetraplegics: study of spirometry, maximal expiratory pressure, and muscle activity of pectoralis major and latissimus dorsi muscles. *Am J Phys Med Rehabil*. 1999;78(5):464-9.
7. Clay RD, Iyer VN, Reddy DR, Siontis B, Scanlon PD. The "Complex Restrictive" Pulmonary Function Pattern: Clinical and Radiologic Analysis of a Common but Previously Undescribed Restrictive Pattern. *Chest*. 2017;152(6):1258-65.
8. Bach JR, Saporito LR. Criteria for extubation and tracheostomy tube removal for patients with ventilatory failure. A different approach to weaning. *Chest*. 1996;110(6):1566-71.
9. Sancho J, Servera E, Diaz J, Marin J. Predictors of ineffective cough during a chest infection in patients with stable amyotrophic lateral sclerosis. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007;175(12):1266-71.
10. Brown R, DiMarco AF, Hoit JD, Garshick E. Respiratory dysfunction and management in spinal cord injury. *Respir Care*. 2006;51(8):853-68.
11. Tow AM, Graves DE, Carter RE. Vital capacity in tetraplegics twenty years and beyond. *Spinal Cord*. 2001;39(3):139-44.
12. Scanlon PD, Loring SH, Pichurko BM, McCool FD, Slutsky AS, Sarkarati M, et al. Respiratory mechanics in acute quadriplegia. Lung and chest wall compliance and dimensional changes during respiratory maneuvers. *Am Rev Respir Dis*. 1989;139(3):615-20.
13. Goldman JM, Williams SJ, Denison DM. The rib cage and abdominal components of respiratory system compliance in tetraplegic patients. *Eur Respir J*. 1988;1(3):242-7.
14. Estenne M, De Troyer A. The effects of tetraplegia on chest wall statics. *Am Rev Respir Dis*. 1986;134(1):121-4.
15. Bergofsky EH. Mechanism for respiratory insufficiency after cervical cord injury; a course of alveolar hypoventilation. *Ann Intern Med*. 1964;61:435-47.
16. Manning HL, Brown R, Scharf SM, Leith DE, Weiss JW, Weinberger SE, et al. Ventilatory and Po<sub>1</sub> response to hypercapnia in quadriplegia. *Respir Physiol*. 1992;89:97-112.
17. Ben-Dov I, Zlobinski R, Segel MJ, Gaides M, Shulimzon T, Zeilig G. Ventilatory response to hypercapnia in C(5-8) chronic tetraplegia: the effect of posture. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009;90(8):1414-7.
18. Grimm DR, Chandy D, Almenoff PL, Schilero G, Lesser M. Airway hyperreactivity in subjects with tetraplegia is associated with reduced baseline airway caliber. *Chest*. 2000;118(5):1397-404.
19. Schilero GJ, Grimm DR, Bauman WA, Lenner R, Lesser M. Assessment of airway caliber and bronchodilator responsiveness in subjects with spinal cord injury. *Chest*. 2005;127(1):149-55.
20. Estenne M, De Troyer A. Mechanism of the postural dependence of vital capacity in tetraplegic subjects. *Am Rev Respir Dis*. 1987;135(2):367-71.
21. Baydur A, Adkins RH, Milic-Emili J. Lung mechanics in individuals with spinal cord injury: effects of injury level and posture. *J Appl Physiol*. 2001;90(2):405-11.
22. Chen CF, Lien IN, Wu MC. Respiratory function in patients with spinal cord injuries: effects of posture. *Paraplegia*. 1990;28(2):81-6.
23. Galeiras Vazquez R, Rascado Sedes P, Mourelo Farina M, Montoto Marques A, Ferreiro Velasco ME. Respiratory management in the patient with spinal cord injury. *BioMed research international*. 2013;2013:168757.
24. Postma K, Haisma JA, de Groot S, Hopman MT, Bergen MP, Stam HJ, et al. Changes in pulmonary

- function during the early years after inpatient rehabilitation in persons with spinal cord injury: a prospective cohort study. *Arch Phys Med Rehabil.* 2013;94(8):1540-6.
25. Mueller G, de Groot S, van der Woude L, Hopman MT. Time-courses of lung function and respiratory muscle pressure generating capacity after spinal cord injury: a prospective cohort study. *J Rehabil Med.* 2008;40(4):269-76.
  26. Almenoff PL, Spungen AM, Lesser M, Bauman WA. Pulmonary function survey in spinal cord injury: influences of smoking and level and completeness of injury. *Lung.* 1995;173(5):297-306.
  27. Linn WS, Spungen AM, Gong H, Jr., Bauman WA, Adkins RH, Waters RL. Smoking and obstructive lung dysfunction in persons with chronic spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2003;26(1):28-35.
  28. Stepp EL, Brown R, Tun CG, Gagnon DR, Jain NB, Garshick E. Determinants of lung volumes in chronic spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2008;89(8):1499-506.
  29. Berlowitz DJ, Wadsworth B, Ross J. Respiratory problems and management in people with spinal cord injury. *Breathe (Sheffield, England).* 2016;12(4):328-40.
  30. Stolzmann KL, Gagnon DR, Brown R, Tun CG, Garshick E. Risk factors for chest illness in chronic spinal cord injury: a prospective study. *Am J Phys Med Rehabil.* 2010;89(7):576-83.
  31. Bach JR, Ishikawa Y, Kim H. Prevention of pulmonary morbidity for patients with Duchenne muscular dystrophy. *Chest.* 1997;112(4):1024-8.
  32. Tzeng AC, Bach JR. Prevention of pulmonary morbidity for patients with neuromuscular disease. *Chest.* 2000;118(5):1390-6.
  33. Pillastrini P, Bordini S, Bazzocchi G, Belloni G, Menarini M. Study of the effectiveness of bronchial clearance in subjects with upper spinal cord injuries: examination of a rehabilitation programme involving mechanical insufflation and exsufflation. *Spinal Cord.* 2006;44(10):614-6.
  34. Hess DR. The evidence for secretion clearance techniques. *Respir Care.* 2001;46(11):1276-93.
  35. Kang SW, Bach JR. Maximum insufflation capacity: vital capacity and cough flows in neuromuscular disease. *Am J Phys Med Rehabil.* 2000;79(3):222-7.
  36. Berlowitz DJ, Tamplin J. Respiratory muscle training for cervical spinal cord injury. *The Cochrane database Syst. Rev.* 2013;7:CD008507.
  37. Wong SL, Shem K, Crew J. Specialized respiratory management for acute cervical spinal cord injury:: a retrospective analysis. *Top Spinal Cord Inj Rehabil.* 2012;18(4):283-90.
  38. Julia PE, Sa'ari MY, Hasnan N. Benefit of triple-strap abdominal binder on voluntary cough in patients with spinal cord injury. *Spinal Cord.* 2011;49(11):1138-42.
  39. Senent C, Golmard JL, Salachas F, Chiner E, Morelot-Panzini C, Meninger V, et al. A comparison of assisted cough techniques in stable patients with severe respiratory insufficiency due to amyotrophic lateral sclerosis. *Amyotroph Lateral Scler.* 2011;12(1):26-32.
  40. Ishikawa Y, Bach JR, Komaroff E, Miura T, Jackson-Parekh R. Cough augmentation in Duchenne muscular dystrophy. *Am J Phys Med Rehabil.* 2008;87(9):726-30.
  41. Van de Leur JP, Zwaveling JH, Loef BG, Van der Schans CP. Endotracheal suctioning versus minimally invasive airway suctioning in intubated patients: a prospective randomised controlled trial. *Intensive Care Med.* 2003;29(3):426-32.
  42. Bach JR. Noninvasive respiratory management of high level spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2012;35(2):72-80.
  43. Branson RD. Secretion management in the mechanically ventilated patient. *Respir Care.* 2007;52(10):1328-42.
  44. Guerin C, Bourdin G, Leray V, Delannoy B, Bayle F, Germain M, et al. Performance of the coughassist insufflation-exsufflation device in the presence of an endotracheal tube or tracheostomy tube: a bench study. *Respir Care.* 2011;56(8):1108-14.
  45. Garstang SV, Kirshblum SC, Wood KE. Patient preference for in-exsufflation for secretion management with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2000;23(2):80-5.
  46. Elliott MW. Stepping up and down from NIV to tracheostomy ventilation. In: Simonds AK, editor. *ERS Practical Handbook Noninvasive Ventilation* 2015. p. 155-62.
  47. Suiter DM, McCullough GH, Powell PW. Effects of cuff deflation and one-way tracheostomy speaking valve placement on swallow physiology. *Dysphagia.* 2003;18(4):284-92.
  48. Mathias CJ. Bradycardia and cardiac arrest during tracheal suction--mechanisms in tetraplegic patients. *Eur J Intensive Care Med.* 1976;2(4):147-56.
  49. Hector SM, Biering-Sorensen T, Krassioukov A, Biering-Sorensen F. Cardiac arrhythmias

- associated with spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2013;36(6):591-9.
50. ERS Practical Handbook of Noninvasive Ventilation. Simonds AK, editor: European Respiratory Society; 2015 2015-09-01 00:00:00. 320 p.
  51. Windisch W, Dreher M, Geiseler J, Siemon K, Brambring J, Dellweg D, et al. [Guidelines for Non-Invasive and Invasive Home Mechanical Ventilation for Treatment of Chronic Respiratory Failure - Update 2017]. *Pneumologie.* 2017;71(11):722-95.
  52. Jackson AB, Groomes TE. Incidence of respiratory complications following spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 1994;75(3):270-5.
  53. Casha S, Christie S. A systematic review of intensive cardiopulmonary management after spinal cord injury. *J Neurotrauma.* 2011;28(8):1479-95.
  54. Reid WD, Brown JA, Konnyu KJ, Rurak JM, Sakakibara BM. Physiotherapy secretion removal techniques in people with spinal cord injury: a systematic review. *J Spinal Cord Med.* 2010;33(4):353-70.
  55. Tran K, Hukins C, Geraghty T, Eckert B, Fraser L. Sleep-disordered breathing in spinal cord-injured patients: a short-term longitudinal study. *Respirology.* 2010;15(2):272-6.
  56. Berlowitz DJ, Brown DJ, Campbell DA, Pierce RJ. A longitudinal evaluation of sleep and breathing in the first year after cervical spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil.* 2005;86(6):1193-9.
  57. Stockhammer E, Tobon A, Michel F, Eser P, Scheuler W, Bauer W, et al. Characteristics of sleep apnea syndrome in tetraplegic patients. *Spinal Cord.* 2002;40(6):286-94.
  58. Burns SP, Rad MY, Bryant S, Kapur V. Long-term treatment of sleep apnea in persons with spinal cord injury. *Am J Phys Med Rehabil.* 2005;84(8):620-6.
  59. Rialp G, Raurich JM, Llompарт-Pou JA, Ayestaran I, Ibanez J. Central respiratory drive in patients with neuromuscular diseases. *Respir Care.* 2013;58(3):450-7.
  60. Sankari A, Bascom A, Oomman S, Badr MS. Sleep disordered breathing in chronic spinal cord injury. *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine.* 2014;10(1):65-72.
  61. McEvoy RD, Mykytyn I, Sajkov D, Flavell H, Marshall R, Antic r, et al. Sleep apnoea in patients with quadriplegia. *Thorax.* 1995;50(6):613-9.
  62. Sajkov D, Marshall R, Walker P, Mykytyn I, McEvoy RD, Wale J, et al. Sleep apnoea related Hypoxia is associated with cognitive disturbances in patients with tetraplegia. *Spinal Cord.* 1998;36(4):231-9.
  63. Le Guen MC, Cistulli PA, Berlowitz DJ. Continuous positive airway pressure requirements in patients with tetraplegia and obstructive sleep apnoea. *Spinal Cord.* 2012;50(11):832-5.
  64. Berlowitz DJ, Schembri R, Graco M, Ross JM, Ayas N, Gordon I, et al. Positive airway pressure for sleep-disordered breathing in acute quadriplegia: a randomised controlled trial. *Thorax.* 2019;74(3):282-90.
  65. Berlowitz DJ, Spong J, Pierce RJ, Ross J, Barnes M, Brown DJ. The feasibility of using auto-titrating continuous positive airway pressure to treat obstructive sleep apnoea after acute tetraplegia. *Spinal Cord.* 2009;47(12):868-73.
  66. Hirschfeld S, Thietje R. Schlafqualität bei Querschnittgelähmten; *Somnologie - Schlafforschung und Schlafmedizin.* 2014;12/2014(18(1):34).
  67. Sankari A, Martin JL, Badr M. A retrospective review of sleep-disordered breathing, hypertension and cardiovascular diseases in spinal cord injury patients. *Spinal Cord.* 2015;53(6):496-7.
  68. Graco M, McDonald L, Green SE, Jackson ML, Berlowitz DJ. Prevalence of sleep-disordered breathing in people with tetraplegia-a systematic review and meta-analysis. *Spinal Cord.* 2021;59(5):474-84.
  69. Sowho M, Amatoury J, Kirkness JP, Patil SP. Sleep and respiratory physiology in adults. *Clin Chest Med.* 2014;35(3):469-81.
  70. Menaker J, Kufera JA, Glaser J, Stein DM, Scalea TM. Admission ASIA motor score predicting the need for tracheostomy after cervical spinal cord injury. *The journal of trauma and acute care surgery.* 2013;75(4):629-34.
  71. Choi HJ, Paeng SH, Kim ST, Lee KS, Kim MS, Jung YT. The effectiveness of early tracheostomy (within at least 10 days) in cervical spinal cord injury patients. *Journal of Korean Neurosurgical Society.* 2013;54(3):220-4.
  72. Ladra J. Verfahren nach Ciaglia und Griggs versus konventionelle Tracheotomie-Verfahren -

Metaanalyse und Literaturvergleich [Dissertation]: Universität Köln; 2005.

73. Hirschfeld S, Jürgens N, Tiedemann S, Thietje R. Invasives Beatmungs- und Sekretmanagement bei hoher Tetraplegie. In: Bachmann M, Schucher B, editors. Kompendium Außerklinische Beatmung im Kindes- und Erwachsenenalter. Dresden: kleanthes; 2013.
74. Berney S, Bragge P, Granger C, Opdam H, Denehy L. The acute respiratory management of cervical spinal cord injury in the first 6 weeks after injury: a systematic review. *Spinal Cord*. 2011;49(1):17-29.
75. Hassid VJ, Schinco MA, Tepas JJ, Griffen MM, Murphy TL, Frykberg ER, et al. Definitive establishment of airway control is critical for optimal outcome in lower cervical spinal cord injury. *J Trauma*. 2008;65(6):1328-32.
76. Windisch W, Brambring J, Budweiser S, Dellweg D, Geiseler J, Gerhard F, et al. [Non-invasive and invasive mechanical ventilation for treatment of chronic respiratory failure. S2-Guidelines published by the German Medical Association of Pneumology and Ventilatory Support]. *Pneumologie*. 2010;64(4):207-40.
77. Schonhofer B, Geiseler J, Dellweg D, Moerer O, Barchfeld T, Fuchs H, et al. [Prolonged weaning: S2k-guideline published by the German Respiratory Society]. *Pneumologie*. 2014;68(1):19-75.
78. Chen Y, Shao J, Zhu W, Jia LS, Chen XS. Identification of risk factors for respiratory complications in upper cervical spinal injured patients with neurological impairment. *Acta orthopaedica et traumatologica turcica*. 2013;47(2):111-7.
79. Leyk G, Hirschfeld S, Bothig R, Willenbrock U, Thietje R, Lonneckner S, et al. [Spinal cord injury (SCI) - Aspects of intensive medical care]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2014;49(9):506-12; quiz 13.
80. Do JG, Kim du H, Sung DH. Incidence of deep vein thrombosis after spinal cord injury in Korean patients at acute rehabilitation unit. *J Korean Med Sci*. 2013;28(9):1382-7.
81. Brower RG, Matthay MA, Morris A, Schoenfeld D, Thompson BT, Wheeler A. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2000;342(18):1301-8.
82. Arora S, Flower O, Murray NP, Lee BB. Respiratory care of patients with cervical spinal cord injury: a review. *Critical care and resuscitation : journal of the Australasian Academy of Critical Care Medicine*. 2012;14(1):64-73.
83. Watt JW, Devine A. Does dead space ventilation always alleviate hypocapnia? Long-term ventilation with plain tracheostomy tubes. *Anaesthesia*. 1995;50(8):688-91.
84. Watt JW, Fraser MH. The effect of insufflation leaks in long-term ventilation. Waking and sleeping transcutaneous gas tensions in ventilator-dependent patients with an uncuffed tracheostomy tube. *Anaesthesia*. 1994;49(4):328-30.
85. Price GJ, Jones CJ, Charlton RA, Allen CM. A combined approach to the assessment of neurological dysphagia. *Clinical otolaryngology and allied sciences*. 1987;12(3):197-201.
86. Shem K, Castillo K, Wong S, Chang J, Kolakowsky-Hayner S. Dysphagia and respiratory care in individuals with tetraplegia: Incidence, associated factors, and preventable complications. *Top Spinal Cord Inj Rehabil*. 2012;18(1):15-22.
87. Hess DR. Facilitating speech in the patient with a tracheostomy. *Respir Care*. 2005;50(4):519-25.
88. Diesener P. Kommunikation und Kostaufbau unter intensivmedizinischen Bedingungen Gailingen: Schriftenreihe Jugendwerk; 2005.
89. Schwegler H. Sprechen und Schlucken bei invasiver Beatmung. *Clinicum*. 2012:78-80.
90. Prigent H, Lejaille M, Terzi N, Annane D, Figere M, Orlikowski D, et al. Effect of a tracheostomy speaking valve on breathing-swallowing interaction. *Intensive Care Med*. 2012;38(1):85-90.
91. Garguilo M, Leroux K, Lejaille M, Pascal S, Orlikowski D, Lofaso F, et al. Patient-controlled positive end-expiratory pressure with neuromuscular disease: effect on speech in patients with tracheostomy and mechanical ventilation support. *Chest*. 2013;143(5):1243-51.
92. Prigent H, Garguilo M, Pascal S, Pouplin S, Bouteille J, Lejaille M, et al. Speech effects of a speaking valve versus external PEEP in tracheostomized ventilator-dependent neuromuscular patients. *Intensive Care Med*. 2010;36(10):1681-7.
93. Prigent H, Samuel C, Louis B, Abinun MF, Zerah-Lancner F, Lejaille M, et al. Comparative effects of two ventilatory modes on speech in tracheostomized patients with neuromuscular disease. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003;167(2):114-9.

94. Manzano JL, Lubillo S, Henriquez D, Martin JC, Perez MC, Wilson DJ. Verbal communication of ventilator-dependent patients. *Crit Care Med.* 1993;21(4):512-7.
95. Byrick RJ. Improved communication with the Passy-Muir valve: the aim of technology and the result of training. *Crit Care Med.* 1993;21(4):483-4.
96. Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut (RKI). Hygienemaßnahmen bei Infektionen oder Besiedlung mit multiresistenten gramnegativen Stäbchen. In: Bundesgesundheitsbl., editor. Springer Verlag 2012. p. 1311-54.
97. Horan TC, Andrus M, Dudeck MA. CDC/NHSN surveillance definition of health care-associated infection and criteria for specific types of infections in the acute care setting. *Am J Infect Control.* 2008;36(5):309-32.
98. Nseir S, Di Pompeo C, Pronnier P, Beague S, Onimus T, Saulnier F, et al. Nosocomial tracheobronchitis in mechanically ventilated patients: incidence, aetiology and outcome. *Eur Respir J.* 2002;20(6):1483-9.
99. Arnold HM, Sawyer AM, Kollef MH. Use of adjunctive aerosolized antimicrobial therapy in the treatment of *Pseudomonas aeruginosa* and *Acinetobacter baumannii* ventilator-associated pneumonia. *Respir Care.* 2012;57(8):1226-33.
100. Dallas J, Skrupky L, Abebe N, Boyle WA, 3rd, Kollef MH. Ventilator-associated tracheobronchitis in a mixed surgical and medical ICU population. *Chest.* 2011;139(3):513-8.
101. Palmer LB, Smaldone GC, Chen JJ, Baram D, Duan T, Monteforte M, et al. Aerosolized antibiotics and ventilator-associated tracheobronchitis in the intensive care unit. *Crit Care Med.* 2008;36(7):2008-13.
102. Abu-Salah T, Dhand R. Inhaled antibiotic therapy for ventilator-associated tracheobronchitis and ventilator-associated pneumonia: an update. *Adv Ther.* 2011;28(9):728-47.
103. Polverino E, Goeminne PC, McDonnell MJ, Aliberti S, Marshall SE, Loebinger MR, et al. European Respiratory Society guidelines for the management of adult bronchiectasis. *Eur Respir J.* 2017;50(3).
104. Dalhoff K, Abele-Horn M, Andreas S, Deja M, Ewig S, Gastmeier P, et al. [Epidemiology, Diagnosis and Treatment of Adult Patients with Nosocomial Pneumonia - Update 2017 - S3 Guideline of the German Society for Anaesthesiology and Intensive Care Medicine, the German Society for Infectious Diseases, the German Society for Hygiene and Microbiology, the German Respiratory Society and the Paul-Ehrlich-Society for Chemotherapy, the German Radiological Society and the Society for Virology]. *Pneumologie.* 2018;72(1):15-63.
105. Schonhofer B, Geiseler J, Dellweg D, Fuchs H, Moerer O, Weber-Carstens S, et al. Prolonged Weaning: S2k Guideline Published by the German Respiratory Society. *Respiration.* 2020:1-102.
106. Rollnik JD, Adolphsen J, Bauer J, Bertram M, Brocke J, Dohmen C, et al. [Prolonged weaning during early neurological and neurosurgical rehabilitation : S2k guideline published by the Weaning Committee of the German Neurorehabilitation Society (DGNR)]. *Nervenarzt.* 2017;88(6):652-74.
107. Harrop JS, Sharan AD, Scheid EH, Jr., Vaccaro AR, Przybylski GJ. Tracheostomy placement in patients with complete cervical spinal cord injuries: American Spinal Injury Association Grade A. *J Neurosurg.* 2004;100(1 Suppl Spine):20-3.
108. Hirschfeld S, Exner G, Tiedemann S, Thietje R. Langzeitbeatmung querschnittgelähmter Patienten. *Trauma und Berufskrankheit.* 2010;12(3):177-81.
109. Chiodo AE, Scelza W, Forchheimer M. Predictors of ventilator weaning in individuals with high cervical spinal cord injury. *J Spinal Cord Med.* 2008;31(1):72-7.
110. Fromm B, Hundt G, Gerner HJ, Baer GA, Exner G, Botel U, et al. Management of respiratory problems unique to high tetraplegia. *Spinal Cord.* 1999;37(4):239-44.
111. Popa C, Popa F, Grigorean VT, Onose G, Sandu AM, Popescu M, et al. Vascular dysfunctions following spinal cord injury. *Journal of medicine and life.* 2010;3(3):275-85.
112. Gondim FA, Lopes AC, Jr., Oliveira GR, Rodrigues CL, Leal PR, Santos AA, et al. Cardiovascular control after spinal cord injury. *Current vascular pharmacology.* 2004;2(1):71-9.
113. Edwards RH. The diaphragm as a muscle. Mechanisms underlying fatigue. *Am Rev Respir Dis.* 1979;119(2 Pt 2):81-4.
114. Levine S, Nguyen T, Taylor N, Friscia ME, Budak MT, Rothenberg P, et al. Rapid disuse atrophy of diaphragm fibers in mechanically ventilated humans. *N Engl J Med.* 2008;358(13):1327-35.
115. Roussos CS, Macklem PT. Diaphragmatic fatigue in man. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol.* 1977;43(2):189-97.

116. Schepens T, Verbrugghe W, Dams K, Corthouts B, Parizel PM, Jorens PG. The course of diaphragm atrophy in ventilated patients assessed with ultrasound: a longitudinal cohort study. *Crit Care*. 2015;19:422.
117. Faulkner JA, Maxwell LC, Ruff GL, White TP. The diaphragm as a muscle. Contractile properties. *Am Rev Respir Dis*. 1979;119(2 Pt 2):89-92.
118. Mantilla CB, Seven YB, Zhan WZ, Sieck GC. Diaphragm motor unit recruitment in rats. *Respiratory physiology & neurobiology*. 2010;173(1):101-6.
119. Hirschfeld S, Exner G, Luukkaala T, Baer GA. Mechanical ventilation or phrenic nerve stimulation for treatment of spinal cord injury-induced respiratory insufficiency. *Spinal Cord*. 2008;46(11):738-42.
120. Walker DJ, Walterspacher S, Schlager D, Ertl T, Roecker K, Windisch W, et al. Characteristics of diaphragmatic fatigue during exhaustive exercise until task failure. *Respiratory physiology & neurobiology*. 2011;176(1-2):14-20.
121. American Spinal Injury A. Reference Manual of the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. Chicago, IL: American Spinal Injury Association; 2003.
122. Fussenich W, Hirschfeld Araujo S, Kowald B, Hosman A, Auerswald M, Thietje R. Discontinuous ventilator weaning of patients with acute SCI. *Spinal Cord*. 2018;56(5):461-8.
123. Romero FJ, Gambarrutta C, Garcia-Forcada A, Marin MA, Diaz de la Lastra E, Paz F, et al. Long-term evaluation of phrenic nerve pacing for respiratory failure due to high cervical spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2012;50(12):895-8.
124. Esclarin A, Bravo P, Arroyo O, Mazaira J, Garrido H, Alcaraz MA. Tracheostomy ventilation versus diaphragmatic pacemaker ventilation in high spinal cord injury. *Paraplegia*. 1994;32(10):687-93.
125. Glenn WW, Phelps ML. Diaphragm pacing by electrical stimulation of the phrenic nerve. *Neurosurgery*. 1985;17(6):974-84.
126. Hirschfeld S, Vieweg H, Schulz AP, Thietje R, Baer GA. Threshold currents of platinum electrodes used for functional electrical stimulation of the phrenic nerves for treatment of central apnea. *Pacing Clin Electrophysiol*. 2013;36(6):714-8.
127. Tedde ML, Onders RP, Teixeira MJ, Lage SG, Ballester G, Brotto MW, et al. Electric ventilation: indications for and technical aspects of diaphragm pacing stimulation surgical implantation. *Jornal brasileiro de pneumologia : publicacao oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia*. 2012;38(5):566-72.
128. Kerwin AJ, Yorkgitis BK, Ebler DJ, Madbak FG, Hsu AT, Crandall ML. Use of diaphragm pacing in the management of acute cervical spinal cord injury. *The journal of trauma and acute care surgery*. 2018;85(5):928-31.
129. Morelot-Panzini C, Le Pimpec-Barthes F, Menegaux F, Gonzalez-Bermejo J, Similowski T. Referred shoulder pain (C4 dermatome) can adversely impact diaphragm pacing with intramuscular electrodes. *Eur Respir J*. 2015;45(6):1751-4.
130. Le Pimpec-Barthes F, Legras A, Arame A, Pricopi C, Boucherie JC, Badia A, et al. Diaphragm pacing: the state of the art. *Journal of thoracic disease*. 2016;8(Suppl 4):S376-86.
131. Demoule A, Girou E, Richard JC, Taille S, Brochard L. Increased use of noninvasive ventilation in French intensive care units. *Intensive Care Med*. 2006;32(11):1747-55.
132. Hosokawa K, Nishimura M, Egi M, Vincent JL. Timing of tracheotomy in ICU patients: a systematic review of randomized controlled trials. *Crit Care*. 2015;19:424.
133. Bach JR. Continuous noninvasive ventilation for patients with neuromuscular disease and spinal cord injury. *Semin Respir Crit Care Med*. 2002;23(3):283-92.
134. Stolzmann KL, Gagnon DR, Brown R, Tun CG, Garshick E. Longitudinal change in FEV1 and FVC in chronic spinal cord injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 2008;177(7):781-6.
135. White DP. Pathogenesis of obstructive and central sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2005;172(11):1363-70.
136. Mehta S. Neuromuscular disease causing acute respiratory failure. *Respir Care*. 2006;51(9):1016-21.
137. International Consensus Conferences in Intensive Care Medicine: noninvasive positive pressure ventilation in acute Respiratory failure. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001;163(1):283-91.
138. Navalesi P, Fanfulla F, Frigerio P, Gregoretti C, Nava S. Physiologic evaluation of noninvasive mechanical ventilation delivered with three types of masks in patients with chronic hypercapnic

- respiratory failure. *Crit Care Med.* 2000;28(6):1785-90.
139. Majorski DS, Callegari JC, Schwarz SB, Magnet FS, Majorski R, Storre JH, et al. Oronasal versus Nasal Masks for Non-Invasive Ventilation in COPD: A Randomized Crossover Trial. *International journal of chronic obstructive pulmonary disease.* 2021;16:771-81.
  140. Willson GN, Piper AJ, Norman M, Chaseling WG, Milross MA, Collins ER, et al. Nasal versus full face mask for noninvasive ventilation in chronic respiratory failure. *Eur Respir J.* 2004;23(4):605-9.
  141. Robert D, Argaud L. Clinical review: long-term noninvasive ventilation. *Crit Care.* 2007;11(2):210.
  142. Dreher M, Storre JH, Schmoor C, Windisch W. High-intensity versus low-intensity non-invasive ventilation in patients with stable hypercapnic COPD: a randomised crossover trial. *Thorax.* 2010;65(4):303-8.
  143. Luo Z, Wu C, Li Q, Zhu J, Pang B, Shi Y, et al. High-intensity versus low-intensity noninvasive positive pressure ventilation in patients with acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (HAPPEN): study protocol for a multicenter randomized controlled trial. *Trials.* 2018;19(1):645.
  144. Berry RB, Budhiraja R, Gottlieb DJ, Gozal D, Iber C, Kapur VK, et al. Rules for scoring respiratory events in sleep: update of the 2007 AASM Manual for the Scoring of Sleep and Associated Events. Deliberations of the Sleep Apnea Definitions Task Force of the American Academy of Sleep Medicine. *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine.* 2012;8(5):597-619.
  145. Berry RB, Chediak A, Brown LK, Finder J, Gozal D, Iber C, et al. Best clinical practices for the sleep center adjustment of noninvasive positive pressure ventilation (NPPV) in stable chronic alveolar hypoventilation syndromes. *Journal of clinical sleep medicine : JCSM : official publication of the American Academy of Sleep Medicine.* 2010;6(5):491-509.
  146. Windisch W. Impact of home mechanical ventilation on health-related quality of life. *Eur Respir J.* 2008;32(5):1328-36.
  147. Rahmenvertrag über ein Entlassmanagement beim Übergang in die Versorgung nach Krankenhausbehandlung § 39 Abs. 1a S. 9 SGB V (2017).
  148. Escarrabil J. Discharging the ventilator-dependent adult and child. In eds: Simonds AK. *ERS Handbook Noninvasive Ventilation.* European Respiratory Society 2015:260-265.
  149. Giesecke J. Finanzierung der ambulanten Pflege bei maschineller Beatmung/Teil 1. *Not.* 2000;5:22-8.
  150. Karlsson AK. Autonomic dysfunction in spinal cord injury: clinical presentation of symptoms and signs. *Prog Brain Res.* 2006;152:1-8.
  151. Taylor JA. Autonomic consequences of spinal cord injury. *Auton Neurosci.* 2018;209:1-3.
  152. Phillips AA, Ainslie PN, Krassioukov AV, Warburton DE. Regulation of cerebral blood flow after spinal cord injury. *J Neurotrauma.* 2013;30(18):1551-63.
  153. Andrade MJ, Quintas FL, Silva AM, Cruz P. Is autonomic dysreflexia a cause of respiratory dysfunction after spinal cord injury? *Spinal cord series and cases.* 2021;7(1):4.
  154. McKim DA, Road J, Avendano M, Abdool S, Cote F, Duguid N, et al. Home mechanical ventilation: a Canadian Thoracic Society clinical practice guideline. *Can Respir J.* 2011;18(4):197-215.
  155. AARC clinical practice guideline. Long-term invasive mechanical ventilation in the home--2007 revision & update. *Respir Care.* 2007;52(8):1056-62.
  156. Hammer J. Home mechanical ventilation in children: indications and practical aspects. *Schweiz Med Wochenschr.* 2000;130(49):1894-902.
  157. World Health Organization (WHO). *International Classification of Functioning, Disability and Health.* 2001.
  158. Spreyermann R, Luthi H, Michel F, Baumberger ME, Wirz M, Mader M. Long-term follow-up of patients with spinal cord injury with a new ICF-based tool. *Spinal Cord.* 2011;49(2):230-5.
  159. Sakakibara BM, Hitzig SL, Miller WC, Eng JJ. An evidence-based review on the influence of aging with a spinal cord injury on subjective quality of life. *Spinal Cord.* 2012;50(8):570-8.
  160. Wilmot E, Hall KM. The respiratory system. In: Whiteneck GG, Charlifue SW, Gerhart KA, editors. *Aging with Spinal Cord Injury.* New York: Demos Publications; 1993.
  161. Eckert DJ, Malhotra A. Pathophysiology of adult obstructive sleep apnea. *Proceedings of the American Thoracic Society.* 2008;5(2):144-53.
  162. Bach JR, Wang TG. Pulmonary function and sleep disordered breathing in patients with

- traumatic tetraplegia: a longitudinal study. Arch Phys Med Rehabil. 1994;75(3):279-84.
163. Biering-Sorensen F, Biering-Sorensen M. Sleep disturbances in the spinal cord injured: an epidemiological questionnaire investigation, including a normal population. Spinal Cord. 2001;39(10):505-13.
164. Thietje R, Kowald B, Hirschfeld S. Woran sterben Querschnittgelähmte heute? Eine Nachuntersuchung von 102 Fällen. Die Rehabilitation. 2011;50(04):251-4.
165. Hirschfeld S, Jürgens N, Tiedemann S, Thietje R. Langzeitkomplikationen der Querschnittlähmung. In: Bachmann M, Schucher B, editors. Außerklinische Beatmung im Kindes- und Erwachsenenalter. Dresden: kleanthes; 2013.
166. McKim DA, Katz SL, Barrowman N, Ni A, LeBlanc C. Lung volume recruitment slows pulmonary function decline in Duchenne muscular dystrophy. Arch Phys Med Rehabil. 2012;93(7):1117-22.
167. Mueller G, Hopman MT, Perret C. Comparison of respiratory muscle training methods in individuals with motor and sensory complete tetraplegia: a randomized controlled trial. J Rehabil Med. 2013;45(3):248-53.
168. Raab AM, Krebs J, Perret C, Pfister M, Hopman M, Mueller G. Evaluation of a clinical implementation of a respiratory muscle training group during spinal cord injury rehabilitation. Spinal cord series and cases. 2018;4:40.
169. Raab AM, Krebs J, Pfister M, Perret C, Hopman M, Mueller G. Respiratory muscle training in individuals with spinal cord injury: effect of training intensity and -volume on improvements in respiratory muscle strength. Spinal Cord. 2019.

**Versionsnummer: 1.0**

**Erstveröffentlichung: 08/2022**

**Nächste Überprüfung geplant: 08/2027**

Die AWMF erfasst und publiziert die Leitlinien der Fachgesellschaften mit größtmöglicher Sorgfalt - dennoch kann die AWMF für die Richtigkeit des Inhalts keine Verantwortung übernehmen. **Insbesondere bei Dosierungsangaben sind stets die Angaben der Hersteller zu beachten!**

Autorisiert für elektronische Publikation: AWMF online