

Exposé

Stabilität in der Instabilität - Anästhesiemanagement bei Verletzungen der Halswirbelsäule mit neurogenem Schock

Wie gestaltet sich das perioperative anästhesiologische Management bei Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule im neurogenen Schock?

Föhn N., Laib I., Schudel T. und Stieger A.

NDS HF Anästhesiepflege

Kurs H24

Praktikumsorte: Kantonsspital Graubünden, Spital Männedorf und Universitätsspital Zürich

Datum: 11. Mai 2026

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage	1
2	Fragestellung	2
3	Ausschlusskriterien	2
4	Abstract.....	2
5	Methodik.....	3
6	Erste Ergebnisse	3
6.1	Einleitung	3
6.2	Neuroanatomische und -physiologische Grundlagen	4
6.2.1	Zentrales und peripheres Nervensystem	4
6.2.2	Somatomotorisches und autonomes Nervensystem	4
6.2.3	Rückenmark.....	4
6.2.4	Rückenmarkssegmente.....	5
6.2.5	Efferente und afferente Nervenbahnen	5
6.2.6	Spinalnerven mit ihren Ästen und Plexus	6
6.2.7	Autonomes Nervensystem.....	6
6.3	Pathophysiologische Grundlagen	9
6.3.1	Periphere und zentrale Lähmung.....	10
6.3.2	Neurogener Schock	11
6.4	Diagnostik	12
6.4.1	Klinische Untersuchung.....	12
6.4.2	Basis- und erweitertes Monitoring	12
6.4.3	Bildgebende Verfahren	12
6.4.4	Neurologische Untersuchung	13
6.4.5	Labordiagnostik	13
6.5	Differenzialdiagnostik	13
6.5.1	Unterschied zwischen dem neurogenen und spinalen Schock.....	13
6.6	Atemwegsmanagement und Beatmung	14
6.6.1	Präoperative Beurteilung von Atemweg und Atmung	14
6.6.2	Immobilisation der Halswirbelsäule während der Intubation	15
6.6.3	Auswahl der Intubationstechnik	16
6.6.4	Ablauf der Atemwegssicherung im neurogenen Schock	17
6.6.5	Intraoperatives Beatmungsmanagement.....	18
6.6.6	Extubationsmanagement	18
6.7	Management der Hämodynamik.....	19
6.7.1	Empfehlungen für den mittleren arteriellen Druck (MAP).....	19
6.7.2	Empfehlungen für das Flüssigkeits- und Volumenmanagement	19
6.7.3	Medikamentöse Therapie von Hypotonie und Bradykardie	20
6.7.4	Handlungsempfehlungen für eine therapierefraktärer Hypotonie	21
6.7.5	Nicht-medikamentöse Therapien.....	21
6.7.6	Patient Blood Management und Antifibrinolytika.....	21
6.7.7	Medikamentenwahl für Narkoseinduktion	22
6.7.8	Stellenwert von Kortikosteroiden	22
6.7.9	Erweitertes Monitoring.....	23
6.8	Temperatur- und Wärmemanagement	25
6.9	Traumasensible Kommunikation	25
7	Diskussion	27
7.1	Succinylcholin versus Rocuronium - Bedeutung von Faszikulationen und praktische Erfahrung	27
7.2	Atemwegssicherung beim erwartet schwierigen Atemweg - Evidenz und Skills.....	27
7.3	Nutzen- und Risikoabwägung von mRSI und RSI bei Querschnittlähmung	27
7.4	Goal-directed Flüssigkeits- und Volumentherapie anhand klinischer und laborchemischer Parameter	28
7.5	Atropingabe - Prophylaxe oder Therapie	28

7.6	Anzustrebender MAP beim neurogenen Schock	28
7.7	Kortikosteroide zur Reduktion von Primär- und Sekundärschäden	28
7.8	NIRS bei Halswirbelsäulenoperationen – Praxis ohne Evidenz	29
8	Konklusion	29
9	Literaturverzeichnis	29
10	Abbildungsverzeichnis	32
11	Tabellenverzeichnis	33
12	Anhang	33
12.1	Mindmap zur initialen Ideensammlung / Brainstorming	33

1 Ausgangslage

Ein sonniger Ferientag auf der Lenzerheide – klare Bergluft, das Lachen der Kinder und das rhythmische Surren der Fahrradketten auf dem Waldweg. Ein 36-jähriger Familienvater verbringt den Tag mit seinen Liebsten, fernab vom Alltag, umgeben von der Ruhe der Bündner Berglandschaft. Für einen Moment scheint alles leicht und unbeschwert, bis das Unvorstellbare geschieht. Das Vorderrad seines Fahrrads verhakt sich plötzlich an einer im Boden verborgenen Wurzel. Innert Sekunden verliert er die Kontrolle über sein Gefährt, wird über den Lenker nach vorne geschleudert und schlägt mit voller Wucht auf dem Waldboden auf. Was zunächst wie ein normaler Sturz wirkt, entpuppt sich rasch als Katastrophe. Der Mann bleibt regungslos liegen und seine Familie erkennt sofort, dass etwas nicht stimmt. Innerhalb weniger Augenblicke verändert sich nicht nur sein eigenes Leben grundlegend, sondern auch das seiner Familie.

Der Patient erleidet eine Fraktur des fünften und sechsten Halswirbels mit kompletter Querschnittlähmung und entwickelt infolgedessen einen neurogenen Schock. Diese Kombination stellt eine akut lebensbedrohliche Situation dar, welche eine rasche, strukturierte und hochspezialisierte medizinische Versorgung erfordert.

Vom Unfallort wird der Patient mittels REGA direkt in das Kantonsspital Graubünden geflogen, wo seine Verletzung nach entsprechender Diagnostik notfallmässig mittels anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion (ACDF) operativ versorgt wird.

Postoperativ wird der Patient zur weiteren Stabilisierung seines Zustands auf die Intensivstation verlegt. Von dort erfolgt am ersten postoperativen Tag die Verlegung zur Frührehabilitation in das Schweizer Paraplegikerzentrum nach Nottwil. Für den Patienten beginnt damit ein langer und herausfordernder Weg zurück in ein neues Leben. Ein Leben, das sich innerhalb weniger Sekunden unwiderruflich verändert hat.

Diese erlebte Patientensituation verdeutlicht eindrücklich, wie schnell alltägliche Freizeitaktivitäten zu schweren und lebensverändernden Verletzungen führen können. Insbesondere im Kanton Graubünden, wo Aktivitäten wie Wandern, Mountainbiken oder Wintersport einen wichtigen Bestandteil des gesellschaftlichen und touristischen Lebens darstellen, sind Verletzungen der Wirbelsäule keine Seltenheit. Aber auch in anderen Regionen der Schweiz, beispielsweise im Raum Zürich, zeigen sich vergleichbare Problematiken, wobei dort häufiger Verkehrsunfälle als Ursache schwerer Wirbelsäulenverletzungen im Vordergrund stehen.

Die SSUV (Sammelstelle für die Statistik der Unfallversicherungen) zeigt in ihrer Unfallstatistik zur Diagnose S13.4 (Verstauchung beziehungsweise Zerrung der Halswirbelsäule), dass basierend auf den gemäss Unfallversicherungsgesetz gemeldeten Unfällen sowie entsprechenden Hochrechnungen für die gesamte Schweiz jährlich mehrere zehntausend Fälle von Wirbelsäulenverletzungen auftreten. Darüber hinaus berichtet die Swiss Paraplegic Group, dass in der Schweiz bereits über 8000 Menschen mit einer Rückenmarksverletzung leben und jährlich rund 240 neue Fälle registriert werden. (6; 7, S. 4) Diese Zahlen verdeutlichen die hohe medizinische und gesellschaftliche Relevanz von Wirbelsäulen- und Rückenmarksverletzungen für das Gesundheitswesen.

Auch der neurogene Schock stellt in diesem Zusammenhang eine bedeutsame Komplikation dar. In amerikanischen Traumazentren wird seine Inzidenz mit etwa 31% beschrieben, wobei Verletzungen der Wirbelsäule mit bis zu 20% als häufigste Ursache dafür gelten. (9; 10, S. 7) Diese epidemiologischen Daten unterstreichen die Relevanz der Problematik sowie die zentrale Bedeutung eines frühzeitigen Erkennens und einer zielgerichteten diagnostischen und therapeutischen Versorgung spinaler Traumata.

2 Fragestellung

Wie gestaltet sich das perioperative anästhesiologische Management bei Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule im neurogenen Schock?

3 Ausschlusskriterien

Folgende Ausschlusskriterien wurden in Bezug auf die Ausarbeitung dieser Projektarbeit definiert, da deren Thematisierung den vorgesehenen Rahmen überschreiten würde:

- Kinder bis 18-jährig
- Patient:innen mit einem Polytrauma
- Patient:innen mit einem Schädel-Hirn-Trauma
- Patient:innen mit allen anderen akuten Schockformen
- Patient:innen mit jeglichen Vor- und Begleiterkrankungen
- Patient:innen mit vorbekanntem schwierigem Atemweg
- jegliche Massnahmen bei der Erstversorgung im Schockraum
- jegliche Folgen einer Schädigung des Regelkreises von Stoffwechsel, Elektrolyt- und Wasserhaushalt sowie Sexualfunktion
- Schmerzmanagement bei Halswirbelsäulenverletzungen in seiner ganzen Komplexität
- Klassifikationssystem der American Spinal Injury Association (ASIA)

4 Abstract

Verletzungen der Halswirbelsäule stellen eine schwerwiegende medizinische Problematik dar und können infolge einer Schädigung des Rückenmarks zum Auftreten eines neurogenen Schocks führen. Dieser ist durch eine Störung der autonomen Regelkreise gekennzeichnet und geht typischerweise unter anderem mit Hypotonie, Bradykardie, neurologischen Ausfällen sowie Störungen der Thermoregulation einher. Das perioperative Management dieser Patient:innen stellt aufgrund der komplexen pathophysiologischen Veränderungen eine besondere Herausforderung für das anästhesiologische Behandlungsteam dar.

Basierend auf einer erlebten Fallsituation zeigt die vorliegende Projektarbeit evidenzbasierte Handlungsempfehlungen für die perioperative anästhesiologische Versorgung in dieser komplexen und potenziell lebensbedrohlichen Situation auf und analysiert zentrale Aspekte der Betreuung. Die Methodik der Arbeit stützt sich auf einer literaturbasierten Analyse unter Einbezug aktueller Fachliteratur, Leitlinien sowie qualitativer und quantitativer Studien, welche die hohe klinische Relevanz und Dringlichkeit dieses pathophysiologischen Zustands verdeutlichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass das Management von Halswirbelsäulenverletzungen mit neurogenem Schock ein fundiertes Verständnis der neuroanatomischen, -physiologischen und pathophysiologischen Zusammenhänge erfordert. Ein bedachtes perioperatives Vorgehen ist essenziell, um die hämodynamische Stabilität zu sichern und sekundäre neurologische Schäden zu vermeiden. Zentrale Schwerpunkte bilden dabei die Atemwegssicherung unter konsequenter Immobilisation der Halswirbelsäule, ein patientenadaptives Beatmungsmanagement sowie die Aufrechterhaltung eines adäquaten mittleren arteriellen Drucks zur Sicherstellung einer ausreichenden Perfusion des Rückenmarks. Zudem sind ein differenziertes Flüssigkeits- und Volumenmanagement sowie ein adäquates Temperaturmanagement entscheidend für die Aufrechterhaltung der Homöostase. Darüber hinaus sollte die Kommunikation stets patientenzentriert erfolgen, da sie sowohl im interprofessionellen Team als auch im direkten Patientenkontakt wesentlich zur Erhöhung der Patientensicherheit, zur Reduktion von Stress- und Angstreaktionen sowie zur Optimierung der Versorgungsqualität beiträgt.

Ein klar strukturierter, patientenorientierter, evidenzbasierter und transparenter anästhesiologischer Behandlungsplan ist daher essenziell, um Komplikationen zu minimieren und das klinische Outcome sowie die neurologische Prognose der Patient:innen zu verbessern.

5 Methodik

Grundlage der literaturbasierten Analyse bildete eine umfassende Literaturrecherche, bei der grundlegende theoretische Inhalte aus Fachbüchern mit aktuellen Studien, Leitlinien und Metaanalysen zusammengeführt wurden. Der systematische Vergleich dieser Quellen ermöglichte es, sowohl theoretische Grundlagen als auch empirische Forschungsergebnisse zu berücksichtigen und in einen übergeordneten Kontext einzuordnen.

Datenbanken	Suchbegriffe
- PubMed - swisscovery UB und ZB Zürich - Georg Thieme Verlag - Springer Link - AWMF - Google Scholar - UpToDate - Google - Medline - Chochrane Library - Embase	- neurogenic shock - spinal cord injury - anesthesiological focus - Halswirbelsäulenoperation - perioperative management spinal cord injury - airwaymanagement spinal cord injury - warming - hypothermia - Anästhesie - Intensivmedizin - Nahinfrarotspektroskopie - Lidoc - ProAct - trauma sensible communication

Tabelle 1: für die Literaturrecherche verwendete Datenbanken und Suchwörter (eigene Darstellung)

6 Erste Ergebnisse

6.1 Einleitung

Die vorliegende Projektarbeit befasst sich mit dem perioperativen Anästhesiemanagement bei Patient:innen, die infolge einer Verletzung der Halswirbelsäule einen neurogenen Schock erlitten haben. Um die Tragweite einer solchen Verletzung in ihrer gesamten Komplexität nachvollziehen zu können, werden zunächst die anatomischen und physiologischen Grundlagen erläutert. Denn der physiologische Zustand stellt die Ausgangslage, den Richtwert und zugleich das Ziel aller anästhesiologischen Massnahmen und Bestrebungen dar. Darauf aufbauend werden die Diagnostik und Differenzialdiagnostik sowie die zentralen anästhesiologischen Aspekte des Managements der Atemwegssicherung, Beatmung, Kreislaufstabilisation, Thermoregulation und der Kommunikation ausgearbeitet. Ziel dieser Projektarbeit ist es, die pathophysiologischen Zusammenhänge, klinischen Besonderheiten sowie die pflegerischen und medizinischen Schwerpunkte und Herausforderungen zu beleuchten sowie aktuelle Behandlungsempfehlungen zu eruieren.

6.2 Neuroanatomische und -physiologische Grundlagen

6.2.1 Zentrales und peripheres Nervensystem

Das menschliche Nervensystem wird in zentral und peripher unterteilt. Während das zentrale Nervensystem (ZNS) die übergeordneten Zentren, das Gehirn und Rückenmark umfasst, inkludiert das periphere Nervensystem (PNS) alle ausserhalb dieser zwei Zentren liegenden Nervenzellen und -bahnen. Sie verbinden die Peripherie mit dem Zentrum. Nach Funktion und Art des Nervensystems unterteilt man weiter in das somatomotorische und autonome Nervensystem. (1, S. 156)

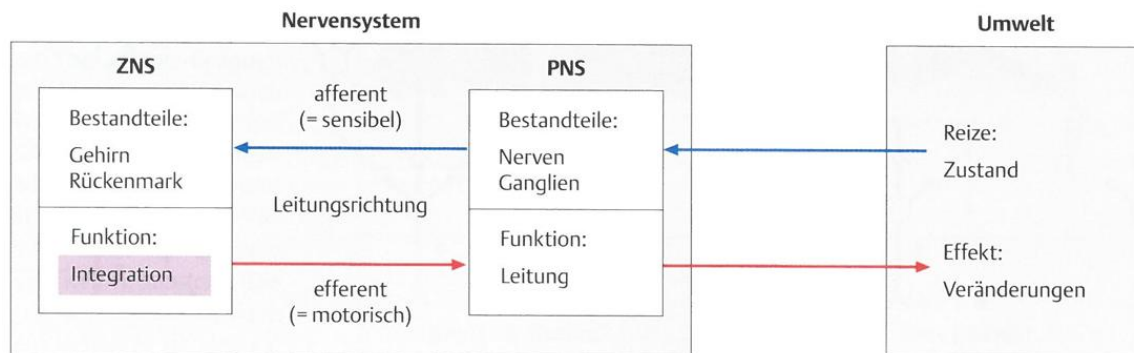


Abbildung 1: funktionelle Einleitung des Nervensystems (2, S. 266)

6.2.2 Somatomotorisches und autonomes Nervensystem

Das somatomotorische Nervensystem steuert alle dem Bewusstsein und Willen untergeordneten, also willkürlichen Vorgänge. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Bewegung von Muskeln. Das autonome Nervensystem hingegen reguliert und steuert Vorgänge der inneren Organe, welche unwillkürlich erfolgen. Ein klassisches Beispiel dafür ist die Peristaltik im Magen-Darm-Trakt. (1, S. 156)

6.2.3 Rückenmark

Das Rückenmark (Medulla spinalis) bildet die zentrale Verbindung zwischen dem Gehirn (ZNS) und den Spinalnerven (PNS). Es leitet über die efferenten Nervenbahnen Nervenimpulse von zentral nach peripher und über die afferenten Nervenbahnen wieder zurück. Diese Reizleitung findet in der Substantia alba statt. Sie wird in einen anterioren und posterioren Funiculus unterteilt, wobei jede Hälfte weiter in einen Vorder-, Seiten- und Hinterstrang gegliedert wird. Jeder dieser Funiculi enthält efferente oder afferente Nervenbahnen. Des Weiteren fungiert das Rückenmark als Reflexzentrum, welches sich in Form von Neuronen mit unterschiedlichen Funktionen in der Substantia grisea befindet. Es dient dem Körper als schneller und automatisierter Schutz- sowie Reaktionsmechanismus. Man unterteilt die äusseren Anteile der Substantia grisea in Vorder-, Seiten- und Hinterhorn. Im Vorderhorn liegen die motorischen Neuronen, auch Motoneuronen genannt, welche die ventrale Wurzel eines Spinalnervs bilden und in seinen Ästen zur quergestreiften Muskulatur ziehen. Im Seitenhorn liegen die Neuronen des autonomen Nervensystems. Seine efferenten Neuronen trennen sich kurz nach Austritt aus dem Wirbelkanal vom Spinalnerv und ziehen zu den Grenzstrangganglien. Im Hinterhorn liegen die sensiblen Neuronen, welche über die dorsale Wurzel eines Spinalnervs Nervenimpulse aus der Peripherie zum Rückenmark leiten. (1, S. 157)

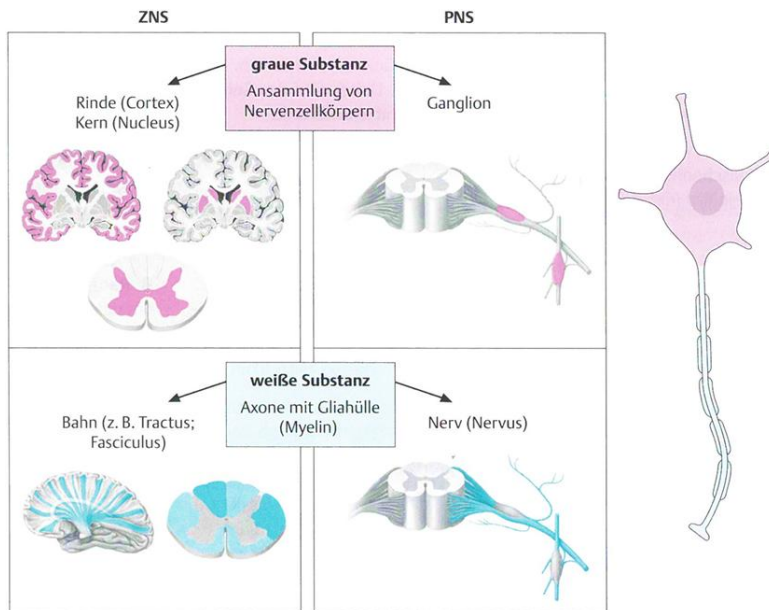


Abbildung 2: strukturelle Gliederung des Nervensystems (2, S. 269)

6.2.4 Rückenmarkssegmente

Das im Rückenmark enthaltene Nervengewebe entspringt dem verlängerten Mark ungefähr auf Höhe des grossen Foramen magnum und zieht im Canalis vertebralis bis zur Höhe des zweiten Lendenwirbelkörpers hinab. Beidseitig entspringen diesem über die gesamte Rückenmarkslänge immer eine ventrale und dorsale Nervenwurzel, welche sich nachfolgend zu den 31 Spinalnerven vereinigen. Auch die Rückenmarkssegmente werden dementsprechend unterteilt und umfassen jeweils unterschiedliche Reflex- und Verschaltungszentren. (1, S. 156 – 157)

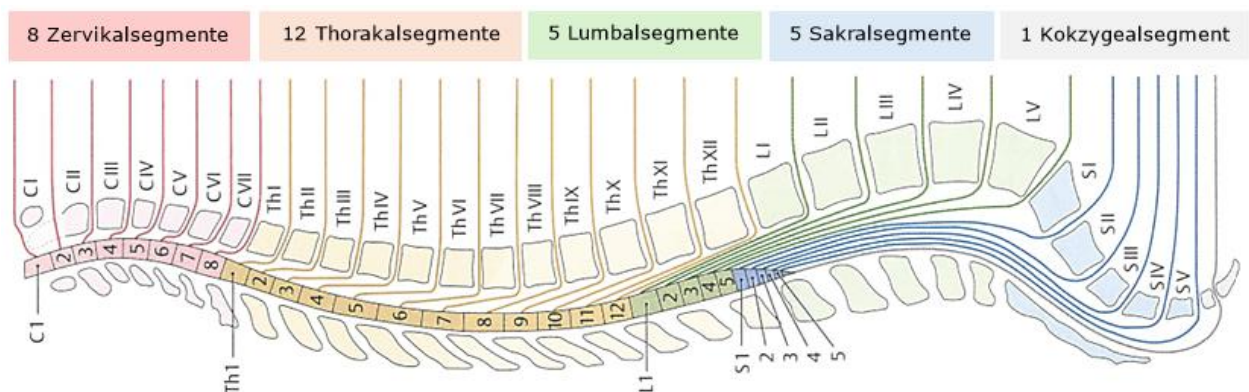


Abbildung 3: Einteilung und Lage der Rückenmarkssegmente (in Anlehnung an 3, S. 90)

6.2.5 Efferente und afferente Nervenbahnen

Die efferenten Nervenbahnen schalten Impulse vom ersten auf das zweite Motoneuron, wo sie über die Spinalnerven und dessen Äste zu den ausführenden Skelettmuskeln gelangen. Hierbei wird zwischen zwei grossen motorischen Systemen unterschieden; die pyramidalen und extrapyramidalen Bahnen. Sie sind nach ihrem Ursprungsort und Zielpunkt benannt

und für die willkürliche (pyramidale Bahnen) beziehungsweise unwillkürliche (extrapyramidale Bahnen) Bewegungssteuerung zuständig. (1, S. 158)

Bei den afferenten Nervenbahnen gelangen Impulse über die dorsale Wurzel der Spinalnerven zum Rückenmark, wo sie drei unterschiedliche Leitungswege nehmen können. Über den sogenannten Eigenapparat des Rückenmarks enden sie im selben oder einem benachbarten Segment, wo sie auf ein in die Peripherie führendes Motoneuron umgeschaltet werden. Sie bilden jene Reflexe, welche das Grosshirn nicht kontrollieren kann. Der Aufstieg über die beiden anderen Wege, den Vorderseiten- und Hinterseitenstrang, übermittelt die peripheren Informationen von Nozizeptoren, Mechano- sowie Thermorezeptoren ans Gehirn. (1, S. 157 – 158)

6.2.6 Spinalnerven mit ihren Ästen und Plexus

Zwischen jedem Wirbelkörper liegt das Foramen intervertebrale, aus welchem die Spinalnerven den Canalis vertebralis verlassen. Unmittelbar danach teilen sie sich weiter in verschiedene ventrale und dorsale Nervenäste. Während die Rami dorsalis einzelne Regionen endversorgen, verlaufen die Rami ventrales zunächst zu Spinalnervenplexus zusammen, bevor sie durch erneute Aufteilung einzelne periphere Nerven bilden. Diese Plexus werden jeweils nach jenem Rückenmarkssegment benannt, aus dem sie entspringen. Ein Beispiel dafür ist der Plexus cervicalis, welcher sich aus den zervikalen Wirbelkörpern eins bis vier entspringenden Nervenästen bildet. Der wichtigste Nerv dieses Plexus stellt dabei der Nervus phrenicus dar, welcher das Diaphragma innerviert und somit von grösster Relevanz für eine physiologische und suffiziente Atmung ist. (1, S. 158 – 159)

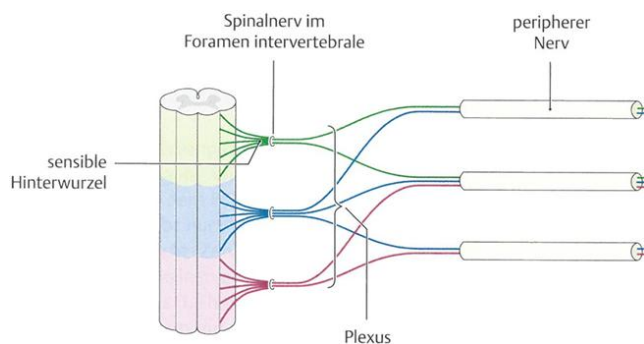


Abbildung 4: anatomischer Verlauf eines Spinalnervs (2, S. 92)

6.2.7 Autonomes Nervensystem

Für das autonome Nervensystem wird häufig das Synonym vegetatives Nervensystem verwendet. Es reguliert unwillkürliche Mechanismen autonom, also ohne relevante Beeinflussung durch den Willen und das Bewusstsein. Hauptaufgabe des autonomen Nervensystems ist die Steuerung der lebenswichtigen Regelkreise von Atmung, Kreislauf, Stoffwechsel, Verdauung, Elektrolyt- und Wasserhaushalt sowie Sexualfunktion. Auch hier lässt sich auf physiologischer Ebene eine weitere, funktionelle Unterteilung vornehmen. Während der Sympathikus aktivierend auf den Körper wirkt und „Fight-or-Flight“-Reaktionen reguliert, übernimmt der Parasympathikus eine dämpfende Funktion und steuert die „Rest-and-Digest“-Prozesse. In engem Zusammenspiel nehmen sie ständig Anpassungen an die Bedürfnisse des Körpers vor und halten so das autonome, auch sympathovagale Gleichgewicht genannt, aufrecht. Dafür werden über verschiedene Rezeptoren des PNS unterschiedliche Informationen in Form von elektrischen Impulsen aufgenommen und afferent an das ZNS geleitet. Dort werden sie verarbeitet und die daraus resultierende Gegenantwort als efferente Information über das prä- und postganglionäre Neuron wieder zurück ans Zielorgan verschalten. Ein grosser Teil der

efferenten und afferenten Signalübertragung erfolgt über den Nervus vagus. (1, S. 174 – 175)

6.2.7.1 Nervus vagus

Der Nervus vagus ist der zehnte Hirnnerv und Hauptnerv des Parasympathikus. Über seine efferenten Fasern steuert er unter anderem die Motorik der glatten Muskulatur sowie die Sekretion der inneren Organe. Zudem enthält er afferente Fasern, welche Informationen aus den Organen an das ZNS weiterleiten. Der Nervus vagus verläuft beidseits entlang der Arteriae carotides in Richtung Thorax und gibt dort Äste zum Herzen und zur Lunge ab. Anschliessend zieht er entlang des Ösophagus durch den Hiatus oesophageus des Diaphragmas in das Abdomen, wo er unter anderem Gaster, Hepar, Pankreas sowie Teile des Intestinum tenue und Colons parasympathisch innerviert. (1, S. 163)

6.2.7.2 Peripherer Sympathikus und Parasympathikus

Das sympathische Nervensystem (SNS) entspringt auf Höhe des achten zervikalen Wirbelkörpers und erstreckt sich über die thorakolumbalen Segmente des Rückenmarks. Die Zellkörper der präganglionären Neuronen befinden sich in den Seitenhörnern des Rückenmarks. Afferente Neuronen aus den dorsalen Wurzelganglien können direkt oder indirekt auf diese präganglionären Neuronen einwirken und reflexartige sympathische Reaktionen auslösen. Diese werden in der Regel durch übergeordnete Zentren wie den Kortex, die Insula, die Amygdala, den Hypothalamus sowie die Medulla moduliert. Die präganglionären Fasern verlassen das Rückenmark über die Vorderwurzel, verlaufen zunächst gemeinsam mit dem Spinalnerv und ziehen anschliessend über den Ramus communicans albus zu den sympathischen Grenzstrangganglien. Diese liegen beidseits der Wirbelsäule, sind segmental angeordnet und untereinander verbunden. In ihnen werden präganglionäre Fasern, insbesondere für Kopf-, Hals- und Brustorgane, auf postganglionäre Neuronen umgeschaltet. Die postganglionären Fasern gelangen anschliessend über den Ramus communicans griseus zurück zum Spinalnerv und werden von dort zu ihren Zielorganen weitergeleitet. Präganglionäre Fasern können im Grenzstrang zudem auf- oder absteigen und erst in einem anderen Segment auf postganglionäre Neuronen umgeschaltet werden. Fasern, die Bauch- und Beckenorgane versorgen, werden hingegen nicht im Grenzstrang verschaltet, sondern ziehen weiter zu prävertebralen Ganglien in der Nähe von grossen Arterien. Von dort aus verlaufen die postganglionären Fasern häufig in Form von Plexus entlang der Blutgefässe zu den entsprechenden Organen und verbinden sich dort teilweise mit parasympathischen Strukturen.

Die sympathische Signalübertragung zwischen prä- und postganglionären Neuronen erfolgt über den Neurotransmitter Acetylcholin. Postganglionäre sympathische Neuronen setzen dabei überwiegend Noradrenalin frei, um ihre Zielorgane zu beeinflussen. Eine Besonderheit stellt das Nebennierenmark dar. Dort sind die postganglionären Neuronen zu chromaffinen Zellen umgewandelt, welche bei Aktivierung des Sympathikus Adrenalin und Noradrenalin direkt in den Blutkreislauf abgeben, wo sie als Hormone im ganzen Körper wirken. Eine weitere Ausnahme sind die sympathischen Fasern zu den Schweißdrüsen, die ebenfalls Acetylcholin freisetzen. (1, S. 175 – 176; 4, S. 2)

Adrenalin und Noradrenalin entfalten ihre Wirkung über adrenerge Rezeptoren. Dabei vermitteln Alpha-1-Adrenorezeptoren hauptsächlich eine Vasokonstriktion, während Alpha-2-Adrenorezeptoren an der Regulation der Noradrenalinfreisetzung beteiligt sind. Die Aktivierung von Beta-1-Adrenorezeptoren führt zu einer positiven chronotropen und inotropen Wirkung am Herzen, während Beta-2-Adrenorezeptoren unter anderem eine Broncho- sowie Vasodilatation in der Skelettmuskulatur bewirken. Die sympathische Versorgung der Organe ist segmental organisiert. Das Herz wird vor allem aus den Segmenten Th1 bis Th5 innerviert, der Magen-Darm-Trakt aus Th6 bis Th11, die Nieren aus Th10 bis Th12 und die unteren Harnwege sowie Fortpflanzungsorgane aus Th10 bis L2.

Auch die Gefäße der Extremitäten werden über diese Rückenmarkssegmente sympathisch innerviert. (4, S. 2)

Das parasympathische Nervensystem (PNS) entspringt aus der kraniosakralen Achse, was bedeutet, dass seine präganglionären Neuronen im Hirnstamm und sakralen Rückenmark liegen. Im Gegensatz zum Sympathikus besitzt der Parasympathikus somit zwei räumlich voneinander getrennte Zentren. Die präganglionären Fasern ziehen über Hirn- beziehungsweise Spinalnerven zu parasympathischen Ganglien, wo sie auf die postganglionären Neuronen verschaltet werden. Im Gegensatz zum sympathischen Nervensystem liegen die parasympathischen Ganglien meist in unmittelbarer Nähe des Zielorgans oder als intramurale Plexus direkt in Hohlorganen des Gastrointestinaltrakts oder der Vesica urinaria. Dadurch sind die präganglionären Fasern relativ lang, während die postganglionären Fasern vergleichsweise kurz sind. (1, S. 176; 4, S. 3)

Die parasympathische Signalübertragung erfolgt überwiegend über den Neurotransmitter Acetylcholin, der an muskarinergen Rezeptoren wirkt. Muskarinerge Acetylcholinrezeptoren vom Subtyp 3 vermitteln unter anderem die Kontraktion der glatten Muskulatur im Gastrointestinaltrakt und in der Vesica urinaria sowie die Aktivität verschiedener Drüsen. Rezeptoren vom Subtyp 1 sind hingegen an der Förderung der Magensäuresekretion beteiligt, während jene vom Subtyp 2 am Herzen eine negative Chronotropie bewirken. (4, S. 3)

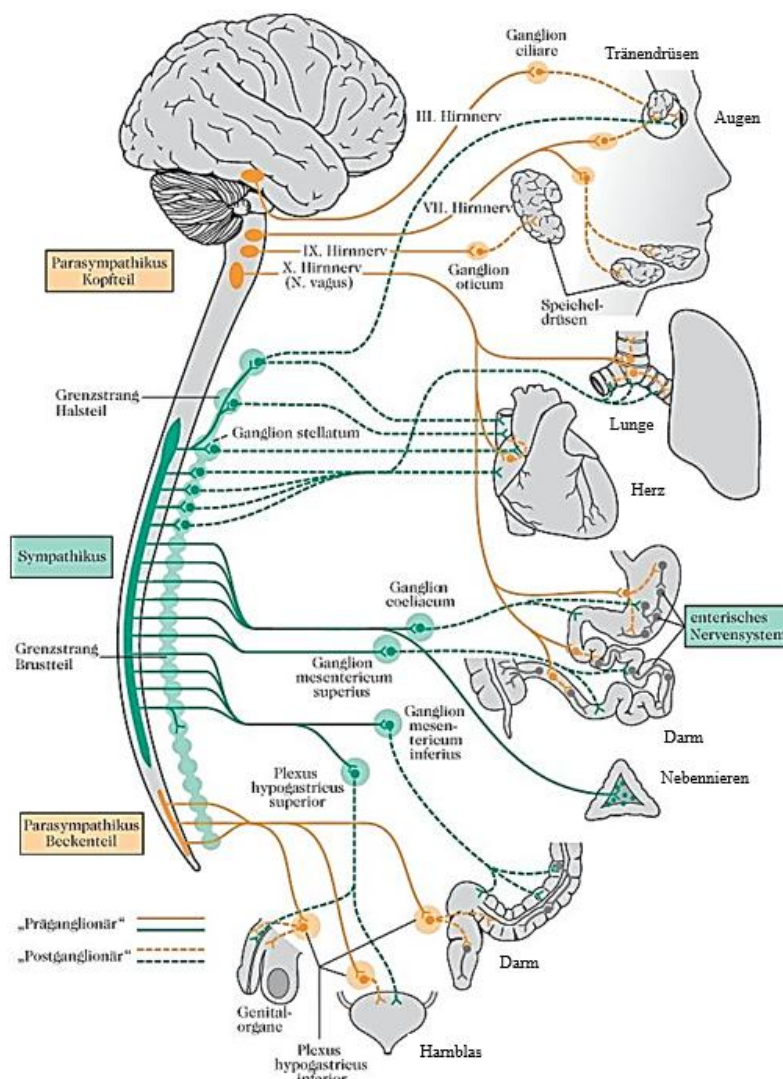


Abbildung 5: autonomes Nervensystem (in Anlehnung an 5)

Organsystem	Sympathikus	Parasympathikus
Pupillen	Mydriasis	Miosis
Speicheldrüsen	verminderte Salivation (wenig und zäh)	vermehrte Salivation (viel und flüssig)
Herz	positive Inotropie, Chronotropie, Lusitropie, Dromotropie und Bathmotropie	negative Inotropie, Chronotropie, Lusitropie, Dromotropie und Bathmotropie
Lungen	verminderte Bronchialsekretion Bronchodilatation	vermehrte Bronchialsekretion Bronchokonstriktion
Gastrointestinaltrakt	verminderte Sekretion und Peristaltik	vermehrte Sekretion und Peristaltik
Pankreas	verminderte Sekretion	vermehrte Sekretion
Gefässe	Vasokonstriktion	Vasodilatation
Schweissdrüsen	Hyperhidrose	keine Wirkung
Haut	Piloerektion	keine Wirkung

Tabelle 2: sympathische und parasympathische Wirkung auf ein Organsystem (2, S. 103)

Diese Ausführungen zur Neuroanatomie und -physiologie sind nicht abschliessend, da sie ausschliesslich des Verständnisses von Inhalten dieser Projektarbeit dienen sollen. Zur weiteren Vertiefung einer Thematik können die angegebenen Literaturen im Literaturverzeichnis eingesehen werden.

6.3 Pathophysiologische Grundlagen

Eine gesunde Wirbelsäule kann hohe Belastungen aushalten, ohne dass Knochen oder Rückenmark geschädigt werden. Werden diese Belastungsgrenzen jedoch überschritten, können Verletzungen entstehen. Ursächlich dafür sind häufig Hyperextension, Hyperflexion, Kompression und Rotationsbewegungen. Seltener, jedoch ebenfalls von Bedeutung, sind zudem seitliche Scher- und Krafteinwirkungen. (8, S. 233 – 234)



Abbildung 6: Mechanismen eines stumpfen Wirbelsäulentraumas (8, S. 234 – 235)

Auch bei Verletzungen der Wirbelsäule ist Schmerz ein wichtiger Hinweis auf eine Schädigung. Zusätzlich können Gefühlsstörungen an der Wirbelsäule und den Extremitäten, Deformationen, Wunden und/oder Kraftverlust auftreten. Ein Verlust von Motorik oder Sensibilität beruht dabei stets auf einer Nervenschädigung. Sie kann das Schmerzempfinden reduzieren und dadurch Haupt- sowie Begleitverletzungen maskieren. Bei etwa 14% aller Wirbelsäulenverletzungen ist das Rückenmark mitbetroffen, wobei dieser Anteil bei Halswirbelsäulenverletzungen rund 40% beträgt. Umgekehrt kommt es bei Rückenmarksverletzungen in etwa 33% der Fälle zu Schädigungen der knöchernen Strukturen. Die Abkürzung SCIWORA (Spinal Cord Injury without Radiographic Abnormality) beschreibt dieses Phänomen, bei dem Sensibilitätsstörungen und/oder Kraftverlust ohne nachweisbare Frakturzeichen vorliegen.

Es kann zwischen primären und sekundären Schädigungen unterschieden werden. Primäre Schädigungen entstehen beispielsweise durch Kompression oder Minderperfusion direkt beim Unfall und sind meist irreversibel. Sekundäre entwickeln sich hingegen im weiteren Verlauf, etwa durch Hypotonie, Hypoxie, Gefässverletzungen oder Schwellungen am Läsionsort. Sie sind durch vaskuläre Störungen, Ödembildung und Entzündungsprozesse gekennzeichnet, häufig vermeidbar und gelegentlich reversibel. (8, S. 235 – 236; 9)

6.3.1 Periphere und zentrale Lähmung

Basierend auf dem Ursprung der Nervenschädigung, wird zwischen peripherer und zentraler Lähmung unterschieden. Eine periphere Lähmung entsteht durch Schädigung des zweiten Motoneurons, wodurch keine Impulse mehr zu den Muskeln gelangen können. Durch den Ausfall der Muskelreflexe, kann kein Ruhetonus mehr aufgebaut werden, weshalb die Muskeln folglich schlaff werden und atrophieren.

Bei der zentralen Lähmung liegt eine Schädigung des ersten Motoneurons vor. Während hier die Muskelreflexe zwar erhalten bleiben, ist der Ruhetonus aufgrund der fehlenden hemmenden Einflüsse des ZNS gesteigert. Es entsteht eine Spastik, bei welcher die Muskeln einen erhöhten Widerstand bei passiven Bewegungen zeigen, nicht aber atrophieren. (1, S. 173)

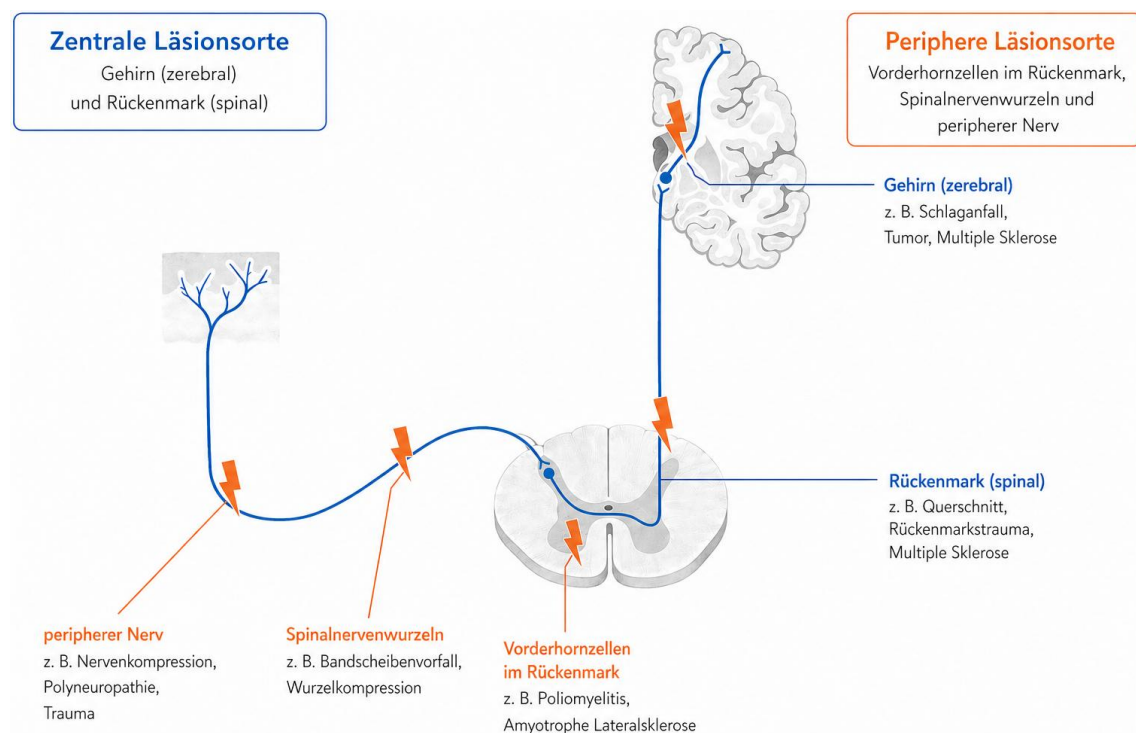


Abbildung 7: Läsionsstelle der peripheren und zentralen Lähmung (in Anlehnung an 1, S. 291)

Die Querschnittslähmung ist eine kombinierte Form der beiden Lähmungsarten, weil im Rückenmark auf Höhe der Verletzung sowohl das erste (zentrales) als auch das zweite (periphere) Motoneuron lädiert sind. Dadurch entstehen am Läsionsort periphere und unterhalb davon zentrale Lähmungszeichen. Neben dem Verlust der Sensibilität und Willkürmotorik kommt es des Weiteren zu Ausfällen der vegetativen Funktion, welche die bereits erwähnten Regelkreise von Atmung, Kreislauf, Stoffwechsel, Verdauung, Elektrolyt- und Wasserhaushalt sowie Sexualfunktion betrifft. Die daraus resultierenden, vielfältigen und komplexen Funktionsausfälle verdeutlichen die infolgedessen entstehende weitreichende Problematik, welche aufgrund ihrer Vielzahl an Symptomen häufig als Querschnittssyndrom bezeichnet wird. Dessen pathophysiologische Konsequenzen manifestieren sich häufig als neurogener Schock. (1, S. 173)

6.3.2 Neurogener Schock

Der neurogene Schock ist ein klinisches Syndrom, das infolge einer Schädigung des Rückenmarks oder des Hirnstamms entsteht und mit einer Störung der autonomen Kreislaufregulation einhergeht. Rückenmarksverletzungen führen primär zu einer mechanischen Schädigung von Axonen und Nervenmembranen im Rückenmark. Besonders bedeutsam ist dabei die Verletzung präganglionärer sympathischer Neuronen im Nucleus intermediolateralis, in der lateralen Substantia grisea sowie in der Vorderwurzel. Diese Strukturen sind wesentlich an der Regulation des sympathischen Gefäßtonus beteiligt, weshalb ihre Schädigung zu erheblichen kardiovaskulären Beeinträchtigungen führen kann. Darüber hinaus werden sowohl efferente als auch afferente sympathische Nervenbahnen unterbrochen, was ebenfalls zu diversen Störungen der sympathischen Regulation führt. Charakteristisch für den neurogenen Schock entsteht infolgedessen ein Ungleichgewicht im sympathovagalen System. Dieses Ungleichgewicht hat neben den kardiovaskulären auch weitreichende Auswirkungen auf das respiratorische, gastrointestinale, genitourinäre sowie das thermoregulatorische System. (9; 10, S. 2)

6.3.2.1 Kardiovaskuläre Auswirkungen

Der neurogene Schock tritt besonders häufig bei Rückenmarksläsionen oberhalb des sechsten thorakalen Segments auf. In diesem Bereich werden die efferenten Impulse zu den sympathischen splanchnischen Nerven unterbrochen, welche wie bereits erwähnt eine zentrale Rolle bei der Aufrechterhaltung des Gefäßtonus spielen. Infolge des sympathischen Ausfalls kommt es unterhalb des Läsionsniveaus zu einer generalisierten Vasodilatation, insbesondere der venösen Kapazitätsgefäße, wodurch sich die Gefäßkapazität erhöht, während der venöse Rückfluss zum Herzen abnimmt. Trotz initial unverändertem Blutvolumen führt die Umverteilung des Blutes in die erweiterten Gefäßbeete funktionell zu einer relativen Hypovolämie und damit zu einer ausgeprägten Hypotonie. Gleichzeitig entfällt der sympathische Einfluss auf die Nervi cardiaci, was zu negativer Inotropie, Chronotropie, Dromotropie, Bathmotropie und Lusitropie sowie zur Reduktion des Herzzeitvolumens führt. Klinisch resultiert daraus eine neurogene Bradykardie, die zusammen mit der Hypotonie als Leitsymptom des neurogenen Schocks gilt. Aufgrund der peripheren Vasodilatation zeigt sich zudem häufig eine warme und rosige Haut an den Extremitäten. (9; 10, S. 7; 11, S. 764; 12, S. 5 – 6)

6.3.2.2 Respiratorische Auswirkungen

Bei hohen thorakalen und zervikalen Rückenmarksverletzungen führt die parasympathische Dominanz zu bronchialer Konstriktion, Hyperreagibilität der Atemwege sowie vermehrter Sekretsekretion. Gleichzeitig verursacht die Lähmung der Interkostal- und Bauchmuskulatur, auch Atemhilfsmuskulatur genannt, eine restriktive Ventilationsstörung

mit eingeschränkter Hustenfähigkeit. Dadurch steigt das Risiko für Atelektasen, Sekretretention und Pneumonien. (4, S. 7)

6.3.2.3 Gastrointestinale Auswirkungen

Nach Rückenmarksverletzungen kann auch die autonome Regulation des Gastrointestinaltrakts gestört sein. Häufig kommt es dabei zu einer erhöhten Magensäuresekretion und verzögerter Magenentleerung. Gleichzeitig kann eine gestörte parasympathische Innervation des distalen Kolons zu reduzierter Darmmotilität sowie einem neurogenen Darm mit Obstipation oder Inkontinenz führen. (4, S. 8)

6.3.2.4 Thermoregulatorische Auswirkungen

Patient:innen mit Rückenmarksverletzung zeigen häufig eine Poikilothermie, da durch die Unterbrechung sympathischer Bahnen die zentrale Thermoregulation gestört ist. Normalerweise wird die Körpertemperatur durch den Hypothalamus reguliert, der über kutane Vasodilatation oder -konstriktion, Schwitzen, Zittern, Piloerektion, erhöhter Metabolismus und Wärmeumverteilung den Wärmehaushalt steuert. Bei hohen thorakalen oder zervikalen Läsionen sind diese Mechanismen unterhalb des Läsionsniveaus eingeschränkt, wodurch Wärmeabgabe und -erhalt beeinträchtigt sind. Dies kann zu Hyperthermie, auch neurogenes Fieber genannt, oder umgekehrt zu Hypothermie führen. Neurogenes Fieber gilt dabei als Ausschlussdiagnose, nachdem andere Ursachen wie Infektionen oder thromboembolische Ereignisse ausgeschlossen wurden. (4, S. 6 – 7)

6.4 Diagnostik

Zur sicheren Diagnosestellung eines neurogenen Schocks ist eine gründliche Anamneseerhebung erforderlich. Dabei erfasst das ärztliche Personal detailliert klinische, bildgebende, laborchemische und kinetische Befunde, wozu das ABCDE-Schema als Orientierungshilfe herbeigezogen werden kann. (12, S. 4)

6.4.1 Klinische Untersuchung

In der klinischen Beurteilung des Allgemeinzustandes liegt das Augenmerk vor allem auf dem Bewusstsein, Hautkolorit und Atmungssystem. Zusätzlich wird der Volumenstatus überprüft; Gibt es periphere Ödeme? Sind die Halsvenen kollabiert oder gestaut? Wie zeigt sich der Hautturgor? Wie palpiert man die peripheren Pulse? Sind sie typischerweise schwach und fadenförmig? Ist die Peripherie aufgrund der Vasodilatation warm und rosig? (12, S. 4; 13, S. 354)

6.4.2 Basis- und erweitertes Monitoring

In einem weiteren Schritt werden zur Gewährleistung eines engmaschigen Monitorings ein kontinuierliches Elektrokardiogramm, eine Pulsoxymetrie, eine invasive Blutdruckmessung sowie ein zentralvenöser Katheter zur Messung des zentralen Venendrucks angelegt. (12, S. 4; 13, S. 354; 18, S. 968)

6.4.3 Bildgebende Verfahren

Für die Entscheidungsfindung eine Bildgebung durchzuführen, können die fünf NEXUS-Kriterien zur Hilfe genommen werden. (40, S. 84) Zur Beurteilung möglicher Rückenmarksverletzungen werden bildgebende Verfahren wie die Computertomographie

(CT) oder die Magnetresonanztomographie (MRT) eingesetzt. Diese Untersuchungen dienen nicht nur der Identifikation der zugrunde liegenden Schädigungsursache, sondern auch dem Ausschluss anderer möglicher Differentialdiagnosen wie beispielsweise einer Basilaristhrombose, Subarachnoidalblutung oder entzündlichen Erkrankung. Eine frühzeitige Durchführung der Bildgebung ist anzustreben, da sie im gesamten diagnostischen Prozess eine zentrale Rolle einnimmt. (13, S. 354 – 356)

6.4.4 Neurologische Untersuchung

Die neurologische Untersuchung umfasst die Sensibilitätstests auf Schmerz- und Berührungsreize. Diese Untersuchungen erfolgen systematisch von Kopf bis Fuss, um das Ausmass eines Sensibilitäts- und Motorikausfalls zu bestimmen. Die genaue Höhe lässt sich dabei mithilfe der Dermatome (für die Sensibilität) und Myotome (für die Motorik) schematisch einordnen. (14, S. 23)

6.4.5 Labordiagnostik

Die Labordiagnostik dient primär der Beurteilung von Organfunktionen sowie dem Nachweis möglicher Infektionen oder metabolischer Störungen. Bei Verdacht auf entzündliche Ursachen kann ergänzend dazu eine Liquoruntersuchung zum Ausschluss einer Meningitis oder Enzephalitis durchgeführt werden. Besteht der Verdacht auf eine Intoxikation, kann zudem eine Urinprobe sinnvoll sein. (13, S. 354 – 356)

Derzeit existieren keine spezifisch validierten Scores, die ausschliesslich zur Diagnostik eines neurogenen Schocks entwickelt wurden. Die Diagnosestellung erfolgt daher überwiegend klinisch und basiert auf dem Ausschluss anderer möglicher Differenzialdiagnosen sowie auf dem Vorliegen der typischen klinischen Symptomatik.

6.5 Differenzialdiagnostik

Zu den wichtigsten Differenzialdiagnosen des neurogenen Schocks zählen insbesondere andere Schockformen. Hierzu gehören vor allem der hypovolämische beziehungsweise hämorrhagische, kardiogene, septische, anaphylaktische, endokrine und der spinale Schock. (12, S. 8)

In der Literatur werden in der Differenzialdiagnostik des neurogenen Schocks häufig der spinale und der hämorrhagische Schock diskutiert. Da Traumapatient:innen mit Hämorrhagie von dieser Projektarbeit jedoch klar ausgeschlossen wurden, wird im folgenden Abschnitt ausschliesslich der Unterschied zwischen dem neurogenen und spinalen Schock erläutert.

6.5.1 Unterschied zwischen dem neurogenen und spinalen Schock

Im Gegensatz zum neurogenen Schock beschreibt der spinale Schock eine vorübergehende Funktionsstörung der afferenten und efferenten Nervenbahnen im Rückenmark im Sinne eines Ausfalls der spinalen Reflexaktivität unterhalb der Läsion. Dabei fallen motorische, sensorische und vegetative Funktionen akut aus. Klinisch zeigt sich auch bei inkompletter Läsion häufig eine komplette Querschnittssymptomatik mit initial peripheren Lähmungszeichen unterhalb der Läsion. Typisch sind Areflexie, muskuläre Atonie sowie ein Verlust der Sensibilität für sämtliche Modalitäten, einschliesslich Berührung, Tiefensensibilität, Vibration, Schmerz und Temperatur. Im weiteren Verlauf kehren die spinalen Reflexe schrittweise zurück und es treten zunehmend zentrale Lähmungszeichen wie Spastik sowie eine gesteigerte Reflexaktivität bis hin zur Hyperreflexie auf. Der spinale Schock setzt in der Regel etwa 30 bis 60 Minuten nach dem Trauma ein und kann über

einen Zeitraum von vier bis sechs Wochen anhalten. Das Auftreten solcher zentralen Zeichen markiert das Ende des spinalen Schocks und erlaubt für sich genommen keine direkte prognostische Aussage. Bei einer isolierten Kontusion des Rückenmarks ohne strukturelle Läsion zeigt sich der spinale Schock als eine vorübergehende Erscheinung und die Symptome bilden sich innerhalb weniger Tage zurück. (9; 12, S. 1; 16, S. 337; 17, S. 880 – 882; 19, S. 888; 41)

Merkmal	neurogener Schock	spinaler Schock
Definition	Kreislaufversagen durch Ausfall der sympathischen Innervation	vorübergehender Ausfall aller neurologischen Funktionen unterhalb der Rückenmarksläsion
betroffenes System	autonomes Nervensystem, vor allem der Sympathikus	somatomotorisches und autonomes Nervensystem im Rückenmark
Hauptproblem	hämodynamische Instabilität	neurologischer Funktionsausfall
Leitsymptome	Hypotonie, Bradykardie, warme trockene Haut durch Vasodilatation	initial periphere Lähmungszeichen mit Areflexie und muskulärer Atonie, später zentrale Lähmungszeichen
Reflexe	meist erhalten	initial aufgehoben (Areflexie), später Hyperreflexie
Beginn	meist unmittelbar nach der Rückenmarksverletzung	meist Minuten bis Stunden nach dem Trauma
Dauer	Stunden bis Tage	Tage bis Wochen
Ursache	Verlust des sympathischen Gefäßtonus	Unterbrechung afferenter und efferenter Rückenmarksbahnen

Abbildung 8: neurogener und spinaler Schock im Vergleich (in Anlehnung an 9; 10, S. 7; 11, S. 759)

6.6 Atemwegsmanagement und Beatmung

Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule benötigen häufig unmittelbar oder innerhalb der ersten Tage nach dem Trauma eine operative Stabilisierung der Wirbelsäule. Im Rahmen der operativen Versorgung oder zur respiratorischen Unterstützung kann eine Atemwegssicherung erforderlich sein, wobei häufig eine endotracheale Intubation indiziert ist. Ein sicheres Vorgehen setzt voraus, dass sowohl Ärzt:innen als auch Anästhesiepfleger:innen mit den verfügbaren Methoden des Atemwegsmanagements vertraut sind und die spezifischen Anforderungen an Lagerung, adäquate Immobilisation der Halswirbelsäule sowie Anwendung geeigneter Methoden zur Atemwegssicherung beherrschen. Ein strukturiertes und umsichtiges Vorgehen ist dabei essenziell, um sekundäre neurologische Schäden zu vermeiden. (20, S. 1)

6.6.1 Präoperative Beurteilung von Atemweg und Atmung

Wenn es die klinische Situation zulässt, sollte präoperativ eine strukturierte und umfassende Evaluation von Atemweg und Atmung erfolgen, um einen patientenspezifischen Behandlungsplan zu erstellen. Die Kenntnis des Unfallmechanismus ist hierbei essenziell, da sie Rückschlüsse auf mögliche Verletzungsmuster erlaubt und insbesondere für die Planung der Atemwegssicherung von Bedeutung ist. Der Atemweg von Patient:innen mit Halswirbelsäulenverletzungen ist aufgrund des möglichen Weichteilödems grundsätzlich als potenziell schwieriger Atemweg zu betrachten und erfordert daher präoperativ eine möglichst sorgfältige Erhebung weiterer Prädiktoren sowie eine Risikoeinschätzung mittels geeigneter Atemwegsassessments. (21, S. 499 – 500) Darüber hinaus kommt der präoperativen Beurteilung und Überwachung der respiratorischen Funktion eine zentrale Bedeutung zu. Verletzungen der Halswirbelsäule

können zu einer Beeinträchtigung der Atemmuskulatur führen, woraus eine verminderte Vitalkapazität sowie ein reduzierter expiratorischer Druck resultieren können. Bei Läsionen auf Höhe C3 bis C5 ist häufig eine Atemunterstützung erforderlich, die je nach klinischem Verlauf eine endotracheale Intubation oder bei prolongierter Beatmung die Anlage eines Tracheostomas einschliessen kann. Eine frühzeitige Schutzintubation sollte insbesondere bei Hinweisen auf eine respiratorische Insuffizienz erfolgen. Klinische und laborchemische Kriterien hierfür sind unter anderem eine Hypoxämie mit einem arteriellen Sauerstoffpartialdruck <60 Millimeter Quecksilbersäule (mmHg) beziehungsweise <8 Kilopascal (kPa), eine Hyperkapnie mit einem arteriellen Kohlendioxidpartialdruck >45 mmHg beziehungsweise >6 kPa sowie eine Tachypnoe mit einer Atemfrequenz >35 Atemzügen pro Minute trotz adäquater Therapie. Bei Läsionen unterhalb von C5 ist die Spontanatmung häufig erhalten, sodass in vielen Fällen eine unterstützende Sauerstoffgabe ausreichend ist. (21, S. 500)

6.6.2 Immobilisation der Halswirbelsäule während der Intubation

Die sachgerechte Lagerung von Patient:innen mit Halswirbelsäulenverletzung stellt einen zentralen Bestandteil der Versorgung dar und dient der konsequenten Vermeidung sekundärer Rückenmarksschädigungen. Die Verantwortung für sämtliche Lagerungsmanöver liegt dabei beim traumatologisch-chirurgischen Team, da dieses das Verletzungsmuster beurteilt und die Stabilität der Wirbelsäule einschätzt. Bereits im präklinischen Setting wird die achsengerechte Immobilisation der Halswirbelsäule als essenziell beschrieben und muss ab diesem Zeitpunkt konsequent gewährleistet werden. (8, S. 258 – 259) Bewegungen wie Flexion, Extension oder Rotation können nämlich zu einer Progression bestehender Verletzungen führen, weshalb eine möglichst neutrale Position von Kopf und Hals zwingend notwendig ist. Zu diesem Zweck wird den Patient:innen in der Regel eine starre zervikale Immobilisationsorthese angelegt. (23, 1348 – 1349) Die Immobilisation der Halswirbelsäule beeinflusst die Intubationsbedingungen in gewissem Masse jedoch negativ, da die eingeschränkte Möglichkeit zur Achsenausrichtung von Mund-, Pharynx- und Larynxachse die direkte Laryngoskopie zusätzlich erschwert. Infolgedessen steigt die Wahrscheinlichkeit einer schwierigen oder prolongierten Intubation. (20, S. 50 – 51) Aus anästhesiologischer Sicht ergibt sich daraus die Notwendigkeit, eine optimale Balance zwischen rascher Atemwegssicherung und minimaler mechanischer Belastung der Halswirbelsäule zu finden. (23, S. 1348 – 1349) In der klinischen Praxis gilt die Kombination aus starrer Immobilisation und manueller Inline-Stabilisierung (MILS) als Standardtechnik zur Immobilisation der Halswirbelsäule während der Intubation. (24, S. 723 – 724) Ein etabliertes praktisches Vorgehen besteht darin, den vorderen Teil der starren zervikalen Immobilisationsorthese für die Intubation vorübergehend zu entfernen, da diese im geschlossenen Zustand die Mundöffnung einschränkt und die Durchführung der Laryngoskopie erschwert. In Kombination mit der MILS ermöglicht dieses Vorgehen einen verbesserten Zugang zum Atemweg bei gleichzeitiger Minimierung von Bewegungen der Halswirbelsäule. (21, S. 499) Dafür stabilisiert vorzugsweise eine Person des traumatologisch-chirurgischen Teams den Kopf und Hals manuell in neutraler Position. (8, S. 258 – 259) Dadurch sollen Bewegungen der Halswirbelsäule möglichst verhindert und eine kontinuierliche Kontrolle der Kopfposition gewährleistet werden. Studien zeigen, dass die MILS effektiv zur Reduktion zervikaler Bewegungen beiträgt, auch wenn die Sicht auf die Glottisebene aufgrund der eingeschränkten Kopfextension, Achsenausrichtung oder auch anatomischen Veränderungen weiterhin eingeschränkt und die Intubationsbedingungen somit erschwert sein können. (24, S. 723 – 724)

6.6.3 Auswahl der Intubationstechnik

Die Wahl der Intubationstechnik bei Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule im neurogenen Schock stellt eine zentrale Herausforderung im perioperativen Management dar. Grundsätzlich sollte die Atemwegssicherung unter möglichst geringer Bewegung der Halswirbelsäule erfolgen, während gleichzeitig eine rasche und suffiziente Oxygenierung gewährleistet sein muss. Die Literatur zeigt, dass keine einzelne Intubationstechnik den anderen Methoden grundsätzlich überlegen ist. Vielmehr ist entscheidend, dass die Auswahl der geeigneten Methode individualisiert erfolgt und sowohl den klinischen Zustand der Patient:innen als auch die Erfahrung des Behandlungsteams sowie die Dringlichkeit der Atemwegssicherung berücksichtigt. Dabei ist zu beachten, dass in Notfallsituationen die schnelle Sicherung des Atemwegs im Vordergrund steht, während unter stabileren Bedingungen auch technisch anspruchsvollere, jedoch potenziell schonendere Verfahren in Betracht gezogen werden können. (23, S. 1349 – 1350)

Die direkte Laryngoskopie ist trotz ihrer bekannten Limitationen aufgrund ihrer breiten Verfügbarkeit und der hohen Vertrautheit vieler Anwender:innen weiterhin eine wichtige Methode zur Atemwegssicherung. Sie kann in Kombination mit MILS durchgeführt werden, ist jedoch mit relevanten Bewegungen der Halswirbelsäule, insbesondere im oberen zervikalen Bereich, verbunden. Zudem verbessert sie weder die verletzungsbedingt eingeschränkte Achsenausrichtung noch die reduzierte Sicht auf die Glottisebene signifikant, obwohl eine solche Optimierung der Intubationsbedingungen wünschenswert wäre. Dennoch bleibt die direkte Laryngoskopie in Notfallsituationen und wenn andere Methoden nicht unmittelbar zur Verfügung stehen eine wichtige Alternative. (20, S. 50 – 51)

Die fiberoptische Intubation gilt als besonders schonende Methode zur Atemwegssicherung bei Patient:innen mit potenziell instabiler Halswirbelsäule. (26, S. 1) Ihr wesentlicher Vorteil liegt in der Möglichkeit, den Atemweg unter kontinuierlicher visueller Kontrolle und mit minimaler Bewegung der Halswirbelsäule zu sichern, da keine relevante Reklination erforderlich ist. Sie wird insbesondere in elektiven Situationen mit erwartet schwierigem Atemweg empfohlen und kann auch bei wachen Patient:innen durchgeführt werden. Dadurch bleibt die Spontanatmung erhalten und eine kontinuierliche neurologische Beurteilung möglich. Dies stellt den Vorteil dar, dass dadurch das Risiko einer „cannot ventilate, cannot intubate“-Situation reduziert werden kann. (23, S. 1350; 27, S. 75 – 76) Aufgrund des erhöhten technischen Anspruchs und des zeitlichen Aufwands kann ihr Einsatz besonders in Notfallsituationen jedoch eingeschränkt sein. Zudem kann die Durchführung durch Blut, Sekret oder eine eingeschränkte Kooperation von Patient:innen erschwert sein. (26, S. 1)

Die Videolaryngoskopie stellt eine wichtige Weiterentwicklung der direkten Laryngoskopie dar und wird heute häufig als bevorzugte Methode zur Atemwegssicherung bei immobilisierter Halswirbelsäule eingesetzt. Sie ermöglicht eine indirekte Visualisierung der Glottisebene ohne vollständige Achsenausrichtung der Atemwege und reduziert dadurch die Bewegung der Halswirbelsäule. Studien zeigen, dass sie Intubationsschwierigkeiten im Vergleich zur direkten Laryngoskopie reduzieren kann. (24, S. 724 – 726)

Innerhalb der Videolaryngoskopie lassen sich unterschiedliche Spatelformen unterscheiden. Macintosh-ähnliche Videolaryngoskope erlauben sowohl eine direkte als auch eine indirekte Sicht auf die Glottisebene und sind für erfahrene Anwender:innen der konventionellen Laryngoskopie meist intuitiv einsetzbar. Hyperangulierte Spatel, wie beispielsweise das D-Blade, ermöglichen hingegen eine verbesserte Darstellung der Glottis bei gleichzeitig reduzierter Notwendigkeit der Reklination. Ein Nachteil dieser Spatel besteht jedoch darin, dass häufig eine angepasste Tubusführung unter Verwendung eines Führungsdrahts erforderlich ist, wodurch die Methode technisch anspruchsvoller sein kann. (25, S. 269 –

271) Nichtsdestotrotz konnten Studien belegen, dass hyperangulierte Videolaryngoskope im Vergleich zu konventionellen Laryngoskopen mit geringeren zervikalen Bewegungen und einer verbesserten Glottissicht verbunden sind. Dies stellt insbesondere bei Patient:innen mit instabiler Halswirbelsäule einen entscheidenden Vorteil dar, da die Intubation ohne Ausrichtung der Atemwegsachsen möglich ist. (26, S. 1)

Im Sinne einer Rescue-Strategie bei schwieriger oder frustrierender endotrachealer Intubation, stellen gemäss der S1-Leitlinie supraglottische Atemwegshilfen eine bedeutende Alternative dar. Sie gewährleisten jedoch keine definitive Sicherung des Atemwegs und können durch die zur Platzierung notwendigen Manipulationen ebenfalls unerwünschte Bewegungen der Halswirbelsäule verursachen. Aus diesem Grund sollte ihr Einsatz bei instabiler Halswirbelsäule mit entsprechender Vorsicht erfolgen. In Notfallsituationen kann ihre Anwendung jedoch entscheidend sein, um eine lebensbedrohliche Hypoxie zu verhindern. (27, S. 80 – 82)

6.6.4 Ablauf der Atemwegssicherung im neurogenen Schock

Die Narkoseinduktion bei Patient:innen mit Halswirbelsäulenverletzung im neurogenen Schock erfordert ein strukturiertes und sorgfältig geplantes Vorgehen. (29, S. 1 – 2) Ein zentraler Bestandteil der Vorbereitung der Atemwegssicherung ist eine suffiziente Präoxygenierung zur Verlängerung der Apnoetoleranz und folglich Vermeidung einer Hypoxie. Empfohlen wird die Gabe von 100%-igem Sauerstoff über eine dicht sitzende Maske für drei bis fünf Minuten. Bei kritisch kranken Patient:innen kann eine druckunterstützte oder nichtinvasive Beatmung die Oxygenierungsreserve zusätzlich verbessern. Insbesondere bei respiratorischen und/oder neurologischen Einschränkungen ist eine optimierte Präoxygenierung aufgrund des erhöhten Risikos einer raschen Desaturation von besonderer Bedeutung. (27, S. 74 – 75)

Da die autonome Dysregulation im neurogenen Schock mit gastrointestinalen Motilitätsstörungen und einer verzögerten Magenentleerung einhergeht, besteht ein erhöhtes Risiko für Regurgitation und Aspiration. Zur Reduktion des Aspirationsrisikos während der Narkoseinduktion und zur raschen Sicherung des Atemwegs wird häufig eine Rapid Sequence Induction (RSI) oder eine Modified Rapid Sequence Induction (mRSI) durchgeführt. Während bei der klassischen RSI auf eine Maskenbeatmung verzichtet wird, erlaubt die mRSI eine vorsichtige, drucklimitierte Zwischenbeatmung zur Vermeidung einer Hypoxie. Bei elektiven Eingriffen, insbesondere bei Kreislaufstabilen und nüchternen Patient:innen, wird daher häufig eine mRSI bevorzugt. Der zentrale Grund hierfür liegt in der häufig eingeschränkten respiratorischen Reserve bei zervikalen Läsionen, wodurch ein vollständiger Verzicht auf Maskenbeatmung ein zusätzliches relevantes Risiko für eine rasche Desaturation darstellt. Zudem ermöglicht die mRSI eine langsamere und besser titrierbare Narkoseinduktion, was im neurogenen Schock von besonderer Bedeutung ist, da hämodynamische Schwankungen von Patient:innen häufig unzureichend kompensiert werden können. Die Wahl des Verfahrens muss situationsabhängig erfolgen und sich insbesondere am Aspirationsrisiko sowie an der respiratorischen Reserve der Patient:innen orientieren. (27, S. 72 – 75; 28, S. 198 – 199)

Im Rahmen der Medikamentenwahl zur Narkoseinduktion ist insbesondere der Einsatz von Muskelrelaxanzien von Bedeutung. Depolarisierende Muskelrelaxantien wie Succinylcholin können in der Frühphase nach Rückenmarksverletzung eingesetzt werden, sind jedoch nach wenigen Tagen aufgrund des Risikos einer Hyperkaliämie infolge der Upregulation extrajunktionaler Acetylcholinrezeptoren kontraindiziert. In diesen Fällen stellen nicht-depolarisierende Relaxantien die bevorzugte Alternative dar. (29, S. 3 – 4)

6.6.5 Intraoperatives Beatmungsmanagement

Für das intraoperative Beatmungsmanagement lässt sich in der aktuellen Literatur kein eindeutig bevorzugter Beatmungsmodus identifizieren. Vielmehr wird betont, dass aufgrund der Heterogenität der Verletzungsmuster sowie der individuellen respiratorischen Situation kein standardisiertes „one-size-fits-all“-Vorgehen existiert. Die Beatmung soll patientenindividuell angepasst werden, wobei eine adäquate Oxygenierung und Ventilation stets im Vordergrund stehen. (23, S. 1352 – 1353) Zentrales Ziel der intraoperativen Beatmung ist die Aufrechterhaltung einer Normokapnie. Eine inadäquate Ventilation, insbesondere im Sinne einer Hyperventilation, kann über die Kohlenstoffdioxid bedingte Vasokonstriktion die Rückenmarkspfusion reduzieren und sekundäre ischämische Schäden begünstigen. Die Beatmungsparameter sollten daher so gewählt werden, dass der arterielle Kohlendioxidpartialdruck im physiologischen Bereich gehalten wird, damit eine stabile Rückenmarkspfusion gewährleistet werden kann. (23, S. 1352) Auch wenn spezifische intraoperative Modusempfehlungen fehlen, lassen sich anhand der respiratorischen Auswirkungen von Rückenmarksverletzungen grundlegende Prinzipien ableiten, die auf das intraoperative Setting übertragbar sind. Die Beatmung muss dabei die pathophysiologischen Veränderungen berücksichtigen und eine suffiziente Ventilation gewährleisten, um weitere pulmonale Komplikationen zu vermeiden. Zu den zentralen Schwerpunkten zählen insbesondere eine kontrollierte maschinelle Beatmung mit ausreichendem Tidalvolumen zur Vermeidung von Atelektasen, ein suffizientes Sekretmanagement sowie die Sicherstellung eines adäquaten Gasaustauschs. (29, S. 2 – 3)

6.6.6 Extubationsmanagement

Aufgrund des erhöhten Risikos für respiratorische Komplikationen sowie eines potenziell schwierigen Atemwegs stellt die Extubation bei Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule eine kritische Phase des perioperativen Managements dar. Ziel ist eine sichere Entfernung des Endotrachealtubus bei ausreichender Spontanatmung, ohne eine Hypoxie oder Hyperkapnie zu induzieren. Insbesondere Patient:innen mit hohen zervikalen Läsionen weisen häufig eine eingeschränkte respiratorische Reserve auf, was das Risiko eines Extubationsversagens deutlich erhöht. (29, S. 2 – 3)

Die Entscheidungsfindung hinsichtlich der Extubation orientiert sich grundsätzlich an etablierten Leitlinien des Ausleitungsmanagements. Dazu müssen spezifische Faktoren wie Art und Schwere der Rückenmarksverletzung, die Höhe der Läsion, die Dauer und Lagerung während des chirurgischen Eingriffs, das Ausmass des Weichteilödems sowie der intraoperative Blutverlust in die Entscheidungsfindung miteinbezogen werden. Vor der Extubation ist darüber hinaus eine sorgfältige klinische Evaluation der Atemarbeit, der Hustenkraft sowie des Gasaustauschs erforderlich. Da Läsionen im Bereich C3 bis C5 mit einer relevanten Einschränkung der Diaphragmafunktion einhergehen können, was die Wahrscheinlichkeit einer prolongierten respiratorischen Insuffizienz erhöht, ist eine primäre Extubation häufig nicht möglich oder mit einem erhöhten Extubationskomplikationsrisiko verbunden. Kann eine sichere Extubation nicht gewährleistet werden, sollten die Patient:innen postoperativ weiterhin intubiert und kontrolliert beatmet auf die Intensivstation verlegt werden. Bei absehbar längerfristigem Beatmungsbedarf sollte zudem frühzeitig die Indikation zur Tracheotomie geprüft werden. Diese ermöglicht langfristig eine zuverlässige Atemwegssicherung, verbessert das Sekretmanagement und erleichtert das Weaning von der maschinellen Beatmung. (29, S. 1 – 4) Kann nach sorgfältiger Abwägung der Gesamtsituation doch eine Extubation angestrebt werden, sollte diese aufgrund des potenziell schwierigen Atemwegs als Hochrisikosituation betrachtet, entsprechend sorgfältig geplant und unter kontrollierten Bedingungen durchgeführt werden. Dabei ist eine adäquate Vorbereitung auf mögliche Komplikationen essenziell, wozu insbesondere die unmittelbare Verfügbarkeit von neuem Equipment und alternativen Methoden zur notfallmässigen Re-Intubation gewährleistet sein muss. (27, S. 80 – 82)

Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass die Immobilisation der Halswirbelsäule auch während der Extubation konsequent aufrechterhalten wird und postextubativ eine engmaschige Überwachung der Respiration erfolgt. (23, S. 1353)

6.7 Management der Hämodynamik

6.7.1 Empfehlungen für den mittleren arteriellen Druck (MAP)

Bei Patient:innen mit zervikaler Rückenmarksverletzung im Rahmen eines neurogenen Schocks ist die Aufrechterhaltung eines adäquaten arteriellen Mitteldrucks (MAP) entscheidend, um sekundäre ischämische Schäden des Rückenmarks zu vermeiden. Prospektiv kontrollierte Studien zur Festlegung eines optimalen MAPs beim Menschen liegen bislang nicht vor. Die bestehenden Empfehlungen stützen sich überwiegend auf Tiermodelle, Fallserien und Expertenmeinungen. (33) Klar ist jedoch, dass die Autoregulation der Rückenmarksdurchblutung nach einer spinalen Verletzung häufig beeinträchtigt ist. Daher wird empfohlen, den MAP in den ersten Tagen nach dem Trauma über dem oberen Limit des physiologischen Autoregulationsbereichs zu halten. Ein Zielwert von 85 bis 90 mmHg sollte für mindestens sieben Tage nach der Verletzung angestrebt werden, um eine ausreichende Perfusion des Rückenmarks sicherzustellen und die neurologische Erholung zu begünstigen. (3; 30, S. 149; 35, S. 5) In der S3-Leitlinie wird hingegen ein etwas breiterer Zielbereich von 70 bis 90 mmHg für die ersten zwei bis drei beziehungsweise maximal sieben Tage nach dem Trauma empfohlen. (34, S. 36) Hypotonie gilt es also konsequent zu vermeiden und rasch zu behandeln, da bereits moderate Blutdruckabfälle das Risiko einer sekundären Rückenmarksischämie markant aggravieren können. Die permissive Hypotension, wie sie historisch zur intraoperativen Blutverlustrückführung in der Wirbelsäulenchirurgie eingesetzt wurde, ist in diesem Kontext kontraindiziert, da sie die Rückenmarkspfusion gefährden und neurologische Verschlechterungen begünstigen kann. (30; 32; 33)

6.7.2 Empfehlungen für das Flüssigkeits- und Volumenmanagement

Die initiale Therapie der Hypotonie beim neurogenen Schock basiert auf der intravenösen Flüssigkeitssubstitution mittels Kristalloiden, um der ausgeprägten Vasodilatation entgegenzuwirken. (9) Zur Aufrechterhaltung einer adäquaten Normovolämie werden in der Regel mindestens zwei grosslumige periphervenöse Katheter (≥ 16 Gauge) benötigt. Im Hinblick auf die weiterführende Therapie kann zusätzlich die Anlage eines zentralvenösen Katheters sinnvoll sein. Die initiale Flüssigkeitsgabe soll unter kontinuierlicher klinischer Überwachung zügig bis zu einer Gesamtmenge von etwa 2000 Millilitern verabreicht werden, wobei die Infusionsmenge stets im Kontext klinischer Parameter wie Säure-Basen-Status, Laktatspiegel, geschätztem Blutverlust und Diurese beurteilt werden soll. Eine Hypervolämie gilt es unbedingt zu vermeiden, da sie die Entstehung eines Lungen- sowie Rückenmarködems begünstigen kann. Bei Bedarf kann die Flüssigkeitstherapie zudem durch Kolloide oder Blutprodukte ergänzt werden. (12; 32; 33)

Als Ergänzung zu laborchemischen Parametern können auch hämodynamische Parameter in die Beurteilung des Volumenstatus miteinbezogen werden. Während einer kontrollierten Positiv-Druckbeatmung in Rückenlage liefern insbesondere die Pulspressurvariation (PPV) und die Schlagvolumenvariation (SVV) wertvolle Hinweise auf die Volumenresponsivität von Patient:innen. Eine PPV von 11 bis 13% weist darauf hin, dass eine Flüssigkeitsgabe wahrscheinlich zu einem Anstieg des Herzminutenvolumens führt. In Bauchlage sollten hingegen PPV-Trends und zusätzliche Indikatoren des Volumenstatus berücksichtigt werden, da die Schwelle für eine Volumenresponsivität mit $>15\%$ erhöht ist und Veränderungen des intraabdominalen sowie intrathorakalen Drucks den venösen Rückfluss beeinflussen können. (33)

Der optimale Hämatokritwert für Patient:innen mit Rückenmarksverletzung ist nicht eindeutig festgelegt. In Analogie zu anderen kritisch kranken Patient:innen wird ein Zielbereich von 21 bis 30% als erstrebenswert empfohlen. Die Entscheidung zur intraoperativen Transfusion erfolgt individuell unter Berücksichtigung von Alter, kardiopulmonalen Komorbiditäten, vorbestehendem Blutverlust sowie potenzieller postoperativer Blutung über Drainagen. (3)

6.7.3 Medikamentöse Therapie von Hypotonie und Bradykardie

Sofern trotz adäquater Flüssigkeits- und Volumentherapie eine persistierende Hypotonie besteht, werden als Therapie der zweiten Wahl Vasopressoren und Inotropika eingesetzt. Vor dem pathophysiologischen Hintergrund profitieren Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule, insbesondere im neurogenen Schock, häufig von Arzneimitteln mit positiv inotroper und chronotroper Wirkung. Eine allgemeingültige Wirkstoffempfehlung besteht allerdings nicht. Die Auswahl vasoaktiver Substanzen soll individuell erfolgen und sich an Verletzungsniveau und Klinik orientieren. (3; 9)

Bei zervikalen und hohen thorakalen Rückenmarksverletzungen wird Noradrenalin als Vasopressor der ersten Wahl empfohlen. Es kombiniert eine ausgeprägte vasokonstriktive Wirkung mit moderaten positiv inotropen und chronotropen Effekten, wodurch es im Vergleich zu reinen Vasokonstriktoren die Rückenmarkperfusion leicht verbessern kann. In einer prospektiven Crossover-Studie mit elf Patient:innen, welche eine zervikale oder thorakale Rückenmarksverletzung erlitten, führte Noradrenalin im Vergleich zu Dopamin zu einem höheren Rückenmarkspersonaldruck bei gleichzeitig niedrigerem intrathekalem Druck. Eine Beurteilung des neurologischen Outcomes erfolgte jedoch nicht. (3; 34, S. 36)

Bei Verletzungen oberhalb des Niveaus Th5 kommt es zur Unterbrechung der sympathischen kardioakzeleratorischen Grenzstränge. In diesem Fall, insbesondere bei zusätzlicher Einschränkung der kardialen Ejektionsfraktion, wird der Einsatz von Vasopressoren wie Noradrenalin, Dopamin oder Adrenalin empfohlen. (3; 34, S. 37)

Phenylephrin, ein reiner Alpha-1-Agonist, wird häufig zur peripheren Vasokonstriktion eingesetzt, um den Verlust des sympathischen Gefäßtonus zu kompensieren. Aufgrund der fehlenden Beta-adrenergen Wirkung kann es jedoch zu einer reflektorischen Bradykardie kommen. Diese kann bei bestehender vagaler Dominanz, insbesondere nach hohen thorakalen oder zervikalen Rückenmarksverletzungen, zusätzlich verstärkt werden. Aus diesem Grund wird Phenylephrin eher bei tieferen thorakalen Verletzungen eingesetzt, während bei hohen thorakalen und zervikalen Läsionen Noradrenalin bevorzugt wird. Adrenalin kann bei refraktärer Hypotonie in Erwägung gezogen werden, ist jedoch nur selten erforderlich. (3; 9; 35, S. 5)

Bradykardie ist die häufigste Herzfrequenzstörung nach akuter traumatischer Rückenmarksverletzung und ein zentrales Merkmal des neurogenen Schocks. Auch sie tritt insbesondere bei Verletzungen oberhalb des Niveaus Th5 auf. Typische daraus resultierende Arrhythmien sind Bradyarrhythmien und Sinusbradykardien. Ein initialer Sinusarrest mit Herz-Kreislauf-Stillstand ist selten, kann jedoch durch manipulative Interventionen getriggert werden. (30, S. 145; 33; 34, S. 37 – 38) Das Management der Bradykardie im neurogenen Schock zielt darauf ab, den übermässigen vagalen Tonus zu kompensieren und eine adäquate Herzfrequenz zu sichern. In der akuten Behandlung gilt Atropin als Standardtherapie. Es wird intravenös in einer Dosis von mindestens 0.5 Milligramm und bis zu maximal 3 Milligramm verabreicht. (9; 33; 34, S. 37 – 38) Neben der therapeutischen Anwendung wird in der Literatur auch eine prophylaktische Gabe vor Interventionen mit vagalen Reizen wie trachealem Absaugen, Intubation oder Bronchoskopie beschrieben. Da diese Interventionen eine ausgeprägte vagale Stimulation

auslösen können, besteht das Risiko einer reflektorischen Verstärkung der Bradykardie, was bis hin zu einem Sinusarrest führen kann. Insbesondere bei Patient:innen im neurogenen Schock und bereits bestehender Bradykardie ist das Risiko für eine Asystolie somit erhöht. In diesen Situationen kann eine prophylaktische Gabe von Atropin sowie die Bereitschaft zum externen Pacing sinnvoll sein. (9; 30, S. 145; 33; 34, S. 37 – 38)

Neben Atropin können auch Glycopyrrolat zur anticholinergen Frequenzsteigerung oder Isoproterenol zur selektiven chronotropen Stimulation eingesetzt werden. In Einzelfällen wird bei refraktärer Bradykardie zudem der Einsatz von Theophyllin empfohlen, da es über seine zentralnervöse Stimulation ebenfalls positiv chronotrop wirkt. (9)

Eine Bradykardie im neurogenen Schock wird primär medikamentös behandelt, bei unzureichendem Ansprechen kann ergänzend jedoch ein temporäres Pacing erforderlich sein. Die Implantation eines temporären oder permanenten Herzschrittmachers ist in der Regel selten erforderlich, da sich die Bradykardie mit dem Abklingen des spinalen Schocks meist wieder vollständig regredient zeigt. (33, 34, S. 37 – 38)

6.7.4 Handlungsempfehlungen für eine therapierefraktärer Hypotonie

Bei therapierefraktärer Hypotonie im neurogenen Schock wurde ergänzend zur Therapie mit Flüssigkeit, Volumen, Blutbestandteilen und Vasopressoren der Einsatz einer resuscitativen endovaskulären Ballonokklusion der Aorta (REBOA) beschrieben. Ziel dieser Massnahme ist die Erhöhung des zentralen Aortendrucks sowie die Verbesserung der Perfusion von Herz, Gehirn und Rückenmark. Die Evidenz hierfür ist jedoch begrenzt und basiert bislang überwiegend auf Fallberichten sowie pathophysiologischen Überlegungen, sodass zur weiteren Beurteilung der Wirksamkeit und Zweckmässigkeit weitere Studien erforderlich sind. (9; 31)

In einem Fallbericht aus Tokio von 2023 führte bei einer 78-jährigen Patientin mit zervikaler Rückenmarksverletzung und katecholaminrefraktärer Hypotonie die intravenöse Gabe von Indigokarmin, einem Farbstoff mit struktureller Ähnlichkeit zu Serotonin, zu einem deutlichen Anstieg des Blutdrucks. Abhängig vom autonomen Milieu kann Indigokarmin sowohl vasodilatatorische als auch vasokonstriktive Effekte entfalten. Eine systematische Untersuchung zur Anwendung bei neurogenem Schock liegt bislang jedoch nicht vor, sodass weitere klinische Daten erforderlich sind, um den potenziellen therapeutischen Stellenwert zu beurteilen. (32)

6.7.5 Nicht-medikamentöse Therapien

Die Autorinnen diskutierten, ob die intermittierende pneumatische Kompressionsbehandlung therapeutisch oder wenigstens prophylaktisch sinnvoll sein könnte, fanden dafür jedoch keine entsprechende Literatur. Pneumatische Kompressionstrümpfe werden bei Patient:innen mit akuten Wirbelsäulenverletzungen zur Prophylaxe tiefer Beinvenenthrombosen empfohlen, was insbesondere im Kontext der eingeschränkten Mobilität und des langandauernden Liegens auch beim beschriebenen Patientengut hilfreich sein könnte. (33; 35, S. 5)

6.7.6 Patient Blood Management und Antifibrinolytika

Wirbelsäulenoperationen gehen generell, insbesondere bei Mehretagenoperationen, mit einem relevanten perioperativen Blutungs- und Transfusionsrisiko einher. Das Ausmass des Blutverlusts kann dabei mit der Anzahl der zu operierenden Rückenmarkssegmente korrelieren. Zudem stellt eine präoperative Anämie einen unabhängigen Prädiktor für eine

erhöhte perioperative Mortalität dar. Vor diesem Hintergrund ist ein sorgfältiges prä-, intra- und postoperatives Management im Sinne des Patient Blood Managements von zentraler Bedeutung. (30, S. 148)

Auch der Einsatz von Antifibrinolytika, insbesondere dem Arzneimittel Tranexamsäure, spielt in der komplexen Wirbelsäulenchirurgie eine wichtige Rolle zur Reduktion des intraoperativen Blutverlusts und des Transfusionsbedarfs. (30, S. 148) Mehrere Studien konnten einen signifikanten positiven Effekt von Tranexamsäure auf den Blutverlust sowie auf den Bedarf an Erythrozyten Transfusionen zeigen. (33) Der Einsatz sollte jedoch stets unter Berücksichtigung möglicher Kontraindikationen erfolgen.

Auf eine vertiefte Darstellung des Patient Blood Managements sowie der perioperativen Gerinnungstherapie wird im Rahmen dieser Projektarbeit verzichtet, da Patient:innen mit relevanter Hämorrhagie klar ausgeschlossen wurden.

6.7.7 Medikamentenwahl für Narkoseinduktion

Die Wahl der Medikamente für die Narkoseinduktion und -aufrechterhaltung richtet sich nach der kardiopulmonalen Stabilität sowie einem eventuell intraoperativ chirurgisch indizierten Neuromonitoring, das den Einsatz bestimmter Anästhetika und Muskelrelaxantien erfordern oder einschränken kann. (33) Die Narkoseinduktion bei Patient:innen mit zervikalen Rückenmarksverletzungen im neurogenen Schock ist mit einer ausgeprägten Gefahr einer hämodynamischen Instabilität verbunden. Ursache hierfür ist das Zusammenwirken mehrerer Faktoren, darunter die pharmakologischen Effekte der Induktionsmedikamente, eine möglicherweise bestehende relative Hypovolämie sowie die sympathische Denervierung infolge der Rückenmarksschädigung. Diese Faktoren können synergistisch wirken und zu einer ausgeprägten hämodynamischen Instabilität führen. (33) Aus diesem Grund sollten sowohl die Auswahl der Medikamente als auch deren Dosierung stets am übergeordneten anästhesiologischen Ziel orientiert sein, die kardiopulmonale Stabilität aufrechtzuerhalten sowie Komplikationen und Sekundärschäden zu vermeiden.

Die Wahl der Muskelrelaxantien wurde bereits im Kapitel «6.6.4 Ablauf der Atemwegssicherung im neurogenen Schock» beschrieben. Ergänzend gilt es noch zu erwähnen, dass bei einem geplanten Neuromonitoring Rocuronium für die Intubation gewählt werden soll, da es mittels Suggammadex umgehend antagonisiert werden kann, wodurch die kontinuierliche Überwachung der Nerven- und Muskelfunktion frühzeitig wieder möglich ist. (33)

Auch das perioperative Schmerzmanagement sollte frühzeitig berücksichtigt und entsprechend geplant werden. Nach einer akuten Querschnittlähmung ist chronischer Schmerz mit einer geschätzten Prävalenz von über 70% keine Seltenheit. Neuropathische Schmerzkomponenten betreffen dabei je nach Studie etwa ein Drittel bis mehr als die Hälfte aller Patient:innen. Evidenzbasierte Empfehlungen zur konkreten Therapiestrategie sind begrenzt. Es wird jedoch zunehmend eine frühe, multimodale Strategie diskutiert, welche den Chronifizierungsprozessen entgegenwirken soll. Dazu gehören beispielsweise der Einsatz von Gabapentinoiden bei neuropathischen Schmerzen sowie das standardisierte Führen eines Schmerzprotokolls. (34, S. 38 – 39) Letzteres dient vor allem zur besseren Antizipation und Planung der Behandlungsstrategie.

6.7.8 Stellenwert von Kortikosteroiden

Bei Patient:innen mit Halswirbelsäulenverletzung und neurogenem Schock wird im perioperativen Setting eine routinemässige Kortikosteroidtherapie nicht empfohlen. Dies liegt daran, dass ein Capillary-Leak-Phänomen, wie es bei anderen distributiven

Schockformen typischerweise auftritt und häufig eine Kortikosteroidtherapie begründet, im Rahmen des neurogenen Schocks nicht beschrieben ist. Obwohl Methylprednisolon und andere Kortikosteroide in tierexperimentellen Modellen neuroprotektive Effekte zeigten, konnten klinische Studien für Menschen keine signifikante Verbesserung der neurologischen Prognose nach akuter Rückenmarksverletzung nachweisen. (9; 35, S. 5) Mehrere Metaanalysen zeigen zudem, dass Methylprednisolon nach akuter Rückenmarksverletzung auch keinen relevanten Nutzen hinsichtlich der neurologischen Erholung bietet. Eine Metaanalyse von fünf randomisierten kontrollierten Studien (n = 575) und sieben Beobachtungsstudien (n = 4317) ergab weder einen Vorteil bezüglich motorischer Scores noch hinsichtlich der AISA-Klassifikation. (35, S. 5) Gleichzeitig traten unter Steroidtherapie Komplikationen wie Pneumonien, Hyperglykämien und Sepsis signifikant häufiger auf. (34, S. 27 – 28) Und auch weitere Metaanalysen bestätigen, dass hochdosiertes Methylprednisolon lediglich mit einem erhöhten Risiko für gastrointestinale Blutungen und respiratorische Infektionen assoziiert ist. (35, S. 5) Aus diesen Gründen wird seine routinemässige Verwendung nach akuten Verletzungen der Wirbelsäule explizit nicht empfohlen und im Akutstadium der Querschnittlähmung generell von einer medikamentösen Behandlung mit Methylprednisolon abgeraten. (34, S. 27 – 28; 35, S. 5)

6.7.9 Erweitertes Monitoring

Da operative Verfahren wie beispielsweise die ACDF häufig mit dem Kopf fern der Anästhesie durchgeführt werden, was den Zugang zu Patient:innen stark einschränkt, ist eine sorgfältige präoperative Planung des Monitorings essenziell. Das im Kapitel „6.4.2 Basis- und erweitertes Monitoring“ bereits erwähnte Standardmonitoring bildet die Grundlage für eine sichere perioperative Narkoseführung und ist obligat. Der zusätzliche Einsatz erweiterter Überwachungsmassnahmen sollte zudem grosszügig erfolgen, um potenziell rasch auftretende hämodynamische Veränderungen frühzeitig antizipieren und adäquat darauf reagieren zu können. (33)

6.7.9.1 Periphervenöser Katheter

Wie bereits erwähnt, werden zur suffizienten Flüssigkeits- und Volumensubstitution sowie bei zusätzlich erwartet hohem Blutverlust mindestens zwei grosslumige periphervenöse Katheter (≥ 16 Gauge) empfohlen. (33)

6.7.9.2 Zentralvenöser Katheter

Die Anlage eines zentralvenösen Katheters ist insbesondere dann indiziert, wenn ein sicherer Zugang für die Gabe vasoaktiver Medikamente benötigt wird, periphervenöse Katheter nicht ausreichen oder die postoperative Therapie dies erfordert. Auch hier gilt, dass die Indikation bei komplexen Wirbelsäuleneingriffen eher grosszügig gestellt werden sollte. (33)

6.7.9.3 Invasive arterielle Blutdruckmessung

Die Indikation zur invasiven arteriellen Blutdruckmessung sollte bei Wirbelsäulenoperationen frühzeitig und ebenfalls grosszügig gestellt werden. Insbesondere lange Eingriffe, ein erwarteter hoher Blutverlust sowie individuelle Risikofaktoren machen eine kontinuierliche Blutdrucküberwachung erforderlich. Besonders bei ventralen Operationen an der Halswirbelsäule kann es durch Manipulation am Karotissinus zu einer ausgeprägten hämodynamischen Instabilität kommen, was die Indikation zur Anlage eines arteriellen Katheters zusätzlich verstärkt. (30, S. 146)

Bei Patient:innen mit hoch thorakalen oder zervikalen Rückenmarksverletzungen sollte dieser bereits vor Einleitung der Anästhesie eingelegt werden, da diese Phase besonders

prädestiniert für eine Kreislaufdepression ist. Neben der kontinuierlichen Blutdruckmessung ermöglicht dieser Zugang zudem wiederholte Blutentnahmen zur Bestimmung von Gerinnungsparametern, dem Elektrolyt- und Wasserhaushalt, Blutgasen und vielem Mehr. Darüber hinaus liefert sie durch die Ableitung der arteriellen Pulscurve und der Berechnung des PPV zusätzliche Hinweise auf den Volumenstatus. (33)

6.7.9.4 Blasenkatheter und Überwachung der Diurese

Neben der Überwachung der Diurese und des Flüssigkeitshaushalts dient ein Blasenkatheter auch der Prävention urologisch getriggerten Komplikationen. Patient:innen mit Rückenmarksverletzungen haben ein erhöhtes Risiko für eine Harnretention und Blasenüberdehnung, weshalb in der akuten Phase eine Blasenkatheterisierung erforderlich ist. Die Blasenüberdehnung stellt einen häufigen Auslöser der autonomen Dysreflexie dar. (33) Nach Abklingen des neurogenen Schocks kann es aufgrund dessen insbesondere bei Läsionen oberhalb von Th6 zu einer potenziell lebensbedrohlichen Hypertonie kommen. Kann die Vesica urinaria in dieser Situation nicht unmittelbar entlastet werden, sollte eine medikamentöse Therapie mit Nitraten oder Antihypertensiva eingeleitet werden. Die Funktion des Blasenkatheters intraoperativ kontinuierlich zu überprüfen, wird daher zwingend empfohlen. (34, S. 38)

6.7.9.5 Intraoperatives Neuromonitoring

Das intraoperative Neuromonitoring (IONM) stellt zum Schutz der Rückenmarksfunktion einen zentralen Bestandteil von Wirbelsäulenoperationen dar. Die Anästhesieführung hat dabei einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der abgeleiteten Messsignale. Inhalationsanästhetika führen dosisabhängig insbesondere bei motorisch evozierten Potenzialen zu einer Reduktion der Amplitude sowie zu einer Verlängerung der Latenz, während intravenöse Anästhetika geringere Auswirkungen darauf aufweisen. Daher wird in der Literatur häufig eine total intravenöse Anästhesie (TIVA) bevorzugt, wobei keine Wirkstoffempfehlungen genannt werden. Potenzielle Störfaktoren wie Hypothermie, Hypotonie, Hypoxie und Anämie müssen konsequent vermieden werden. Treten dennoch Auffälligkeiten auf, ist umgehend eine ausreichende Rückenmarkperfusion durch Anhebung des Blutdrucks sowie eine adäquate Oxygenierung sicherzustellen. (30, S. 146)

6.7.9.6 Nahinfrarotspektroskopie

Die Nahinfrarotspektroskopie (NIRS) ist ein nicht-invasives Verfahren zur Messung der Gewebeoxygenierung und wird insbesondere zur Überwachung der zerebralen Oxygenierung eingesetzt. Dabei wird die regionale Sauerstoffsättigung im Gewebe (rScO₂) berechnet, wobei überwiegend der venöse Anteil der Durchblutung, etwa 70 bis 75%, erfasst wird. Die Messung erfolgt über bifrontal platzierte Optoden im Bereich des frontalen Kortex. (36, S. 190 – 191)

Für den Einsatz der NIRS bei ventralen Halswirbelsäulenoperationen konnte in den Datenbanken PubMed, UpToDate und SpringerLink mit den Suchbegriffen „Nahinfrarotspektroskopie“ und „Halswirbelsäulenoperation“ keine spezifische Evidenz gefunden werden. Eine wesentliche Limitation der Methode besteht jedoch sicherlich darin, dass lediglich globale Perfusionsveränderungen einer Hemisphäre erfasst werden. Regionale Ischämien ausserhalb des relativ kleinen Messfensters im frontalen Kortex können daher unentdeckt bleiben, sodass potenziell relevante pathologische Veränderungen übersehen werden können. (36, S. 196)

6.7.9.7 Häodynamische Monitoringsysteme

Häodynamische Monitoringsysteme wie beispielsweise das LiDCO™ oder ProACT ermöglichen eine kontinuierliche Beurteilung des häodynamischen und volumetrischen Status der Patient:innen. (37; 38) Sie liefern ein sofortiges Feedback und könnten dadurch sicherlich auch bei Patient:innen im neurogenen Schock eine zielgerichtete häodynamische und volumenorientierte Therapie unterstützen.

6.8 Temperatur- und Wärmemanagement

Wie im Kapitel „6.3.2.4 Thermoregulatorische Auswirkungen“ bereits beschrieben wurde, neigen Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule im neurogenen Schock aufgrund der gestörten autonomen Thermoregulation zur Poikilothermie und sind daher besonders gefährdet für eine intraoperative Hypothermie. Zusätzlich fällt durch die autonome Funktionsstörung häufig das Shivering als physiologischer Kompensationsmechanismus aus. Nicht selten treffen diese Patient:innen bereits hypo- oder hypertherm im Operationssaal ein, weshalb eine kontinuierliche Überwachung der Körperkerntemperatur sowie ein konsequentes Wärmemanagement erforderlich sind. (15, S. 10 – 11; 39, S. 93)

In den aktuellen S3-Leitlinien wird empfohlen, eine perioperative Hypothermie (Körperkerntemperatur <36 Grad Celsius) unbedingt zu vermeiden. Eine Hypothermie kann mit zahlreichen Komplikationen einhergehen, darunter Störungen der Gerinnungskaskade und der Thrombozytenfunktion, kardialen Komplikationen, Wundheilungsstörungen sowie einer erhöhten Mortalität. Bereits bei einer Anästhesiedauer von mehr als 30 Minuten sollte daher eine aktive Wärmezufuhr erfolgen. (15, S. 35)

Zur Überwachung der Körpertemperatur eignet sich insbesondere die vesikale Temperaturmessung mittels einer im Blasenkatheter integrierten Temperatursonde. (30, S. 146) Da ein Blasenkatheter zur Kontrolle der Diurese und des Flüssigkeitshaushalts in der Regel ohnehin indiziert ist, kann diese Messmethode ohne zusätzlichen Aufwand genutzt werden und liefert Werte, die der Körperkerntemperatur nahekommen.

Zur aktiven Erwärmung stehen verschiedene Massnahmen der Wärmezufuhr zur Verfügung. Zu den etablierten Verfahren zählen konvektive Wärmesysteme, bei denen erwärmte Luft über ein Gebläse in eine spezielle Wärmedecke geleitet wird. Diese Methode gilt als besonders effektiv, wenn möglichst grosse Körperoberflächen erwärmt werden können. Eine weitere Möglichkeit stellt die konduktive Erwärmung mittels Wärmematten dar, die ebenfalls einen grossflächigen direkten Körperkontakt voraussetzt. Ergänzend kann die apparative Erwärmung von Infusions- und Blutprodukten eingesetzt werden, welche als sicheres und effektives Verfahren zur Vermeidung perioperativer Wärmeverluste gilt. Auch intraoperativ verwendete Spüllösungen sollten vor der Anwendung auf mindestens 38 Grad Celsius vorgewärmt werden. Passive Massnahmen umfassen hingegen vor allem die Isolation des Körpers, wodurch radiative und konvektive Wärmeverluste über die Haut reduziert werden können. (15, S. 24 – 27; 38, S. 44)

6.9 Traumasensible Kommunikation

In besonderen Situationen, wie sie die perioperative Phase bei Verletzungen mit neurologischen Ausfällen darstellt, ist eine angepasste und traumasensible Kommunikation von zentraler Bedeutung, um der aussergewöhnlichen Belastungslage der Patient:innen gerecht zu werden. Jede Kommunikationssituation kann daher unter dem Gesichtspunkt potenzieller traumatischer Stressoren betrachtet und entsprechend auf deren Reduktion ausgerichtet werden. Ziel der traumasensiblen Kommunikation ist es, Anspannung zu reduzieren und die Patient:innen emotional zu unterstützen. Dies erfolgt unter anderem durch das Erfragen des Situationsverständnisses, die Klärung möglicher Missverständnisse sowie das offene Ansprechen von Ängsten und Sorgen bei gleichzeitiger Vermittlung

realistischer Zuversicht. Die Kommunikation sollte dabei authentisch gestaltet sein. Positive Erwartungshaltungen sollen unterstützt und negativ konnotierte Formulierungen möglichst vermieden werden. Zudem sollen die Patient:innen wenn immer möglich in Entscheidungsfindungen miteinbezogen und über das weitere Vorgehen informiert werden. (42, S. 83 – 85)

Die folgende Tabelle ordnet typische traumatische Stressoren den entsprechenden Kommunikationszielen zu und zeigt beispielhafte traumasensible Formulierungen auf, die zugleich Nocebo-vermeidende Aspekte berücksichtigen. Sie verdeutlicht, wie durch eine gezielte sprachliche Gestaltung Begleitung, Orientierung und Sicherheit vermittelt werden können.

traumabedingte Stressoren	hilfreiche Kommunikationstechnik	beispielhafte Formulierungen
Verlassenheit, sich nicht äussern können	begleiten und Ansprech- sowie Vertrauensperson sein	- Ich bin bei Ihnen, während ... - Ich bleibe bei Ihnen, bis Sie eingeschlafen sind. - Sie sind nicht allein, wir begleiten Sie durch die Narkose.
Schmerz und Leid	Wohlbefinden vermitteln	- Sie bekommen ein Medikament, damit Sie sich wohler fühlen. - Wir sorgen dafür, dass Sie möglichst angenehm durch den Eingriff kommen. - Sie bekommen jetzt ein Medikament, das Ihnen hilft, ruhig und beschwerdearm zu bleiben.
Orientierungslosigkeit, Ausgeliefertsein und Hilflosigkeit	Information weitergeben, Kontrolle vermitteln und anleiten	- Sie sind bei uns im Operationssaal; wir sorgen gut für Sie. - Sie können helfen, indem Sie ... - Ich erkläre Ihnen jeden Schritt vorab. - Sie sind während der Narkose in guten Händen und wir behalten alles genau im Blick. - Wenn Ihnen etwas unklar ist, sagen Sie bitte Bescheid.
Entwürdigung, Angst und Bedrohung	Achtung und Sicherheit vermitteln	- Alle die Alarme, die Sie hier hören, sind dazu da, dass wir gut auf Sie aufpassen und für Sie sorgen können.
Verletzung	Hoffnung vermitteln und Zuversicht bestärken	- Der Eingriff soll dazu beitragen, dass Ihre Beschwerden besser werden. - Wir arbeiten so, dass die Heilung bestmöglich unterstützt wird.

Tabelle 3: Traumatische Stressoren und darauf abgestimmte Kommunikationsangebote (in Anlehnung an 42, S. 84; eigene Beispiele)

7 Diskussion

Die Literaturrecherche zeigt Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis. Im Folgenden diskutieren die Autorinnen die spannendsten und kontroversesten Aspekte mit besonderem Fokus auf ihre Praxisrelevanz.

7.1 Succinylcholin versus Rocuronium - Bedeutung von Faszikulationen und praktische Erfahrung

Beim Einsatz von Succinylcholin bei vermuteten Verletzungen der Halswirbelsäule besteht eine gewisse Zurückhaltung, da unkontrollierte Faszikulationen als potenzielles Risiko wahrgenommen werden und zahlreiche unerwünschte Nebenwirkungen beschrieben sind. Laut Literatur scheint der Einsatz von Succinylcholin bei adäquater In-line-Stabilisation jedoch unproblematisch zu sein. Darüber hinaus ist in der notfallmässigen Versorgung häufig unklar, ob bei Patient:innen Vorerkrankungen oder Nebendiagnosen vorliegen, bei denen Succinylcholin kontraindiziert sein könnte. Dies betrifft insbesondere Krankheitsbilder wie die maligne Hyperthermie, Hyperkaliämie oder andere relevante Elektrolytstörungen. Zudem wird Succinylcholin heutzutage insgesamt seltener eingesetzt, wodurch in der Praxis teilweise weniger Erfahrung im Umgang mit dem Medikament besteht. Die in der Literatur beschriebene Empfehlung erscheint daher teilweise unerwartet und ist nicht vollständig kongruent mit den praktischen Erfahrungen. In der klinischen Praxis wird Rocuronium häufig als Muskelrelaxans der ersten Wahl zur Atemwegssicherung eingesetzt, unabhängig davon, ob eine RSI durchgeführt wird oder nicht.

7.2 Atemwegssicherung beim erwartet schwierigen Atemweg - Evidenz und Skills

Die fiberoptisch wache Intubation gilt bei erwartet schwierigem Atemweg als Goldstandard. Dass die Literatur dieses Vorgehen auch im Kontext von Verletzungen der Halswirbelsäule empfiehlt, erscheint daher nachvollziehbar. In der praktischen Umsetzung erweist sich dieses Verfahren insbesondere bei eingeschränkter Patientencompliance jedoch häufig als herausfordernd. Husten, Agitation oder Abwehrbewegungen können zu einer vermehrten Mobilisation der Halswirbelsäule führen und stellen damit ein potenzielles Risiko zur Progression bestehender Wirbelsäulenverletzungen dar. Aus diesem Grund wird in der klinischen Praxis häufig eine fiberoptische Intubation in Narkose bevorzugt. Durch eine ausreichende Muskelrelaxation und eine adäquate Narkosetiefe können unkontrollierte Patientenbewegungen weitgehend reduziert werden, wodurch kontrolliertere Intubationsbedingungen entstehen. Bei unversiertem Umgang, gleichzeitig bestehender Blutung im Mundraum und der generellen Notwendigkeit einer RSI wird hingegen eine videolaryngoskopische Intubation mit einem Macintosh-ähnlichen Spatel und Führungsdraht oder mit hyperangulierten Spateln wie dem D-Blade empfohlen, da die Sichtverhältnisse bei der fiberoptischen Intubation in solchen Situationen deutlich eingeschränkt sind. Martin Schläpfer, Chefarzt für Anästhesiologie am Kantonsspital Graubünden, betont in diesem Kontext, dass im Spannungsfeld zwischen praktischen Fertigkeiten und juristischer Begründbarkeit vorzugsweise jene Technik gewählt werden sollte, die von der ausführenden Person am sichersten beherrscht wird und dem aktuellen Best Practice entspricht.

7.3 Nutzen- und Risikoabwägung von mRSI und RSI bei Querschnittlähmung

In den internen Leitlinien der Vertragsspitäler wird ausschliesslich der Ileus als absolute Indikation für eine RSI genannt. Bei Patient:innen mit Querschnittlähmung wird eine mRSI insbesondere aufgrund der reduzierten Apnoetoleranz als sinnvoll erachtet. Wichtig ist

dabei jedoch, dass das Muskelrelaxans analog zur RSI dosiert wird. Nutzen und Risiko müssen letztlich stets situativ und patientenindividuell abgewogen werden.

7.4 Goal-directed Flüssigkeits- und Volumentherapie anhand klinischer und laborchemischer Parameter

In einzelnen Publikationen finden sich im Kontext der relativen Hypovolämie Empfehlungen zur Verabreichung eines initialen Flüssigkeitsbolus von 2000 Millilitern Kristalloiden. In Anbetracht der Pathophysiologie des neurogenen Schocks erscheint diese initiale, einheitliche Menge aus Sicht der Autorinnen sinnvoll, da sie den Flüssigkeitsbedarf infolge dilatierter Kapazitätsgefässe adressiert und in den meisten Fällen erforderlich ist. Diese kann daher als Faustregel in der klinischen Praxis angewendet und im Sinne einer goal-directed fluid therapy umgesetzt werden. Die weitere Flüssigkeits- und Volumensubstitution sollte anschliessend insbesondere unter Berücksichtigung des Hämatokrits evaluiert werden. Angesichts eines potenziell hohen Blutverlustes bei Wirbelsäulenoperationen kann zudem eine frühzeitige Transfusion von Erythrozytenkonzentraten zur Optimierung des Patient Blood Managements beitragen.

7.5 Atropingabe - Prophylaxe oder Therapie

Die Literaturrecherche zeigte die mögliche Sinnhaftigkeit einer prophylaktischen Gabe von Atropin (Dosierung: 0.5 bis maximal 3 Milligramm) vor Interventionen mit vagaler Stimulation. Diese soll einer dadurch getriggerten Aggravation von Bradyarrhythmien, die bis hin zu einer Asystolie führen können, vorbeugen. In den Vertragsspitälern konnte dieses Vorgehen nicht beobachtet werden. Auch wenn die Expertenmeinung von Martin Schläpfer diese Wahrnehmung bestätigt und eine therapeutische Gabe der prophylaktischen vorzieht, ergibt sich unter Berücksichtigung aller Gesichtspunkte die verallgemeinerte Handlungsempfehlung, sicherzustellen, dass Atropin und externes Pacing unmittelbar zur Verfügung stehen und der Zeitpunkt ihres Einsatzes situationsgerecht antizipiert wird.

7.6 Anzustrebender MAP beim neurogenen Schock

Die etablierte S3-Leitlinie empfiehlt einen minimalen MAP von 70 mmHg. In der Literatur finden sich jedoch unterschiedliche Angaben zu den anzustrebenden Zielwerten. In Anbetracht der fehlenden hämorrhagischen Komponente sowie der Mehrzahl an Studien, die einen minimalen MAP von etwa 85 mmHg empfehlen, erscheint ein höherer Zielwert klinisch plausibel.

7.7 Kortikosteroide zur Reduktion von Primär- und Sekundärschäden

Unerwarteterweise wird die abschwellende Wirkung von Kortikosteroiden zur vermeintlichen Reduktion des Primär- und Sekundärschadens in der aktuellen Literatur nicht empfohlen. Diese Einschätzung steht teilweise im Kontrast zu einzelnen klinischen Expertenmeinungen und stellt laut deren Aussagen einen seit Jahren bestehenden Diskussionspunkt dar. So betonte der ehemalige Chefarzt des Schweizer Paraplegiker-Zentrums in einem Webinar, dass für die betroffenen Patient:innen jede zusätzlich erhaltene neurologische Funktion von entscheidender Bedeutung für die Lebensqualität sein kann. Vor diesem Hintergrund würden mögliche Komplikationen seiner Einschätzung nach in keinem Verhältnis zum potenziellen Nutzen stehen. Demgegenüber bestätigen Veit Schönborn, stellvertretender leitender Arzt der Wirbelsäulenchirurgie, sowie Patrik Vanek, stellvertretender Chefarzt der Intensivstation am Kantonsspital Graubünden, die Aussagekraft der aktuellen Literatur, welche zeigt, dass der potenzielle Nutzen von

Kortikosteroiden insgesamt gering ist, während das Risiko für Komplikationen durchaus relevant sei. Entsprechend sollte der Einsatz nur in seltenen Fällen und nach interdisziplinärer Rücksprache durch erfahrene Neurochirurg:innen, Traumatolog:innen und Intensivmediziner:innen erwogen werden.

7.8 NIRS bei Halswirbelsäulenoperationen – Praxis ohne Evidenz

Bei der Literaturrecherche konnte kein expliziter Nachweis für den Nutzen der NIRS bei Halswirbelsäulenoperationen gefunden werden. In der Praxis wird die NIRS jedoch insbesondere bei ventralem Operationszugang häufig eingesetzt. In Anbetracht des Funktionsprinzips des Verfahrens sowie seiner etablierten Anwendung in anderen operativen Kontexten erscheint ihr Einsatz plausibel.

8 Konklusion

Das perioperative anästhesiologische Management bei Patient:innen mit Verletzungen der Halswirbelsäule im neurogenen Schock, erfordert ein interdisziplinäres, evidenzbasiertes und patientenorientiertes Management mit Fokus auf Atemwegssicherung, kardiopulmonale Stabilisation und Thermoregulation. Ein strukturierter Behandlungsplan und die Versorgung in einem Zentrumsspital sind essenziell, um Komplikationen zu minimieren, Sekundärschäden zu vermeiden und das klinische Outcome der Patient:innen zu verbessern. Um eine strukturierte Arbeitsweise in dieser hochkritischen Phase zu unterstützen, wurde eine Pocketcard erstellt, welche im Anhang angefügt ist.

9 Literaturverzeichnis

1. Huch R, Jürgens KD. Mensch Körper Krankheit + E-Book. München: Urban & Fischer; 2022.
2. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS Kopf, Hals und Neuroanatomie: LernAtlas Anatomie. Stuttgart: Thieme; 2022.
3. Schünke M, Schulte E, Schumacher U. PROMETHEUS Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem: LernAtlas der Anatomie. Stuttgart: Thieme; 2022.
4. Henke AM, Billington ZJ, Gater DR. Autonomic Dysfunction and Management after Spinal cord Injury: A Narrative review. Journal Of Personalized Medicine [Internet]. 2022; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9320320/pdf/jpm-12-01110.pdf>
5. Albus C, Alexy U, Anastassiades A, Biesalski HK, Brombach C, Bub A. vegetatives Nervensystem [Internet]. Spektrum.de. 2001; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://www.spektrum.de/lexikon/ernaehrung/vegetatives-nervensystem/9011>
6. Sammelstelle für die Statistik der Unfallversicherungen UVG. Verstauchung und Zerrung der Halswirbelsäule [Internet]. 2025; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: https://unfallstatistik.ch/d/neuza/med_stat/pdf/UVMed_S134_.pdf
7. Vereinigung Paraplegikerzentren Schweiz. National Spinal Cord Injury Strategy 2025 – 2033 [Internet]. 2015; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://www.paraplegikerzentren.ch/en/national-spinal-cord-injury-strategy/>
8. Campbell JE, Alson RL. Präklinische traumatologie: International Trauma Life Support (ITLS). München: Elsevier; 2022.

9. Dave S, Dahlstrom JJ, Weisbrod LJ. Neurogenic shock [Internet]. StatPearls - NCBI Bookshelf. 2023; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK459361/#_article-28979_s10_
10. Ahuja CS, Wilson JR, Nori S, Kotter MRN, Druschel C, Curt A, u. a. Traumatic spinal cord injury. Bd. 3, Nature Reviews. 2017.
11. Standl T, Annecke T, Cascorbi I, Heller AR, Sabashnikov A, Teske W. The Nomenclature, Definition and Distinction of Types of Shock. Deutsches Ärzteblatt International [Internet]. 2018; 115(45):757–68. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6323133/>
12. Wöbker G, Hackmann O. Neurogener Schock. Intensivmedizin [Internet]. 2018; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: https://eref.thieme.de/referenz/referenz_1823?context=search&searchterm=neurogener+schock#1911181416643793689
13. Definition. Anästh Intensivmed [Internet]. 2005; 353–7. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: https://www.physioklin.de/fileadmin/user_upload/literatur/A/adamsetal2005teil6.pdf
14. Koch HG, Geng V. Querschnittlähmung verständlich erklärt [Internet]. 2021; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: https://www.spv.ch/_Resources/Persistent/b/b/8/b/bb8b15ca2e245538c8ebc7a7339383eea9b853f2/Querschnittlaehmung%20Band1_01_2022.pdf
15. Torossian A, Becke K, Bein B, Bräuer A, Gantert D, Greif R, u. a. S3 Leitlinie „Vermeidung von perioperativer Hypothermie“ - Aktualisierung 2019 -. 2019 Mai.
16. Gores M, Schneck J. Wenn der Druck raus ist – die verschiedenen Schockformen. Gores M Et Al. Wenn der Druck... Retten. 2018
17. Larsen R. Anästhesie und Intensivmedizin für die Fachpflege. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 2016; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7531311/>
18. Larsen R. Anästhesie und Intensivmedizin für die Fachpflege. Springer-Verlag Berlin Heidelberg: 2016; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7531398/>
19. Hempel D, Michels G. Schock – eine Übersicht für die klinische Praxis. DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift [Internet]. 2019; 144(13):884–91. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1055/a-0828-9675>
20. Krishnamoorthy V, Austin N, Dagal A. Airway management in cervical spine injury. International Journal Of Critical Illness And Injury Science [Internet]. 2014; 4(1):50. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.4103/2229-5151.128013>
21. Boa F ping, Zhang H gang, Zhu S mei. Anesthetic considerations for patients with acute cervical spinal cord injury. Neural Regeneration Research [Internet]. 2017; 12(3). [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5399731/>
22. Melesse DY, Tesema TT, Mekonnen ZA, Chekol WB. Airway management for individuals with suspected or confirmed traumatic cervical spine injuries: A comprehensive review and analysis. Perioperative Care And Operating Room Management [Internet]. 2024; 35. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.pcor.2024.100000>

- 2026]. Verfügbar unter: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S240560302400024>
23. Furlan D, Deana C, Orso D, Licari M, Cappelletto B, De Monte A, u. a. Perioperative management of spinal cord injury: the anesthesiologist's point of view. *Minerva Anestesiologica* [Internet]. 2021; 87(12):1347–58. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.23736/s0375-9393.21.15753-0>
 24. Malik MA, Maharaj CH, Harte BH, Laffey JG. Comparison of Macintosh, TruView EVO2®, Glidescope®, and AirwayScope® laryngoscope use in patients with cervical spine immobilization. *British Journal Of Anaesthesia* [Internet]. 2008; 101(5). [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: [https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912\(17\)34143-0/fulltext](https://www.bjanaesthesia.org/article/S0007-0912(17)34143-0/fulltext)
 25. Jain, D., Dhankar, M., Wig, J. & Jain, A. Comparison of the conventional CMAC and the D-blade CMAC with the direct laryngoscopes in simulated cervical spine injury—a manikin study. *Brazilian Journal Of Anesthesiology (English Edition)*, 2013; 64(4), 269–274. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2013.06.005>
 26. Seo, K. H., Kim, K. M., John, H., Jun, J. H., Han, M. & Kim, S. Comparison of C-MAC D-blade videolaryngoscope and McCoy laryngoscope efficacy for nasotracheal intubation in simulated cervical spinal injury: a prospective randomized comparative study. *BMC Anesthesiology*, 20(1), 114. 2020; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1186/s12871-020-01021-x>
 27. Piepho T, Kriege M, Byhahn C, Cavus E, Dörge V, Ilper H, u. a. S1-Leitlinie Atemwegsmanagement 2023. *Anästhesiologie und Intensivmedizin* [Internet]. 2024; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://www.ai-online.info/archiv/2024/02-2024/s1-leitlinie-atemwegs-management-2023.html>
 28. Damiani, D. Neurogenic Shock: Clinical Management and Particularities in an Emergency Room. *Arquivos Brasileiros De Neurocirurgia Brazilian Neurosurgery*, 2016; 37(03), 196–205. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1055/s-0036-1584887>
 29. Gal eiras Vázquez R, Rascado Sedes P, Mourelo Fariña M, Montoto Marqués A, Ferreira Velasco ME. Respiratory management in the patient with spinal cord injury. [Internet]. 2013; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24089664/>
 30. Külzer M, Weigand MA, Pepke W, Larmann J. Anästhesie bei Wirbelsäulenoperationen. *Die Anaesthesiologie* [Internet]. 2023; 72(2):143–54. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.1007/s00101-023-01255-7>
 31. Parra MW, Ordoñez CA, Mejia D, Caicedo Y, Lobato JM, Castro OJ, u. a. Damage control approach to refractory neurogenic shock: a new proposal to a well-established algorithm. *Colombia Medica* [Internet]. 2021; 52(2): e4164800. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8634278/>
 32. Kurozumi N, Fujita N, Kaneko T, Shinoda M, Abe S. Vasopressor Effect of Indigo Carmine in the Management of Refractory Neurogenic Shock. *Cureus* [Internet]. 2023; 15(6):e41004. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <http://dx.doi.org/10.7759/cureus.41004>
 33. Mathews L, Kla K, UpToDate, Inc. Anesthesia for adults with acute spinal cord injury [Internet]. UpToDate. 2024; [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter:

[https://www.uptodate.com/contents/anesthesia-for-adults-with-acute-spinal-cord-injury/print?search=neurogener schock therapie&source=search](https://www.uptodate.com/contents/anesthesia-for-adults-with-acute-spinal-cord-injury/print?search=neurogener%20chock%20therapie&source=search)

34. Weidner N, Scheel-Sailer A, Deutsche Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin e.V. (DGAI), Deutsche Gesellschaft für Neurointensiv- und Notfallmedizin (DGNI), Deutsche Gesellschaft für Neuroradiologie (DGNR), Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie e.V. (DGNC), u. a. Diagnostik und Therapie der akuten Querschnittslähmung [Internet]. Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie. 2024; [zitiert 03. April 2026]. Verfügbar unter: <https://www.dgn.org/leitlinien>
35. Moreno-González E, Ibarra A. The Critical Management of Spinal Cord Injury: A Narrative Review. Clinics And Practice [Internet]. 2024; 15(1):2. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.3390/clinpract15010002>
36. Bolkenius D, Dumps C, Rupprecht B, Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Augsburg. Nahinfrarotspektroskopie: Technik, Entwicklung, aktueller Einsatz und Ausblick [Internet]. Bd. 70, Der Anaesthesist. Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature; 2020; [zitiert 03. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00101-020-00837-z>
37. MASImo -
LIDCO Hämodynamisches Überwachungssystem [Internet]. Verfügbar unter: <https://www.masimo.de/products/lidco-hemodynamic-monitoring-system/>
38. Perioperatives hämodynamisches Monitoring [Internet]. Getinge. [zitiert 06. April 2026]. Verfügbar unter: <https://www.getinge.com/de/produkte/proaqt/>
39. Bağatur B, Tuna A, Üçler N. Warming patients during spinal surgery. Journal Of Turkish Spinal Surgery [Internet]. 10. März 2025; [zitiert 04. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.4274/jtss.galenos.2025.68552>
40. Wehling J, Herren C, Nolte PC, Kreinest M. Die präklinische Behandlung von Patienten mit Wirbelsäulentrauma. Notfallmedizin Up2date [Internet]. 28. Februar 2020;15(01):79–92; [zitiert 15. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1055/a-0944-8480>
41. Spinaler Schock [Internet]. [zitiert 15. April 2026]. Verfügbar unter: <https://www.lexikon-orthopaedie.com/pdx.pl?dv=0&id=01039>
42. Deffner T, Rosendahl J, Niecke A. Psychotraumatologische Aspekte in der Intensivmedizin. Der Nervenarzt [Internet]. 1. Januar 2021;92(1):81–9. [zitiert 15. April 2026]. Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s00115-020-01060-2>

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: funktionelle Einleitung des Nervensystems (2, S. 266)	4
Abbildung 2: strukturelle Gliederung des Nervensystems (2, S. 269)	5
Abbildung 3: Einteilung und Lage der Rückenmarkssegmente (in Anlehnung an 3, S. 90) ..	5
Abbildung 4: anatomischer Verlauf eines Spinalnervs (2, S. 92)	6
Abbildung 5: autonomes Nervensystem (in Anlehnung an 5)	8
Abbildung 6: Mechanismen eines stumpfen Wirbelsäulentraumas (8, S. 234 – 235)	9
Abbildung 7: Läsionsstelle der peripheren und zentralen Lähmung (in Anlehnung an 1, S. 291)	10
Abbildung 8: neurogener und spinaler Schock im Vergleich (in Anlehnung an 9; 10, S. 7; 11, S. 759)	14

11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: für die Literaturrecherche verwendete Datenbanken und Suchwörter (eigene Darstellung).....	3
Tabelle 2: sympathische und parasympathische Wirkung auf ein Organsystem (2, S. 103) 9	
Tabelle 3: Traumatische Stressoren und darauf abgestimmte Kommunikationsangebote (in Anlehnung an 42, S. 84; eigene Beispiele).....	26

12 Anhang

12.1 Mindmap zur initialen Ideensammlung / Brainstorming

