

Alexander König  
Torsten Roediger  
Uwe Spetzger

# Neurochirurgische Therapie von Verletzungen der Halswirbelsäule

Grundlagen, Indikationsstellung,  
chirurgische Techniken

 Springer

---

# Neurochirurgische Therapie von Verletzungen der Halswirbelsäule

---

Alexander König · Torsten Roediger ·  
Uwe Spetzger

# Neurochirurgische Therapie von Verletzungen der Halswirbelsäule

Grundlagen, Indikationsstellung,  
chirurgische Techniken

Alexander König  
Neurochirurgische Klinik  
Klinikum Karlsruhe  
Karlsruhe, Deutschland

Torsten Roediger  
Zentrum für Wirbelsäulenchirurgie  
Waldkrankenhaus Berlin-Spandau  
Berlin, Deutschland

Uwe Spetzger  
Neurochirurgische Klinik  
Klinikum Karlsruhe  
Karlsruhe, Deutschland

ISBN 978-3-662-67733-9      ISBN 978-3-662-67734-6 (eBook)  
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-67734-6>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer-Verlag GmbH, DE, ein Teil von Springer Nature 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Fritz Kraemer

Springer ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

---

## Vorwort

In der Notfallversorgung liegt bei 6 % aller Patienten, bei denen Frakturen an Extremitäten oder Thorax diagnostiziert werden, ebenfalls eine Wirbelsäulenverletzung vor. Darüberhinaus wird bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma signifikant häufiger eine Verletzung der Halswirbelsäule diagnostiziert. Aufgrund der hohen Beweglichkeit der Halswirbelsäule ist diese besonders anfällig für traumabedingte Dislokationen und Luxationen, sodass diese bei 75 % aller Wirbelsäulenverletzungen im zervikalen Abschnitt festgestellt werden.

Der routinemäßige Einsatz der hochauflösenden Computertomographie unmittelbar nach Eintreffen eines polytraumatisierten Patienten im Schockraum eines Krankenhauses mit spezifischer Qualifikation für die Versorgung Schwerverletzter hat gezeigt, dass etwa ein Drittel dieser Patienten eine Wirbelsäulenverletzung aufweist. Diese ist oft klinisch nicht unmittelbar festzustellen, da gerade Polytrauma-Patienten oft intubiert, sediert und beatmet im Schockraum eines Krankenhauses eintreffen.

Bei isolierter Verletzung der Halswirbelsäule ist die Diagnose bei einem Querschnittssyndrom bereits vor der bildgebenden Diagnostik möglich. Allerdings findet sich hier auch ein recht hoher Anteil von Patienten, die lediglich unter unspezifischen Symptomen bzw. lokalen Beschwerden leiden.

Nach Abschluss der Bildgebung und der Diagnose einer Halswirbelsäulenverletzung muss unmittelbar die Indikation zu einem weiteren operativen oder konservativ-stabilisierendem Vorgehen gestellt werden, um sekundäre Schäden zu vermeiden.

Bei der operativen Versorgung hat sich in den letzten Jahren eine rasante Entwicklung sowohl der Implantattechnologie für die Restabilisierung der Wirbelsäule als auch der Technologie für die intraoperative Navigation vollzogen. Letztere hat sowohl beim sogenannten Surface-Matching-Verfahren als auch bei der intraoperativen robotergestützten Bildgebung eine enorm hohe Genauigkeit erreicht, sodass gerade an der Halswirbelsäule und hier insbesondere am kraniozervikalen Übergang Operationen mit hoher Sicherheit bei der Implantation von Schrauben in Rahmen einer Instrumentierung möglich sind. Diese Verbesserung der operativen Behandlungsqualität hat somit die Patientensicherheit in den letzten Jahren signifikant erhöht.

In diesem Buch werden zunächst anatomische und biomechanische Grundlagen dargestellt. Im Anschluss werden präklinische und klinische Aspekte der Diagnostik

und Behandlung von Patienten mit Verletzungen der Halswirbelsäule skizziert. Nach der systematischen Darstellung der verschiedenen Verletzungsmuster nach einem Halswirbelsäulentrauma bzw. deren Klassifikation nimmt die detaillierte Beschreibung der verschiedenen etablierten chirurgischen Techniken den Hauptteil des Buches ein. Den Abschluss bilden die Kapitel zum Komplikationsmanagement und zur Rehabilitation von Patienten mit Verletzungen der Halswirbelsäule.

Alexander König  
Torsten Roediger  
Uwe Spetzger

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Anatomische Grundlagen</b> .....	1
1.1 Ossäre und ligamentäre Strukturen .....	1
1.1.1 Kraniozervikaler Übergang .....	1
1.1.2 Subaxiale Halswirbelsäule .....	2
1.2 Paravertebrale Muskulatur .....	5
1.2.1 Ventrale Muskulatur .....	5
1.2.2 Dorsale Muskulatur .....	6
1.3 Gefäßversorgung von Halswirbelsäule und Rückenmark .....	7
1.3.1 Arterielle Versorgung .....	7
1.3.2 Venöse Drainage .....	10
1.4 Morphologie des zervikalen Rückenmarks .....	11
1.4.1 Anatomische Strukturen .....	11
1.4.2 Sensible Bahnen .....	13
1.4.3 Motorische Bahnen .....	14
1.5 Topographische Anatomie .....	14
1.5.1 Anteriorer Zugang .....	14
1.5.2 Posteriorer Zugang .....	15
1.5.3 Anatomische Varianten .....	19
1.5.3.1 High riding vertebral artery .....	19
1.5.3.2 Ponticulus posticus (Kimmerle-Anomalie) .....	19
Literatur .....	21
<b>2 Biomechanische Aspekte</b> .....	23
2.1 Beweglichkeit der Halswirbelsäule .....	23
2.2 Das Bewegungssegment und seine Funktion .....	24
2.3 Übernahme von Lasten durch die Wirbelsäule .....	25
2.3.1 Bandscheibe .....	25
2.3.2 Wirbel .....	25
2.3.3 Ligamente .....	26

2.4	Instabilität .....	26
2.5	Biomechanische Untersuchungsmethoden .....	27
	Literatur .....	28
<b>3</b>	<b>Klassifikation von Verletzungen der Halswirbelsäule .....</b>	<b>29</b>
3.1	Frakturen der Okzipitalkondylen .....	29
3.2	Atlanto-okzipitale Dislokation .....	30
3.3	Frakturen des Atlas .....	32
3.4	Frakturen des Dens axis .....	34
3.5	Atlantoaxiale Subluxation .....	36
3.6	Traumatische Spondylolisthesis des Axis .....	37
3.7	Verletzungen der subaxialen Halswirbelsäule .....	38
	Literatur .....	43
<b>4</b>	<b>Präklinische und frühe klinische Versorgung .....</b>	<b>45</b>
4.1	Maßnahmen am Unfallort durch Rettungsdienst und Notarzt .....	45
4.2	Klinische Symptomatik und Untersuchungsbefunde .....	47
4.2.1	Lokalbeschwerden .....	47
4.2.2	Radikuläre Symptome .....	47
4.2.2.1	Radikuläre Schmerzen .....	47
4.2.2.2	Sensible Defizite .....	47
4.2.2.3	Motorische Defizite .....	47
4.2.2.4	Vegetative Störungen .....	48
4.2.3	Querschnittsyndrom .....	48
4.3	Bildgebende Diagnostik .....	49
4.3.1	Röntgenuntersuchung .....	49
4.3.2	Computertomographie .....	49
4.3.3	Magnetresonanztomographie .....	50
	Literatur .....	51
<b>5</b>	<b>Indikationsstellung .....</b>	<b>53</b>
<b>6</b>	<b>Chirurgische Techniken .....</b>	<b>55</b>
6.1	Ventraler Standardzugang zur Halswirbelsäule .....	55
6.2	Ventrale Spondylodese mittels Plattenosteosynthese mit Diskus- oder Wirbelkörperersatz .....	57
6.2.1	Diskektomie und Cage-Implantation .....	57
6.2.2	Korpektomie und Wirbelkörperersatz .....	60
6.2.3	Ventrale Plattenosteosynthese .....	61
6.3	Ventrale Schraubenosteosynthese des Dens axis .....	62
6.4	Ventrale transartikuläre Spondylodese von Atlas und Axis .....	64
6.5	Dorsaler Standardzugang zur Halswirbelsäule .....	66
6.6	Direkte Osteosynthese des Atlas .....	68

---

6.7	Dorsale transpedikuläre Spondylodese an Atlas und Axis .....	69
6.8	Dorsale transartikuläre Spondylodese an Atlas und Axis .....	72
6.9	Dorsale Spondylodese an der subaxialen Halswirbelsäule .....	73
6.9.1	Massa-lateralis-Schrauben .....	73
6.9.2	Pedikelschrauben .....	79
6.10	Okzipitozervikale Fusion .....	81
6.11	Ventrodorsale operative Versorgung .....	83
6.12	Spinale Navigation .....	86
	Literatur .....	98
<b>7</b>	<b>Komplikationsmanagement</b> .....	<b>99</b>
7.1	Fehllage und Lockerung von Implantaten .....	99
7.2	Duraleck und Liquorrhoe .....	100
7.3	Vaskuläre Komplikationen .....	101
7.4	Verletzung von Ösophagus und Trachea .....	102
<b>8</b>	<b>Rehabilitation</b> .....	<b>103</b>
8.1	Rehabilitationsziele und Einflussfaktoren .....	103
8.2	Durchführung der Rehabilitation .....	104
	Literatur .....	106
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>107</b>



## Zusammenfassung

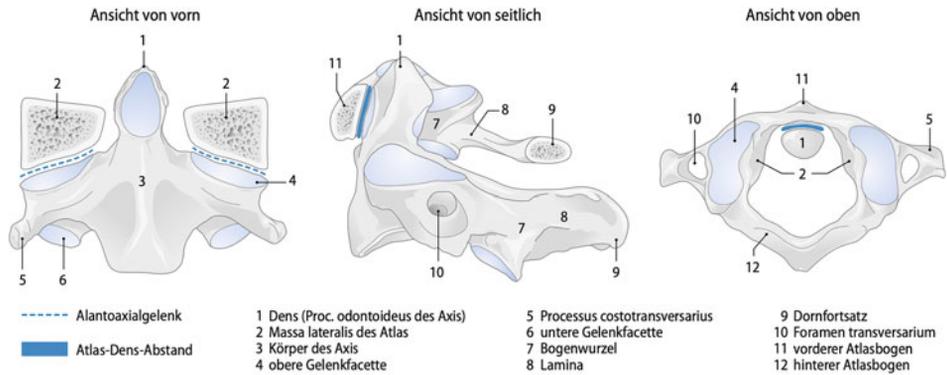
Die Halswirbelsäule erfordert aufgrund ihrer filigranen Dimensionen und ihrer Beziehungen zu zahlreichen lebenswichtigen neurovaskulären Strukturen ein besonderes Augenmerk auf ihre spezielle Anatomie bei der Planung wirbelsäulenchirurgischer Eingriffe mit Osteosynthesen zur Traumaversorgung. Dies gilt sowohl für die topographisch-anatomischen Beziehungen der einzelnen Strukturen im Operationssitus als auch für anatomische Normvarianten. Neben der Morphologie der Wirbel und der Lagebeziehungen der diskoligamentären Strukturen und Muskeln wird in diesem Kapitel auch auf die Gefäßversorgung und die funktionellen Bahnen des Rückenmarks eingegangen.

## 1.1 Ossäre und ligamentäre Strukturen

### 1.1.1 Kraniozervikaler Übergang

Sowohl erster Halswirbel (Atlas) als auch zweiter Halswirbel (Axis) besitzen eine individuelle Form, die erheblich von der typischen Morphologie der Halswirbel 3 bis 7 abweicht (Abb. 1.1). Dadurch nehmen diese beiden Wirbel, auch wegen der hohen Beweglichkeit des kraniozervikalen Übergangs, eine Sonderstellung bei der Planung und Durchführung chirurgischer Maßnahmen ein.

Der Atlas ist im Wesentlichen ringförmig. Seitlich liegt jeweils eine *Massa lateralis* mit Gelenkflächen für die Okzipitalkondylen des Schädels (kranial) sowie für die obere Gelenkfacette des Axis (kaudal). Ganz außen finden sich die *Foramina transversaria* für den Durchtritt der *Arteria vertebralis*.



**Abb. 1.1** Anatomie von HWK1 (Atlas) und HWK2 (Axis). (Aus: Wiesmann et al. 2014, mit freundlicher Genehmigung)

Der Axis besitzt den markanten Dens mit einer vorderen Gelenkfläche, die Kontakt zur Innenseite des vorderen Atlasbogens hat und mit dieser ein Gelenk bildet. Die Ligamenta alaria und das Ligamentum apicis dentis gewährleisten eine Verbindung zum Inneren des knöchernen Schädels und setzen am unteren Clivus an (Abb. 1.2).

An der Außenseite des Schädels beginnt am unteren Ende des Clivus das Ligamentum longitudinale anterius (vorderes Längsband), welches sich über die gesamte Vorderfläche der Wirbelsäule bis zu Os sacrum nach kaudal fortsetzt.

Atlas und Axis bilden gemeinsam mit der okzipitalen Schädelbasis und den daran befindlichen Okzipitalkondylen den knöchernen kraniozervikalen Übergang. Für den klinischen Alltag und insbesondere für die Beurteilung von Traumafolgen wurden zwischen markanten anatomischen Strukturen Referenzlinien festgelegt, die in der seitlichen Röntgenaufnahme bzw. im sagittalen CT-Bild gut zu identifizieren sind (Abb. 1.3). Finden sich Dislokationen von knöchernen Strukturen in Bezug zu diesen Referenzlinien nach einem Trauma, deutet dies meist auf eine gravierende Verletzung von ligamentären und knöchernen Strukturen hin.

### 1.1.2 Subaxiale Halswirbelsäule

Die Halswirbel 3 bis 7 weisen eine sehr ähnliche Morphologie auf (Abb. 1.4). Wesentliches Merkmal ist die zunehmende Größe von Wirbelkörpern, Wirbelbögen und Facettengelenken nach kaudal hin (Lang 1991). Der 7. Halswirbel (Vertebra prominens) besitzt einen deutlich längeren Dornfortsatz als die darüberliegenden Halswirbel 3 bis 6.