

Aus der Neurochirurgischen Klinik  
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar  
Direktor: Prof. Dr. med. Joachim Oertel

**Degenerative Veränderungen des angrenzenden Segments  
nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion -  
Eine Magnet Resonanz Untersuchung im Langzeitverlauf**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2019

vorgelegt von  
Matthias Dehnen  
geb. am. 02.07.1989 in Mülheim an der Ruhr

Tag der Promotion: 06.07.2020

Dekan: Prof. Dr. M. D. Menger

Berichterstatter: Prof. Dr. J. Oertel

Prof. Dr. S. Landgraeber

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Summary</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
3.1	Aufbau der Arbeit . . . . .	3
3.2	Grundlagen . . . . .	3
3.3	Symptomatik . . . . .	5
3.4	Historische Entwicklung . . . . .	6
3.5	Anschlussdegeneration . . . . .	8
3.6	Fragestellung und Motivation . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Material und Methoden</b>	<b>12</b>
4.1	Operationsmethode . . . . .	12
4.2	Patientenkollektiv . . . . .	12
4.3	Messmethoden . . . . .	13
4.3.1	Bandscheibenhöhe . . . . .	15
4.3.2	Posteriore Osteophyten . . . . .	16
4.3.3	Posteriore Bandscheibenprotrusion . . . . .	16
4.3.4	Foramendiameter . . . . .	16
4.3.5	Myelondiameter . . . . .	18
4.3.6	Höhe des Operationssegments . . . . .	18
4.3.7	Sagittales Alignment . . . . .	18
4.3.8	Segmentales Alignment der Fusion . . . . .	20
4.3.9	Ausrichtung der Halswirbelsäule . . . . .	20
4.4	Datenaufbereitung . . . . .	20
4.4.1	Statistische Auswertung . . . . .	21
4.4.2	Score . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>24</b>
5.1	Bandscheibenhöhe . . . . .	24
5.2	Posteriore Osteophyten . . . . .	27
5.3	Posteriore Bandscheibenprotrusion . . . . .	29
5.4	Foramendiameter . . . . .	32
5.5	Höhe des Operationssegments . . . . .	36
5.6	Sagittales Alignment . . . . .	37
5.7	Segmentales Alignment der Fusion . . . . .	39
5.8	Ausrichtung der Halswirbelsäule . . . . .	40
5.9	Score . . . . .	41

<b>6 Diskussion</b>	<b>46</b>
6.1 Parameter des Scores . . . . .	46
6.2 Höhe des Operationssegments . . . . .	47
6.3 Sagittales Alignment . . . . .	48
6.4 Segmentales Alignment der Fusion . . . . .	48
6.5 Ausrichtung der Halswirbelsäule . . . . .	49
6.6 Anschlussdegeneration . . . . .	50
<b>Literatur</b>	<b>52</b>
<b>7 Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>57</b>
<b>8 Anhang</b>	<b>58</b>
8.1 Veröffentlichungen . . . . .	58
8.2 Danksagung . . . . .	59

## 1 Zusammenfassung

Altersbedingte Veränderungen der zervikalen Wirbelsäule führen häufig zu chronischen radikulären und myelopathischen Symptomen und können in alltäglichen Situationen zu sensorischen und motorischen Defiziten führen, sodass die Notwendigkeit einer Operation besteht. Im Laufe der Zeit wurde die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion als Operationsmethode etabliert.

Jahre nach einer solchen Operation zeigten sich bei Patienten an das Operationssegment angrenzende degenerative Veränderungen. Die Entstehungsmechanismen wurde ohne Konsens diskutiert. In der vorliegenden Arbeit wurde im Hinblick auf die Verwendung oder den Verzicht auf eine Casparplatte die Operationshöhe und eine veränderte Ausrichtung der Halswirbelsäule untersucht. Des Weiteren wurde ein auf den Untersuchungen von Matsumoto et al. [39] beruhender Score zur Beurteilung einer angrenzenden Degeneration weiterentwickelt. Dieser beinhaltet eine Minderung der Bandscheibenhöhe, das Vorhandensein von posterioren Osteophytenformationen, eine posteriore Bandscheibenprotrusion, eine Minderung des Foramendiameters sowie eine Minderung des Myelondiameters.

Nachuntersucht wurden 103 MRT-Bildgebungen der Halswirbelsäule von Patienten, die vor mindestens 15 Jahren (Range 17-38 Jahre) eine zervikale Diskektomie und Fusion mit oder ohne Casparplatte erhalten hatten. In dem Vergleich der segmentspezifischen Aufteilung nach den Operationshöhen C5/6, C6/7 und C5-7 zeigten sich die meisten degenerativen Veränderungen bei Patienten, die an dem Segment C5/6 operiert worden sind. Patienten, die an einem Segment mit oder ohne Casparplatte operiert worden sind, hatten die meisten degenerativen Veränderungen im Vergleich zu Patienten, die an zwei oder drei Segmenten mit oder ohne Casparplatte operiert worden sind.

Das für diese Arbeit entwickelte Score-Bewertungssystem zeigte einen höheren Anteil einer Anschlussdegeneration in den kranial und kaudal an die Fusion angrenzenden Segmenten, sowohl bei Patienten die an dem Segment C5/6, als auch bei Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden.

Ein signifikanter Unterschied in der Ausrichtung der Halswirbelsäule konnte lediglich bei dem Vergleich des segmentalen Alignment der Fusion bei Patienten, die an zwei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert worden sind, festgestellt werden.

Die vorliegende Arbeit zeigt das vermehrte Auftreten von degenerativen Veränderungen in den an die Fusion angrenzenden Segmenten nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion sowohl bei Patienten, die mit einer Casparplatte, als auch bei Patienten, die ohne eine solche operiert worden sind. Höher liegende Segmente sowie Fusionen an einem Segment zeigen ein vermehrtes Aufkommen einer Anschlussdegeneration.

## 2 Summary

### **Degenerative changes of the adjacent segment after anterior cervical discectomy and fusion - a long-term follow-up using MRI**

Age related alteration in the cervical spine often causes chronic radicular and myelopathic symptoms. This may cause sensoric and motoric impairments in daily live leading to the necessity to a surgical intervention. Over time the anterior cervical discectomy and fusion established as a surgical method.

Patients shown degenerative changes on the adjacent segment after such an operation. This leads to the question about the underlying mechanism. Next to this question the difference in using a Caspar plate or not, the operation height and the alignment of the cervical spine is analysed. Following the studies of Matsumoto et al. [39] this study advance a score to quantify an adjacent segment disease. This score includes the disc height, the presence of posterior osteophytes, the posterior disc protrusion, the lowering of the foraminal diameter and the lowering of the myelon diameter.

MRI scans of 103 patients at least 15 years after an anterior cervical discectomy and fusion with or without additional Caspar plating were analysed (Range 17-38 years). Comparing the segments C5/6, C6/7 and C5-7 most frequent degenerative changes are in segment C5/6. Patient who were underwent a fusion of just one segment independent of the use of a Caspar plate had the most degenerative changes in the comparing to a fusion of two or three segments.

In addition to these findings, our score rating system leads to a higher proportion of terminal degeneration in the cranial and caudal segments adjacent to the fusion, both in patients on segment C5/6 and in patients operated on a segment with a Caspar plate. A significant difference in the alignment of the cervical spine was determined comparing the segmental alignment of patients after an operation at two segments with and without the use of a Caspar plate.

This study shows the increased occurrence of degenerative changes in the adjacent segments after anterior cervical discectomy and fusion. Cranial segments and fusions of one segment lead to a higher proportion of adjacent segment disease.

## 3 Einleitung

In der heutigen Gesellschaft sind unspezifische Rücken- und Nackenschmerzen eine häufig auftretende Problematik. Bis zu 40 Prozent der in Westeuropa lebenden Bevölkerung ist dieser ausgesetzt, wobei die genaue Ursache für die Entstehung meist unklar bleibt [50]. Als Ursachen für die Beschwerden werden unter anderem degenerative Veränderungen der Wirbelsäule bedingt durch Alterungsprozesse genannt. Der häufigste Grund für fortschreitende Degenerationen des Rückenmarks und der Nervenwurzeln sind chronische zervikale Bandscheibendegenerationen [19]. MRT-Untersuchungen asymptomatischer Patienten haben gezeigt, dass degenerative Veränderungen an den Bandscheiben bei bis zu 89 Prozent der Untersuchten auftraten [39].

”What is intervertebral disc degeneration, and what causes it?” [3]. Diese Frage stellten Adams und Roughley im Jahre 2006. Bis zu diesem Zeitpunkt wurde keine Definition der Bandscheibendegeneration akzeptiert, was auf die Vielschichtigkeit der Problematik zurückzuführen ist. Adams und Roughley legten den Prozess der Bandscheibendegeneration als zellvermittelte Antwort auf einen strukturellen Ausfall nahe. Unterschieden werden sollte hier zwischen den Veränderungen und der unter Umständen damit verbundenen schmerzhaften Degeneration der Bandscheibe [3].

### 3.1 Aufbau der Arbeit

Im Folgenden unterteilt sich die Arbeit in die Kapitel Einleitung, Material und Methoden, Auswertung und Diskussion. Nach Aufarbeitung der Grundlagen, der Symptomatik, der historischen Entwicklung und der Entstehung einer Anschlussdegeneration (Kapitel 1), werden die verwendeten Messprozeduren in Kapitel 2 erläutert. Die daraus gewonnenen Daten werden im anschließenden Kapitel 3 ausgewertet und in Kapitel 4 diskutiert.

### 3.2 Grundlagen

Wird die Anatomie der Halswirbelsäule betrachtet, so wird ihre Komplexität allein durch die vorhandenen Gelenksysteme deutlich. Neben der Durchführung von Bewegungen des Kopfes, ist der Hals ausführendes Organ bei den meisten alltäglichen Situationen und bewegt sich über 600 Mal in der Stunde [10].

Im Prozess des Alterns machen die Bandscheiben der Wirbelsäule biologische und biochemische Veränderungen durch (siehe Abbildung 1). Die Matrix der Bandscheibe besteht aus den Kollagenen Typ I - VI, IX und X. Zusätzlich setzt sich die Bandscheibe aus elastischen Fasern und Proteoglykanen zusammen. Zur Alterung tragen neben den Veränderungen in ihrer Zusammensetzung viele Prozesse des katabolen Metabolismus, Wachstums sowie Entzündungsfaktoren bei [67]. Degenerative Bandscheiben zeigen Abbauvorgänge der Matrix und verlieren damit die Fähigkeit den täglichen Belastungen, die auf die Wirbelsäule wirken, standzuhalten. Resultierend entstehen Bandscheibenprotrusionen und Nacken- respektive Rückenschmerzen.

Besonders die Bandscheiben sind alterungsbedingten degenerativen Prozessen unterlegen. Bland und Boushey untersuchten in ”The Anatomy and Physiology of the Cervical Spine” [10] 171 menschliche Wirbelsäulen unter anderem auf die Eigenschaften des Nucleus pulposus und des Processus uncinatus im Bereich der Halswirbelsäule. Es zeigte sich, dass die Entstehung der Processi uncinati, betreffend die Wirbelkörper C3 bis C7, einer normalen Entwicklung folgt und im Alter sogar einen gewissen protektiven Effekt auf Bandscheibenprotrusionen hat.

Makroskopisch sichtbare degenerative Veränderungen an dem Nucleus pulposus beginnen schon im

### 3 Einleitung

Alter von 9 bis 14 Jahren. Bereits in diesem Alter ist er weniger deutlich sichtbar und weist Spalten auf, die bis an die Processi uncinati reichen. Bei Halswirbelsäulen über 60 Jähriger reicht die Spaltung über die komplette Breite der Bandscheibe [10].

Change types	Parameters	Major variations	Implications
Matrix synthesis	Collagen Type I	Occurs and increases in NP	Fibrosis of NP
	Type II	Decreases, especially in NP	Fibrosis of NP
	Type III	Increases	Repairing tendency
	Type IV	Exclusively exists in discs aged 16–30 years	Early stage of IVDD
	Type V	Slightly increases in NP and CEP	Probably indicates IVDD
	Type VI	Significantly increases	Possible repairing tendency
	Type IX	Decreases, similar to collagen Type II	Fibrosis of NP
	Type X	Exists in fetal NP, CEP and severely degenerated IVD	Advanced stage of IVDD
	Elastic fibres	Decreases	Reduced elasticity of IVD
	Total proteoglycans Aggrecan	Significantly decreases, especially in NP Transient increases in AF, then decreases throughout	Decreased hydration of IVD
	Decorin Versican	Decreases after adolescence Transient increases in AF, then decreases throughout	
	Fibromodulin Lumican	Contradictory findings Increases	Unclear
Catabolic metabolism	MMP-1, 2, 3, 7, 8, 9, 13	Increases	Breakdown of IVD matrix
	MMP-19	Decreases	Reduced IGF-mediated proliferation
	TIMP-1, 2, 3	Contradictory findings	Less importance of MMPs in IVDD?
	ADAMTS-4	Increases	More effectiveness in IVDD?
	Cathepsin D, G, K, L	Exists at degenerated sites within AF	Degradation of AF matrix
Growth factors and their receptors	bFGF	Increases in degenerated and herniated IVD	Probably links to proteolytic activity
	EGF	No expression in herniated IVD	Involving in depletion of matrix
	IGF-1	Increases in degenerated IVD	Possible repairing tendency
	PDGF	Exists in herniated but not degenerated IVD	Neovascularization, cell proliferation?
	TGF- $\alpha$	Occasionally expresses in herniated IVD	Involving in depletion of matrix
	TGF- $\beta$	Contradictory findings	Matrix remodelling?
	BMP-RII, FGF-R3, IGF-RI	Similarly expresses in degenerated or healthy IVD	Matrix remodelling?
	TGF- $\beta$ -RII	Contradictory findings	Matrix remodelling?
	EGF-R	No expression in herniated IVD	Involving in depletion of matrix
Pro-inflammatory cytokines and their receptors	IL-1 $\alpha$	Increases in degenerated and herniated IVD	Responsible for enhanced catabolic metabolism
	IL-1 $\beta$	Increases in degenerated and herniated IVD	
	IL-6	Increases in degenerated and herniated IVD	
	IL-1-RI	Increases in degenerated and herniated IVD	
	IL-1-Ra	Decreases in degenerated and herniated IVD	
	IL-6-R	Exists in herniated IVD	
TNF- $\alpha$	Increases in degenerated and herniated IVD		

Abb. 1: Bandscheibenveränderungen im Hinblick auf Alterungs- und Degenerationsprozesse, aus [67], bearbeitet.

Zhao et al. [67] analysierten morphologische Veränderungen, welche durch Alterung und Degeneration der Bandscheibe entstehen. Diese Veränderungen können durch eine Beanspruchung der Wirbelsäule über die physiologischen Maße hinaus eine Umstrukturierung des Bandscheibenphänotyps fördern. Hierbei finden sich inflammatorische Prozesse, ausgelöst durch Interleukin-1 $\beta$ . Dies führt über einen Feedbackmechanismus zur weiteren Stimulation von Mediatoren, die die Entzündungsprozesse und

### 3 Einleitung

somit den katabolen Metabolismus der Zellen in der Bandscheibe antreiben können [30].

Auf der einen Seite werden zell-phänotypisch im Nucleus pulposus die Chorda-Zellen durch Zellen, die den Chondrozyten ähnlich sind, ersetzt. Da der Verlust an Chorda-Zellen beziehungsweise der Anstieg an chondrozyten-ähnlichen Zellen mit einer geringeren Synthetisierung von Proteoglykanen einhergeht, wird der weiche Nucleus pulposus im Verlaufe fester [13, 34]. Weiterhin wurde festgestellt, dass die den Chondrozyten ähnlichen Zellen bei degenerierten Bandscheiben vermehrt proliferieren. Dies scheint auf eine punktuell verbesserte Nährstoffversorgung durch Neovaskularisationen zurückzuführen zu sein [8, 67]. Auf der anderen Seite steht die Verringerung der Zellteilung in protrusionierten und degenerierten Bandscheiben. Ursächlich dafür ist die vermehrte Bildung der  $\beta$ -Galaktosidase in Cluster-Zellen und die Herabsetzung der Zellteilungsrate durch eine Verkürzung von Telomeren.

Neben der Art verändert sich auch die Anzahl der in der Bandscheibe vorhandenen Zellen. Altersbedingt sinkt die Zahl der Zellen bei steigender Zelldichte in der Bandscheibe, was mit dem Grad der Degeneration zusammenhängt [12]. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass die Erhöhung der Zelldichte auf leblosen Zellen sowie Zellprodukten beruht, die im Laufe des Lebens bis zu 80 Prozent ausmachen [65].

Der vermehrte Zelltod ist durch die verschlechterte Nährstoffversorgung aufgrund sich zurückentwickelnder Blutgefäße, eine Kalzifizierung der Endplatte und Apoptose zu erklären [9]. Die Apoptose scheint hierbei eine bedeutendere Rolle als die Nekrose zu haben [67]. Genetische Untersuchungen an eineiigen und zweieiigen Zwillingen haben gezeigt, dass die Vererbung bei Bandscheibendegenerationen eine wichtige Rolle spielt. Die Gesamtheit der Charakteristika, die durch eine MRT-Untersuchung ermittelt wurden, ergab eine Vererblichkeit von 74 % an der Lendenwirbelsäule und von 73 % an der Halswirbelsäule. Verglichen wurde die Bandscheibenhöhe, die Signalintensität der Bandscheibe, die Vorwölbung der Bandscheibe und das Vorhandensein von Osteophyten [53]. Die einzelnen Faktoren, die sowohl die Alterung als auch die Degeneration der Bandscheibe bedingen, sind miteinander verknüpft. Zu einem frühen Zeitpunkt der Bandscheibendegeneration besteht die Möglichkeit, durch biologische Verfahren wie z.B. Zellimplantation und Injektion von Proteinen zu intervenieren [67].

Im Hinblick auf den Alterungsprozess der Bandscheibe mit den Veränderungen der Zellzahl, -dichte und -teilung, der Matrixzusammensetzung, des Phänotyps und einer genetischen Komponente, die degenerative Veränderungen hervorrufen, zeigt sich die Vielzahl an Faktoren und die Problematik der Herangehensweise an die Behandlung.

### 3.3 Symptomatik

Die zervikale Spondylose äußert sich klinisch in drei verschiedenen Symptomen: Nackenschmerzen, zervikale Radikulopathie und zervikale Myelopathie. Mit einer Bildgebung feststellbare degenerative Veränderungen an der Halswirbelsäule können jedoch ohne klinische Symptomatik bleiben [55, 63]. Akute Beschwerden treten vor allem bei traumatischen Ereignissen auf, wie beim Heben schwerer Gegenstände oder Hyperextension der Halswirbelsäule. In der Regel ist die Ausbildung der klinischen Symptomatik ein schleichender Prozess. Der Nackenschmerz ist die häufigste Manifestation im Rahmen der zervikalen Spondylose. Die dumpfen und dauerhaft anhaltenden Schmerzen werden von Nackensteifigkeit begleitet. Während des Fortschreitens der Degeneration kann sich sowohl eine Radikulo- als auch Myelopathie entwickeln.

Radikuläre Symptome treten aufgrund der Kompression eines Nervus Spinalis auf. Sensorische Defizite wie Taubheit und Lähmungen, Kribbeln oder brennende Schmerzen können in dem Spinalnerv

### 3 Einleitung

entsprechenden Dermatom auftreten. Zusätzlich treten einschießende Schmerzen auf, die über den Arm bis in die Finger strahlen und mit einer Kraftminderung verbunden sein können [66, 26]. Provoziert werden kann dies durch den Spurling-Test. Dieser beinhaltet die Extension und anschließende Neigung des Kopfes in der sagittalen Achse mit axialem Druck, welches die Neuroforamina zusätzlich einengt [62]. Rückenmarksschädigungen treten hingegen mit einer Hyperreflexie und mit einer nicht dermatombezogenen sensorischen und muskulären Störung auf. Als Test für die obere Extremität dient hier das Finger-Escape-Sign, wobei es zur Abduktion und Flexion der vom Nervus ulnaris versorgten Finger bei vorgestrecktem Arm, bei sonst adduzierter und extendierter Hand, kommt. Kann die Hand nicht extendiert mit abduzierten Fingern III-V gehalten werden, so ist das Zeichen positiv [1, 27, 45]. Die Ursache für myelopathische Symptome liegt in der Rückenmarkskompression [63]. McCormack et al. [42] beschreiben eine gewisse Überschneidung in der klinischen Ausprägung der zervikalen Myelo- und Radikulopathie. Da es in manchen Fällen sowohl Anzeichen von Nervenwurzelläsionen als auch Ausfälle in den unteren Extremitäten gibt, die auf eine Beteiligung des Rückenmarks schließen lassen, sprechen sie in diesem Punkt von Myeloradikulopathie. Tagaki et al. [63] hingegen differenzieren zwischen der Myelo- und der Radikulopathie. Die Kompression des Rückenmarks kann bilateral sowohl in den oberen als auch in den unteren Extremitäten Symptome hervorrufen, die Radikulopathie hingegen nur in der oberen Extremität und meist unilateral.

Die sensorischen Defizite bei Myelopathie sind asymmetrisch und bezogen auf die obere und untere Extremität in ihrer Stärke variabel. Sie können eine Spastik und Hyperreflexie hervorrufen und bis zur Inkontinenz führen. Darüber hinaus finden sich pathologische Reflexe [63].

Die Symptomatik und die damit verbundenen Einschränkungen lassen die Frage nach den Möglichkeiten einer Behandlung aufkommen.

#### 3.4 Historische Entwicklung

Verfahren zur Behandlung von degenerativen Wirbelsäulenpathologien finden schon seit über 100 Jahren Anwendung. Alessandro Codivilla beschrieb im Jahre 1907 die Problematik von Nervenkompressionen nach einer Fraktur eines Halswirbels. Mit der Zeit entwickelten sich verschiedene Methoden zur Dekompression des Rückenmarks sowohl bei Wirbelsäulenfrakturen, Protrusionen der Bandscheiben als auch bei spondylootischer Myelopathie [20].

Wie Denaro und Martino [20] in ihrer historischen Aufarbeitung der Halswirbelsäulenchirurgie beschreiben, war die Laminektomie lange Zeit das Mittel der Wahl. Erst im Jahre 1955 entstand die Technik der anterioren zervikalen Fusion durch Robinson und Smith.

In den Folgejahren wurde die Problematik der Therapie bei zervikalen Bandscheibenerkrankungen deutlich. Ralph B. Cloward veröffentlichte 1958 "The anterior approach for removal of ruptured cervical disks" [17]. Im Gegensatz zur Lendenwirbelsäule, bei der er die partielle Laminektomie als geeignete Operationsmethode bei rupturierten Bandscheiben sah, kam es an der Halswirbelsäule sowohl bei konservativer Behandlung als auch bei chirurgischer Intervention zu unbefriedigenden Resultaten [17].

Robinson und Smith berichten ebenfalls im Jahre 1958, dass der posteriore Zugang zur Halswirbelsäule nur eingeschränkte Behandlungsmöglichkeiten zulässt. Als Beispiel wird die Problematik bei protrusionierten Bandscheiben aufgeführt, da sie durch posteriore Laminektomie nicht entfernt werden können. Besteht sowohl eine Stenose der Foramina, als auch eine Spinalkanalstenose, so wäre die Laminektomie mit Entfernung des Facettengelenks nötig. Dies erzeugte jedoch eine zervikale Instabilität und die Notwendigkeit der Fusion, welche wiederum über den posterioren Zugang nicht möglich war

### 3 Einleitung

[58]. Es bestand eine Diskrepanz zwischen den anatomischen Unterschieden an der zervikalen- und lumbalen Wirbelsäule im Hinblick auf das Rückenmark und die Nervenwurzeln. Um diesen gerecht zu werden, schildert Cloward den anterioren Operationszugang zur Halswirbelsäule. Als Anhaltspunkt diente die Entwicklung der Diskographie zur Darstellung von Bandscheibenläsionen, da man erkannte, dass das Erreichen der zervikalen Bandscheibe über den anterioren Weg zwischen Vagina carotis und Trachea erleichtert wurde (siehe Abbildung 2) [17]. Seit den 1950er Jahren war die Diskographie ein Routineverfahren über den posterioren Zugang an der Lendenwirbelsäule. Nach anfänglicher Skepsis und Forschung an Tierleichen wurde die Technik der anterioren Diskographie an der Halswirbelsäule eingeführt. Sie trug zum Verständnis zwischen degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule und angrenzenden Strukturen, sowie den dadurch auftretenden Beschwerden, bei [18].

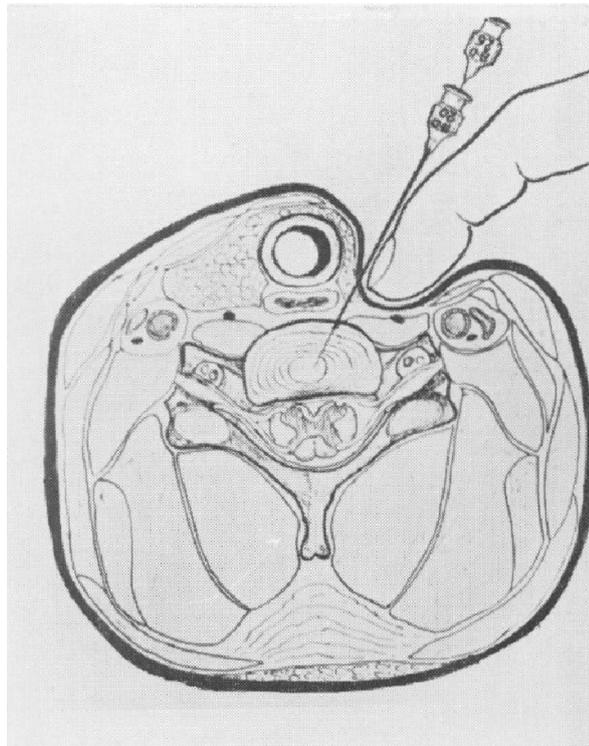


Abb. 2: Zervikale Diskography, aus [18], bearbeitet.

Cloward überarbeitete die für den operativen posterioren Zugang an der Lendenwirbelsäule verwendeten Instrumente, um sie für den anterioren Zugang an der Halswirbelsäule zu nutzen [20].

Eine frühe Studie über die Operationsmethode der anterioren Fusion von Smith und Robinson [58] aus dem Jahre 1958 beschreibt eine hohe Fusionsrate nach der Operation, verbunden mit einer Beschwerdefreiheit sowie keine ernsthaften Komplikationen. Eine Fusion wurde als solche definiert, wenn eine Knochenbrücke zwischen den operierten Wirbelkörpern und dem Knochenspan im Röntgenbild zu sehen war und es zu keiner Segmentbewegung in Flexions- und Extensionsaufnahmen im lateralen Röntgenbild kam. In lediglich zwei Fällen wurde postoperativ keine Beschwerdefreiheit erzielt und Revisions-Operationen vorgenommen. Diese Ergebnisse konnten durch andere Operationsverfahren in der Vergangenheit nicht gewährleistet werden. Zusätzlich war keine längerfristige Immobilisation

### 3 Einleitung

notwendig. Lediglich bei mehreren operierten Segmenten war eine entsprechende routinemäßige Immobilisation für drei bis sechs Monate vorgesehen [58].

Neben den zufriedenstellenden Ergebnissen an der Halswirbelsäule kam es an der Entnahmestelle des Knochenspanns am Beckenkamm bei mehr als 40 % der Patienten zu Komplikationen im Sinne von Entzündungen, Missempfindungen und chronischen Schmerzen [7, 21, 57, 60].

Bagby [6] entwickelte im Jahre 1988 als Alternative zu dem bis dahin verwendeten autogenen Knochenspann einen Metall-Cage zur Implantation in den Zwischenwirbelraum zweier Halswirbelkörper.

Im Laufe der Jahre wurden zunächst für die Lendenwirbelsäule, danach auch für die Halswirbelsäule mehrere Techniken zur Fusion mittels Metallplatte und Schrauben entwickelt [20]. Im Jahre 1989 führten Caspar et al. [14] das systematisierte Verfahren mittels Metallplatte ein. In ihrer Studie *Anterior Cervical Fusion and Caspar Plate Stabilization for Cervical Trauma* wurden sechzig Patienten initial mit einer Casparplatte operativ versorgt. Die Gründe für die Notwendigkeit der operativen Versorgung waren zum Großteil Wirbelkörperfrakturen mit und ohne posteriorer Instabilität, welche durch Auto- und Arbeitsunfälle hervorgerufen wurden. Sie beschreiben einen postoperativen Befund mit einjährigem Follow-Up bei vollständiger Fusion, keinem Vorliegen einer Kyphose, ohne Transplantatdislokation und neurologischen Defiziten. Hervorzuheben ist die direkte postoperative Stabilität ohne externe Stabilisierung durch die Verwendung einer Casparplatte [14].

Dennoch wurde das Verfahren zur anterioren Fusion kontrovers diskutiert und über lange Zeit der posteriore Zugang weiterhin praktiziert [20]. Randle et al. [49] beschreiben, dass der anteriore Zugang ein effektives Verfahren zur Stabilisation und frühen Rehabilitation bei Patienten mit neurologischen Beeinträchtigungen darstellt, jedoch nicht den posterioren Zugang ersetzen sollte. Angeführt wird das Argument des größeren Potenzials für schwerwiegende Komplikationen [49].

Selbstkritisch untersuchten Caspar et al. [15], ob eine anteriore Fusion mittels Plattenstabilisation einen Vorteil bringt oder lediglich eine Übertherapie darstellt. Untersucht wurden Patienten, die an einem oder mehreren Segmenten zum einen mit einem Knochenspann, zum anderen mit einer zusätzlichen Casparplatte (siehe Abbildung 3) operiert wurden. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass die Operation mittels Plattenfixation keine Überbehandlung ist, sondern die Stabilität unterstützt und die Reoperationsrate verringert [15].

Neben den positiven Effekten der Operationsmethode über den anterioren Zugang wurde auch die veränderte Biomechanik betrachtet. In einer Studie zur Biomechanik der zur Fusion angrenzenden Segmente wurde die Belastung der Bandscheibe und der Bewegungsumfang bei Flexion und Extension untersucht. Hierbei zeigte sich eine erhöhte Belastung mit höherem intradiskalen Druck sowie einem größeren Bewegungsumfang der angrenzenden Segmente. Durch die Belastungszunahme kann es zu einer schnelleren Degeneration der angrenzenden Segmente kommen [22].

#### 3.5 Anschlussdegeneration

Die Frage nach einer höheren Belastung der an die Fusion angrenzenden Segmente mit der Möglichkeit der Entstehung einer Anschlussdegeneration wurde nach Einführung und Etablierung der Operationsmethode erst im Jahre 1982 durch Boni et al. [11] gestellt. Eine klinische Relevanz wurde der Anschlussdegeneration jedoch abgesprochen. Vor allem in den weiteren Jahren hat die Aktualität der Frage, ob eine anteriore zervikale Diskektomie und Fusion der Halswirbelsäule einen Einfluss auf die Entstehung von degenerativen Prozessen an den an die Fusion angrenzenden Segmenten hat, bis heute nicht nachgelassen.

Die Inzidenz zur Entwicklung einer symptomatischen Degeneration eines benachbarten Segments nach

### 3 Einleitung

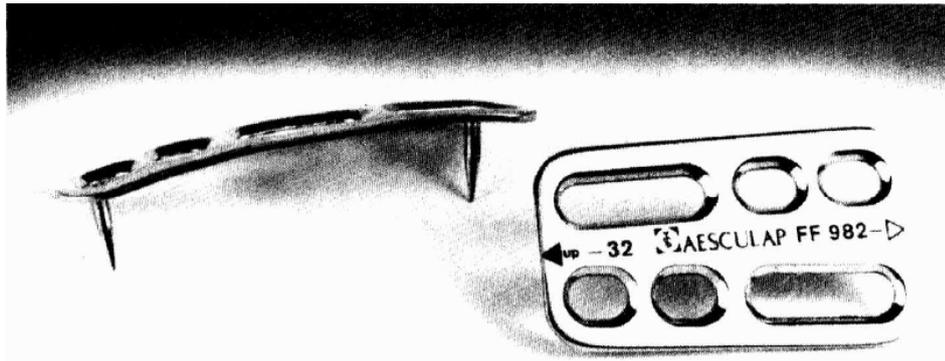


Abb. 3: Casparplatte, aus [14], bearbeitet.

anterioren Fusion kann nach 10 Jahren über 25% betragen [28]. In der Publikation von Park et al. [46] aus dem Jahr 2013 wird die mittels MRT beurteilte Rate der Anschlussdegenerationen mit 46,5% angegeben. Sie wurden von ihnen als jedwede degenerative Veränderungen im Sinne einer Abnahme der Bandscheibenhöhe, einer Veränderung der Signalintensität, dem Auftreten von posterioren Osteophyten, einem etwaigen Bandscheibenvorfall sowie der Kalzifizierung des anterioren und posterioren Ligamentum longitudinale definiert. Verglichen wurden insgesamt 43 Patienten, von denen 22 eine anteriore Diskektomie und Fusion erhielten, mit 21 Patienten, welche mittels Arthroplastik operiert wurden. Das Durchschnittsalter betrug 42,1 Jahre bei einer mittleren Nachverfolgungszeit von 62,2 Monaten. In der Gruppe der Patienten mit anteriorer Diskektomie und Fusion betrug die Rate der Anschlussdegeneration 42,9%, in der Gruppe der Patienten mit Arthroplastik 50%. Es wird angedeutet, dass es sich hierbei um einen alterungsbedingten Prozess handelt, jedoch wird offen gelassen, ob die Fusion eine Rolle bei der Entstehung spielt [46].

Die Rate der degenerativen Veränderungen korreliert mit dem Alter [2, 46]. Natürliche Prozesse bedingen die Abnahme der Signalintensität der Bandscheiben durch Flüssigkeitsreduktion und Verlust an Proteoglykanen [2]. Das Auffinden degenerativer Veränderungen an den Bandscheiben der Halswirbelsäule korreliert jedoch nicht mit dem Aufkommen von Symptomen [40].

Nach wie vor bleibt auch die Frage nach der Ursache für die Entstehung von Anschlussdegenerationen nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion ungeklärt. Hilibrand et al. [28] beschreiben das Aufkommen von neuen Degenerationen an benachbarten Bandscheiben der Halswirbelsäule mit einer Inzidenz von 2,9% pro Jahr in den ersten 10 Jahren nach der Operation. Sie untersuchten 374 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 51 Jahren mit zervikaler Spondylodese und fanden heraus, dass die unteren Segmente der Halswirbelsäule ein höheres Risiko für die Entstehung einer angrenzenden Bandscheibendegeneration haben [28]. Zu einer ähnlichen Schlussfolgerung kamen Komura et al. [35], nachdem sie 102 Patienten mit einem mittleren Lebensalter von 56,1 Jahren im Mittel über 61,4 Monate nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion klinisch und radiologisch untersuchten. Werden die zervikalen Halswirbel C5, C6 und C7 in die Fusion eingeschlossen, so ist die Rate der Anschlussdegenerationen geringer, als wenn diese als angrenzende Segmente unfusioniert bleiben [35].

In der Literatur finden sich weitere Risikofaktoren, wie die durch eine Operation veränderte Ausrichtung der Halswirbelsäule, die als Sagittales Alignment bezeichnet wird, die Minderung des Bewegungsbereiches (*Range of Motion*), die Anzahl der fusionierten Segmente und die Operationsmethode

### 3 Einleitung

[59]. Die einzelnen Risikofaktoren wurden in vielen Publikationen durch unterschiedliche Techniken bestimmt.

Das *Sagittale Alignment* der Halswirbelsäule beschreibt deren Ausrichtung als kyphotisch, gerade oder lordotisch [31]. Ausgehend von natürlichen Alterungsprozessen verliert die Bandscheibe zunehmend an ventraler Höhe. Dies kann zu einer kyphotischen Deformation mit neuronaler- und vaskulärer Kompression bis zum Krankheitsbild der spondylotischen Myelopathie führen [25].

Die Ausrichtung der Halswirbelsäule kann unter anderem durch den Cobb-Winkel [47] oder die Klassifikation nach Katsuura [31] bestimmt werden. Im lateralen Röntgenbild der Halswirbelsäule wird der Winkel der kaudalen Endplatte von C 2 und C 7 als Cobb-Winkel bezeichnet [47]. Katsuura et al. [31] definierten den Winkel zwischen den Linien, die die Parallele der Hinterkante des zweiten und siebten Zervikalwirbels einschließen, als Ausrichtung der Halswirbelsäule.

Im Hinblick auf die natürliche und altersbedingte Veränderung der Halswirbelsäule, auch in ihrer Ausrichtung [48], wurde dennoch eine Korrelation zwischen einer Kyphose nach Fusion und der gehäuften Degeneration von benachbarten Segmenten gefunden [31, 47].

Zusätzlich stellt sich die Frage, ob die Ursache für eine angrenzende Bandscheibendegeneration nicht die Progression einer Wirbelsäulenerkrankung ist [61]. Song et al. [61] postulierten, dass bei der Entstehung einer Anschlussdegeneration die Fusion nur eine untergeordnete Rolle spielt. Sie untersuchten hierfür 87 Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 54,4 Jahren über im Mittel 84,8 Monate. Die an das operierte Segment angrenzenden und nicht angrenzenden Segmente wurden radiologisch und durch eine MRT-Aufnahme untersucht. Wurde eine Verminderung des Bandscheibenraumes und eine anteriore Ossifikation bestimmten Grades festgestellt, so lag eine Degeneration vor. Von insgesamt 457 untersuchten Segmenten wurden acht Prozent als degenerativ eingestuft. In der Gruppe der an das operierte Segment angrenzenden Segmente hatten 16 % eine Degeneration, in der Gruppe der nicht angrenzenden Segmente drei Prozent. Hier zeigte sich zwar ein signifikanter Unterschied, jedoch nicht in Bezug auf neu entstandene radikuläre oder myelopathische Symptome, noch in Bezug auf das Alter.

Matsumoto et al. [40] hingegen entdeckten eine signifikante Zunahme bei der angrenzenden Bandscheibendegeneration nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion im Vergleich zu einer Kontrollgruppe. Sie verglichen in einem 10 jährigen Follow-up die Inzidenz der Anschlussdegeneration mit einem Gradifizierungssystem für das MRT. Untersucht wurden 64 Patienten nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion mit einem Durchschnittsalter von 47,3 Jahren über im Mittel 12,1 Jahre sowie 201 asymptomatische freiwillige Probanden mit einem Durchschnittsalter von 41,1 Jahren. Ausgewertet wurden ähnlich den von Park et al. [46] beschriebenen Kriterien die Signalintensität der Bandscheibe, die posteriore Bandscheibenprotrusion und die Minderung der Höhe der Bandscheibe sowie das Vorliegen einer Stenose der Foramina. Signifikante Unterschiede zeigten sich bei den Vergleichen aller vier Kriterien. Patienten, die mittels anteriorer Diskektomie und Fusion an der Halswirbelsäule operiert wurden, hatten eine verminderte Signalintensität der Bandscheibe, eine geringere Bandscheibenhöhe, eine häufigere posteriore Bandscheibenprotrusion sowie häufiger eine Foramenstenose [40]

#### 3.6 Fragestellung und Motivation

In einer zusammenfassenden Übersicht versuchte Riew et al. (2012) [51] zu klären, ob eine "Adjacent Segment Pathology" ein natürlicher oder iatrogener Prozess ist und kam zu keinem abschließenden Ergebnis.

Basierend auf den Ergebnissen von in den letzten Jahren publizierten Artikeln zum Thema der anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion zeigt sich ebenso Uneinigkeit über die Entstehung von Anschlussdegenerationen [28, 61, 40, 36, 46, 37]. In diesem Zusammenhang beschreiben Lundine et al. [37] in ihrer Veröffentlichung aus dem Jahre 2014 die Untersuchung von präoperativen MRT-Bildern von Patienten, die sich einer anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion unterzogen haben. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass schon vor der Operation Degenerationen an den angrenzenden Segmenten vorhanden waren und somit der weitere Verschleiß der Wirbelsäule ein natürlicher Prozess ist.

Die kontroverse Diskussion schließt sowohl die fusionierten Segmente, die Wahl der verwendeten Transplantate im Hinblick auf die Fusionsrate und Schmerzen als auch die Frage nach einer Fusion mit oder ohne Platte ein [4, 16, 33, 32, 28, 35, 52, 54].

Es existieren nur wenige Langzeitstudien über Nachuntersuchungen an Patienten, bei denen eine Operation nach Cloward durchgeführt wurde, wie die von Noriega et al. [44] über durchschnittlich 22 Jahre. Diese Veröffentlichung ist jedoch durch die alleinige Nutzung von Röntgenaufnahmen ohne CT oder MRT limitiert.

Die Möglichkeit, einen Teil zur Aufklärung bei der Entstehung von Anschlussdegenerationen in einer langjährigen Nachuntersuchung von MRT- Bildern bei Patienten mit zervikaler Diskektomie und Fusion beizutragen, ist die Motivation dieser Arbeit.

Es stellen sich folgende Fragen:

- 1) Zeigen sich an den zum Operationssegment angrenzenden Segmenten häufiger degenerative Veränderungen als an den nicht angrenzenden Segmenten?
- 2) Gibt es einen Unterschied zwischen einer anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion mit oder ohne Platte sowie bei einem oder mehreren operierten Segmenten?
- 3) Zeigt sich bei Patienten, die mit oder ohne Platte operiert wurden, im MRT ein signifikanter Unterschied des sagittalen Alignments sowie bei weiteren vorgenommenen Messungen?

## 4 Material und Methoden

Im folgenden Kapitel werden die Operationsmethode, das verwendete Patientenkollektiv und die Messmethoden erklärt.

### 4.1 Operationsmethode

Nach Smith und Robinson wurden die Patienten in Rückenlage operiert. Sowohl die Haut an der rechten anterioren Seite des Halses als auch die Haut über dem rechten Beckenkamm wurde präpariert. Eröffnet wurde die Haut des Halses im Bereich des fünften Halswirbels bis zu einem Abstand von drei Fingern vor dem Schlüsselbein. Je nach Höhe des Wirbelkörpers des zu operierenden Segments wurde eine entsprechende Anpassung der Inzision vorgenommen und betrug eine Länge von bis zu 10 Zentimetern. Zur Sicherstellung des zu operierenden Segments wurden bei Notwendigkeit laterale Röntgenaufnahmen angefertigt. Präpariert wurde das subkutane Gewebe, das Platysma sowie entlang der medialen Grenze des Musculus sternocleidomastoideus bis zur Carotisscheide. Hiernach wurde der Musculus sternocleidomastoideus und die Carotisscheide zur lateralen Seite sowie die vorderen Halsmuskeln, die Trachea, der Oesophagus und die Glandula Thyroidea zur medialen Seite verlagert und mit entsprechenden Retraktoren fixiert (siehe Abbildung 4). Anschließend wurde die prävertebrale Faszie eröffnet und eine Lasche in das Ligamentum longitudinale auf Höhe des Bandscheibenraums geschnitten. Hierdurch wurde der Nucleus Pulposus, die Knorpelplatte und eventuelle Osteophyten entfernt. Der so entstandene Raum wurde mit einem Knochenspan ausgefüllt, der im Quadrat eine Größe von 10 bis 15 Millimeter hatte. Ein entsprechender Knochenspan aus dem Beckenkamm wurde eingepasst und die Lasche des Ligamentum longitudinale vernäht. Anschließend wurde die Wunde mit Nähten verschlossen und steril verbunden [58].

Patienten des vorliegenden Kollektivs, die mit und ohne den Einsatz einer Casparplatte versorgt wurden, wurden nach oben beschriebenen Maßstäben operiert. Abweichend von der oben dargestellten Operationsmethode erhielten die Patienten jedoch an der linken Halsseite den Operationszugang. Des Weiteren wurde die Arteria thyroidea dargestellt, unterbunden und durchtrennt. Die Eröffnung und Präparation in die Tiefe bis zur Bandscheibe stellte sich gleich dar.

Nach dem Ausräumen des Bandscheibenfaches, dem Abtragen der Spondylosen sowie der Erweiterung der Foramina intervertebralia wurde nach entsprechender Präparation ein Knochendübel aus dem linken Beckenkamm entnommen und angepasst. Patienten, die intraoperativ eine Casparplatte erhielten, bekamen eine an die Halslordose angepasste Trapezplatte nach Caspar, die mit jeweils zwei Schrauben je Wirbelkörper fixiert wurde.

### 4.2 Patientenkollektiv

In der vorliegenden Doktorarbeit wurden retrospektiv 103 MRT-Bildgebungen der Halswirbelsäule von Patienten nachuntersucht, welche aufgrund von degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen (Bandscheibenvorfall, Myelopathie und Spondylose) eine anteriore zervikale Diskektomie und Fusion vor mindestens 15 Jahren erhalten hatten. Operiert wurden die Patienten nach der Methode von Smith und Robinson. Zusätzlich erhielt ein Teil der Patienten eine Fusion mittels Casparplatte.

Die für diese Arbeit untersuchten 103 Patienten gliedern sich in 63 männliche Patienten und 40 weibliche Patientinnen auf, die bei der Untersuchung ein Durchschnittsalter von 67,9 Jahren hatten. Zwischen der initialen Operation und den zu dieser Arbeit genutzten MRT-Bildern liegt eine durchschnittliche Zeit von 24,5 Jahren mit einer Spannweite von 17 - 38 Jahren.

## 4 Material und Methoden

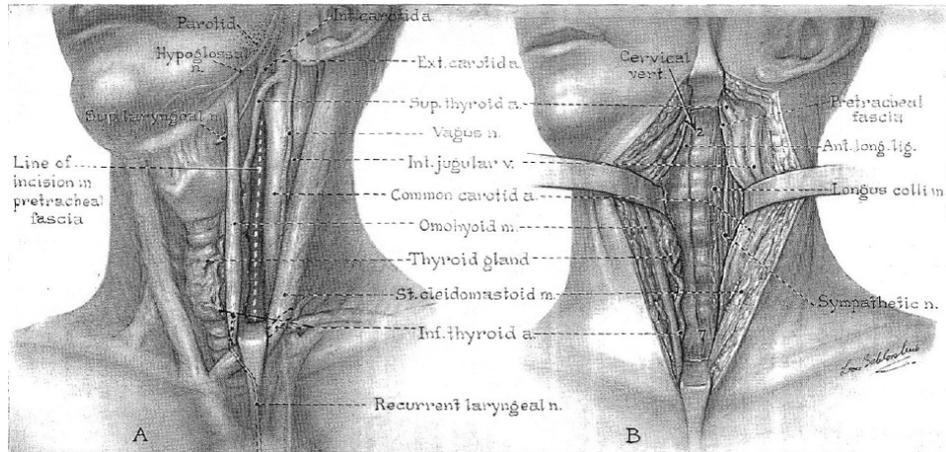


Abb. 4: Zeichnung der Operationstechnik von Smith und Robinson. Zu sehen ist der anteriore Zugang zur Halswirbelsäule, aus [58], bearbeitet.

Initial bekamen 59 Patienten eine Operation ohne Casparplatte und 44 Patienten eine Operation mit Casparplatte. Hiervon wurden 22 Patienten ein zweites und ein Patient ein drittes Mal operiert. Die Gründe für die erneute Operation sind in Tabelle 1 dargestellt.

Eine Information über den klinisch neurologischen Status der Patienten lag nicht vor.

### 4.3 Messmethoden

Die MRT-Bilder wurden mit einem Magnetresonanztomograph der Marke Siemens mit der magnetischen Flussdichte von drei Tesla aufgenommen. Hierbei wurden jeweils drei Pulssequenzen der Halswirbelsäule von den Wirbelkörpern C 2 bis T 2 aufgenommen: T 1, T 2 und Space Sequenz. Die T 1 *time to echo* betrug 12 Millisekunden, die *time to repetition* 833 Millisekunden. Die T 2 *time to echo* war 96 Millisekunden, die *time to repetition* 5100 Millisekunden lang. In der Space Sequenz betrug die *time to echo* 223 Millisekunden und die *time to repetition* 1600 Millisekunden.

Gemessen und ausgewertet wurden die MRT-Bilder mit dem Programm *Centricity PACS-System* (General Electric Healthcare, Chalfont St. Giles, United Kingdom). Für die vorgenommenen Messungen wurden die MRT-Bilder um bis zu 200 % vergrößert.

#### 4 Material und Methoden

<b>Ein fusioniertes Segment</b>	<i>Anzahl Patienten</i>	<i>Anzahl 2. OP</i>	<i>Grund für 2./3. OP</i>	<i>Anzahl OP</i>
<i>C 4/5</i>	3	-	-	
<i>C 5/6</i>	24	5	Explantation der Platte bei Dyphagie	1
			angrenzende Fusion	4
			bei symptomatischer ASD	
<i>C 6/7</i>	30	7	Plattenbruch	1
			Dübelrevision	1
			Eingabe <i>Cage</i>	1
			bei Revision ohne Platte	
			angrenzende Fusion	3
			Nachblutung	1
<i>C 7/T 1</i>	1	-	-	
<b>Zwei fusionierte Segmente</b>				
<i>C 4-6</i>	7	1	Explantation der Platte bei Dysphagie	1
<i>C 5-7</i>	29	7	Explantation der Platte (3. OP) bei Dysphagie	1
			Dübelrevision bei Dislokation	2
			angrenzende Fusion	2
			bei symptomatischer ASD	
			nicht angrenzende Fusion	1
			Hemilaminektomie	1
<i>C 6- T 1</i>	1	1	angrenzende Fusion	
			bei symptomatischer ASD	
<i>C 4/5 + C 6/7</i>	1	-	-	
<b>Drei fusionierte Segmente</b>				
<i>C 3-6</i>	4	-	-	
<i>C 4-7</i>	3	1	Explantation der Platte bei Dysphagie	1

Tab. 1: Patientenkollektiv unterteilt in die Anzahl der operierten Segmente. Zudem sind die Gründe für eine erneute Operation angegeben. Hierbei handelte es sich um Metallentfernungen, angrenzende und nicht angrenzende Fusionen, ein Plattenbruch, Dübelrevisionen, Eingabe eines *Cage* sowie eine Hemilaminektomie.

## 4 Material und Methoden

Operationssegment/e	mit Casparplatte	ohne Casparplatte
<i>C4/5</i>	1	2
<i>C5/6</i>	7	17
<i>C6/7</i>	9	21
<i>C7/T1</i>	0	1
<i>C4-6</i>	6	1
<i>C5-7</i>	15	14
<i>C6-T1</i>	0	1
<i>C4/5 + C6/7</i>	0	1
<i>C3-6</i>	4	0
<i>C4-7</i>	3	0

Tab. 2: Auftrennung der Anzahl der Operationshöhen nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion. Insgesamt wurden 58 Patienten an einem Segment operiert, hiervon 17 mit und 41 ohne Casparplatte. 38 Patienten bekamen eine Operation an zwei Segmenten der Halswirbelsäule. Von diesen wurden 21 mit und 17 ohne Casparplatte operiert. An drei Segmenten jeweils mit Casparplatte wurden sieben Patienten operiert.

### 4.3.1 Bandscheibenhöhe

Die Bandscheibenhöhe wurde in der sagittalen Achse des T2-gewichteten MRT-Bildes gemessen, indem der Abstand in der Mitte der Unterkante des kranialen Halswirbels und der Oberkante des kaudalen Halswirbels bestimmt wurde (siehe Abbildung 5).

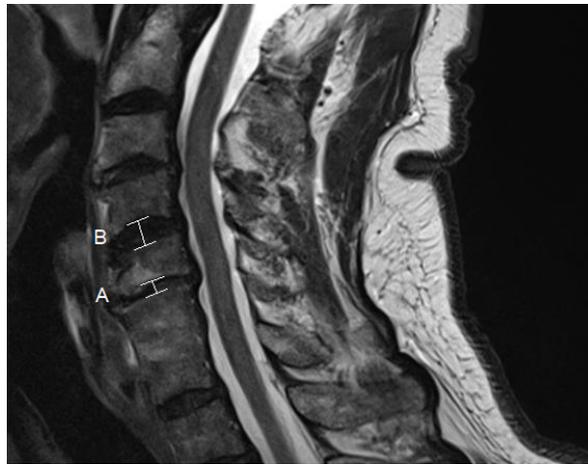


Abb. 5: Darstellung der Messung der Bandscheibenhöhe in der T2-gewichteten sagittalen Ebene. Es zeigt sich eine verminderte Bandscheibenhöhe im an die Fusion angrenzenden Segment (A) im Vergleich zum nicht an die Fusion angrenzenden Segment (B).

### 4.3.2 Posteriore Osteophyten

Posteriore Osteophytenformationen wurden in der T2-gewichteten sagittalen Ebene bestimmt. Hierbei wurden in Anlehnung an das Bewertungssystem von Matsumoto et al. [40] Punkte für den jeweiligen Ausprägungsgrad der posterioren Osteophyten vergeben. Kam es zur geringen Ausprägung von posterioren Osteophyten, so ergab dies null Punkte. Zeigten sich posteriore Osteophyten ohne Myelonkontakt, so wurde hierfür ein Punkt vergeben (siehe Abbildung 6). Ein direkter Kontakt von posterioren Osteophyten mit dem Myelon und dem Vorliegen einer Kompression ergab zwei Punkte.



Abb. 6: Darstellung der Bewertung der Ausprägung von posterioren Osteophyten eines Patienten, der mit Casparplatte an den Segmenten C5-7 operiert wurde, mittels T2-gewichtetem sagittalem MRT-Bild. Im eingekreisten Segment zeigt sich die Ausbildung posteriorer Osteophyten ohne Myelonkontakt.

### 4.3.3 Posteriore Bandscheibenprotrusion

In der T2-gewichteten sagittalen Ebene erfolgte die Beurteilung und Messung der Stärke der Bandscheibenprotrusion. Die Einteilung erfolgte ebenfalls anhand des Bewertungssystems nach Matsumoto et al. [40] (siehe Tabelle 3 und Abbildung 7).

### 4.3.4 Foramendiameter

Der Foramendiameter beider Seiten wurde in der axialen T2-gewichteten Ebene der MRT-Bilder in jeder abgebildeten Hals- und Brustwirbelsäulenhöhe gemessen. Die Messung des Abstandes zwischen den knöchernen Anteilen des Foramens wurde in Millimetern angegeben. Aufgrund der veränderten anatomischen und biomechanischen Eigenschaften der Brustwirbelsäule wurden hier keine Messungen vorgenommen (siehe Abbildung 8).



Abb. 7: Darstellung der Bewertung der Ausprägung einer posterioren Bandscheibenprotrusion eines Patienten, der ohne Casparplatte an den Segmenten C 5 / 6 operiert wurde, mittels T 2-gewichtetem sagittalem MRT-Bild. (A) zeigt eine ausgeprägte Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt, (B) eine Bandscheibenprotrusion ohne Myelonkontakt.

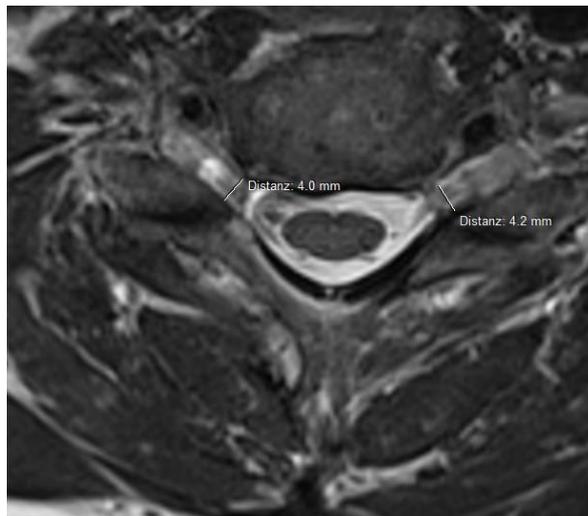


Abb. 8: Darstellung der Messung des rechten und linken Foramendiameters im T 2-gewichteten MRT-Bild in der axialen Ebene.

## 4 Material und Methoden

<b>Parameter</b>	<b>Punkte</b>	
<i>Minderung der Signalintensität der Bandscheibe</i>	0	Vergleichbar mit der Intensität der Zerebrospinalflüssigkeit
	1	merklich dunkler als die Zerebrospinalflüssigkeit
	2	kein Signal
<i>Posteriore Bandscheibenprotrusion</i>	0	keine Protrusion
	1	Protrusion ohne Rückenmarkskompression
	2	Protrusion mit Rückenmarkskompression
<i>Minderung der Bandscheibenhöhe</i>	0	100-75 % der Höhe der kranialen, gesunden Bandscheiben
	1	75-50 % der Höhe der kranialen, gesunden Bandscheibe
	2	weniger als 50 % der Höhe der kranialen, gesunden Bandscheibe
<i>Foramenstenose</i>	0	keine Vorliegen einer Stenose
	1	Vorliegen einer Stenose

Tab. 3: Bewertungssystem von Matsumoto et al. [40] zur Beurteilung einer Bandscheibengeneration mittels MRT, aus [40], übersetzt und bearbeitet.

### 4.3.5 Myelondiameter

Eine Ausmessung des Myelondiameters wurde in Anlehnung an Katsuura et al. [31] und Arvin et al. [5] in der T2-gewichteten sagittalen Ebene durchgeführt. Die Messung erfolgte, indem der Durchmesser des Rückenmarks im Bandscheibenraum kranial des fusionierten Segments sowie auf der Höhe der Mitte des angrenzenden Wirbelkörpers gemessen wurde. Dieselben Messungen erfolgten in dem kaudal der Fusion liegenden Bandscheiben- und Wirbelkörperraum (siehe Abbildung 9).

### 4.3.6 Höhe des Operationssegments

Die Höhe des operierten Segments (*operated segment height*) wurde in der sagittalen Ebene der T2-gewichteten MRT-Bilder gemessen. Ausgehend von der kranialen Oberkante und kaudalen Unterkante der die Fusion begrenzenden Wirbelkörper wurde der Abstand gemessen (siehe Abbildung 9).

### 4.3.7 Sagittales Alignment

Im sagittalen T2-gewichteten MRT-Bild wurde an der Hinterkante des zweiten Halswirbels eine Linie gezogen sowie an der Hinterkante des siebten Halswirbels. Der sich hieraus ergebende Winkel stellt das sagittale Alignment dar (siehe Abbildung 11).

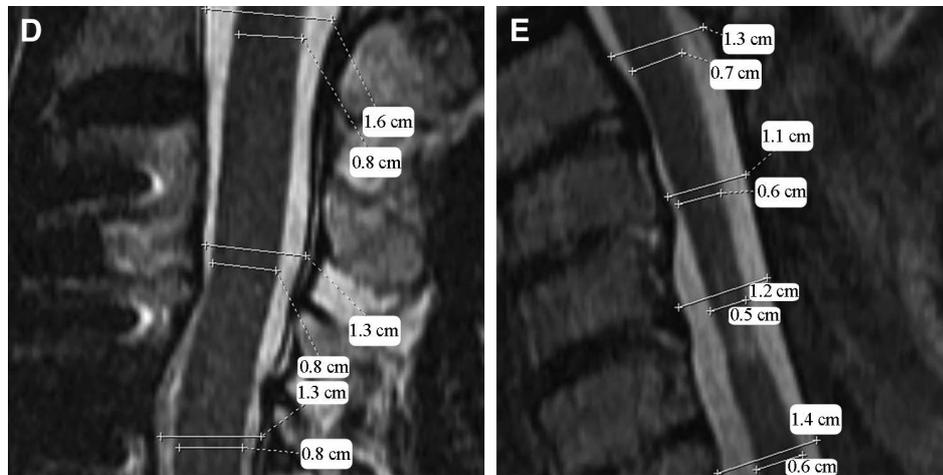


Abb. 9: Darstellung in Anlehnung an die Messung des Myelondurchmessers im T2-gewichteten sagittalen MRT-Bild der Halswirbelsäule, aus [5], bearbeitet.



Abb. 10: Messung der Höhe des Operationssegments in der sagittalen T2-gewichteten Ebene. Die Abbildung zeigt die Messung eines Patienten des Kollektivs, der an den Halswirbelkörpern C4 und C5 ohne Casparplatte operiert wurde.

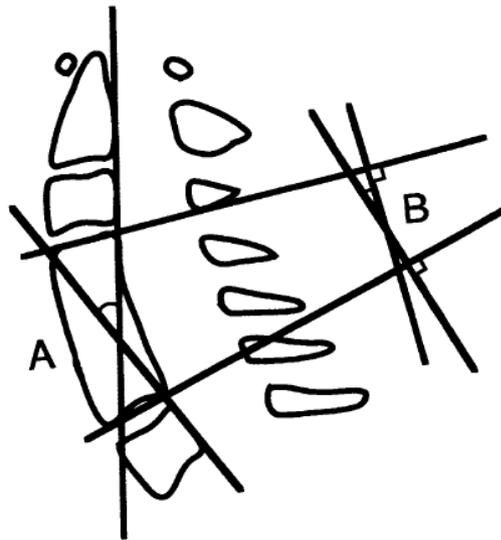


Abb. 11: Graphik zur Messung des sagittalen Alignments und somit der Ausrichtung der Halswirbelsäule (A) und der segmentalen Ausrichtung der Fusion (B), aus [31], bearbeitet.

#### 4.3.8 Segmentales Alignment der Fusion

Zur Messung des segmentalen Alignments der Fusion wurde eine Linie kranial der Oberkante und kaudal der Unterkante der die Fusion begrenzenden Wirbelkörper gezogen und der zwischen diesen beiden Linien liegende Winkel (*Cobb Angle*) gemessen (siehe Abbildung 12).

#### 4.3.9 Ausrichtung der Halswirbelsäule

Der Ausrichtungsgrad der Halswirbelsäule wurde anhand in sagittaler Achse vorliegender T2-gewichteter MRT-Bilder ausgemessen. Die nach Katsuura et al. [31] vorgenommene Ausmessung des sagittalen Alignments (siehe Abbildung 11) erbrachte ebenfalls einen Winkel der gesamten Halswirbelsäule, durch den sich der Ausrichtungsgrad bestimmen lässt.

### 4.4 Datenaufbereitung

Das Ziel der Datenauswertung und Aufbereitung war der Vergleich der Patienten, die mit oder ohne Casparplatte operiert, sowie der Vergleich der Patienten, die an einem oder mehreren Segmenten operiert worden sind. Des Weiteren wurden die Patienten in einer zusätzlichen Darstellung segment-spezifisch nach den operierten Segmenten C5/6, C6/7 und C5-7, unabhängig von der Operation mit und ohne Casparplatte, aufgeteilt. Ein Vergleich wurde jeweils zwischen dem kranial an die Fusion angrenzenden Segment und dem darüber liegenden, kranialen nicht an die Fusion angrenzenden Segment angestellt. Ebenfalls wurde ein Vergleich zwischen dem kaudal an die Fusion angrenzenden Segment mit dem darunter liegenden, kaudalen nicht an die Fusion angrenzenden Segment angestellt. Aufgrund von erneuten Operationen oder zwei nicht aneinander angrenzenden Operationshöhen und der dadurch fehlenden Vergleichbarkeit konnten 13 Patienten des Kollektivs nicht ausgewertet wer-

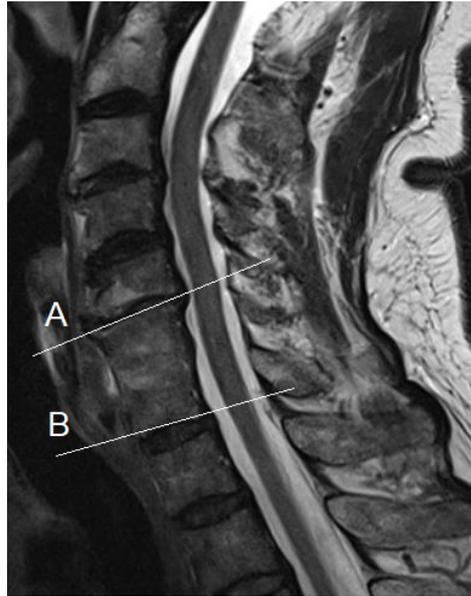


Abb. 12: Darstellung der Messung des segmentalen Alignments mittels des Cobb-Winkels zwischen der Deckplatte (A) und der Grundplatte (B) der die Fusion begrenzenden Wirbelkörper.

den. Zusätzlich wurden beim Vorliegen von Suszeptibilitätsartefakten entsprechende Parameter nicht erhoben.

#### 4.4.1 Statistische Auswertung

Die gemessenen Daten zur Bandscheibenhöhe, zur operierten Segmenthöhe, zur posterioren Bandscheibenprotrusion und posterioren Osteophyten, zum Foramendiameter, zum Subarachnoidalraum und zu den oben angeführten Winkeln wurden mit IBM SPSS 22 statistisch ausgewertet. Um die Werte am gleichen Patienten auszuwerten wurde der Wilcoxon-signed-rank-Test für verbundene Stichproben verwendet. Bei der Auswertung der Parameter mehrerer Patienten untereinander erfolgte die Auswertung mit dem Mann-Whitney-U-Test für unverbundene Stichproben. Die verglichenen Daten wurden ab einem p-Wert unter 0.05 als signifikant bewertet.

#### 4.4.2 Score

Auf der Grundlage des in der prospektiven Studie von Matsumoto et al. [40] verwendeten Bewertungssystems (siehe Tabelle 3) zur Beurteilung einer an die Fusionshöhe angrenzenden Degeneration der Halswirbelsäule wurde ein eigener Score entwickelt.

Fünf Parameter wurden herangezogen, um den Grad der Degeneration eines jeweiligen Segments zu erheben: Bandscheibenhöhe, posteriore Osteophyten, posteriore Bandscheibenprotrusion, Foramendiameter und Myelondiameter (siehe Tabelle 4). Im Gegensatz zu den vier erstgenannten Parametern wurde die Messung des Myelondiameters ausschließlich für den Score vorgenommen.

Im Vergleich standen wie beschrieben jeweils das kranial an die Fusion angrenzende Segment mit dem kranial nicht angrenzenden Segment sowie das kaudal an die Fusion angrenzende Segment mit dem kaudal nicht an die Fusion angrenzenden Segment.

#### 4 *Material und Methoden*

Die primäre Punkteerfassung für die Bandscheibenhöhe, die posterioren Osteophyten und die posteriore Bandscheibenprotrusion erfolgte mit dem Punktesystem von Matsumoto et al. [40]. Bewertet wurde die Bandscheibenhöhe im Vergleich jedoch nur mit einem Punkt, wenn diese im angrenzenden Segment um mindestens 20 % gemindert war. Die Ausbildung von posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt wurde mit einem Punkt beurteilt, wenn eine Myelonkompression lediglich im angrenzenden Segment bestand. Ebenso wurde die posteriore Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt mit einem Punkt beziffert, wenn diese nur im angrenzenden Segment bestand.

Foramen- und Myelondiameter wurden mit null bis einem Punkt bewertet. Zeigte sich ein Unterschied des Foramendiameters über 20 %, so wurde dies mit einem Punkt, unter 20 % mit null Punkten, bewertet. Generell wurde ein Foramendiameter kleiner gleich zwei Millimeter als stenosiert betrachtet. Da die Messung der Foramendiameter an beiden Seiten der Halswirbelsäule vorgenommen wurde, wurde jeweils die rechte mit der rechten- und die linke mit der linken Seite verglichen.

Ein geringerer Myelondiameter größer-gleich 0,5 Millimeter wurde mit einem Punkt bewertet, weniger als ein halber Millimeter ergaben null Punkte.

Die fünf Parameter konnten in dem für diese Arbeit verwendeten Punktesystem null bis fünf Punkte ergeben.

Im Vergleich des an die Fusion angrenzenden Segments zu dem nicht angrenzenden Segment kaudal der Fusion wurde aus messtechnischen Gründen eine Anpassung des Scores auf vier Parameter unter Ausschluss des Foramendiameters vorgenommen, sodass null bis vier Punkte erreicht werden konnten. Eine angrenzende Degeneration lag hierbei vor, wenn mindestens drei der fünf Parameter einen Punkt bekamen, respektive im Vergleich der kaudalen Segmente zwei der vier Parameter mit einem Punkt bewertet wurden.

#### 4 Material und Methoden

<b>Parameter</b>	<i>Punkte</i>	
<i>Minderung der Bandscheibenhöhe</i>	0	100-81 % der Höhe der kranialen Bandscheibe
	1	$\leq 80$ % der Höhe der kranialen Bandscheibe
<i>Posteriore Osteophyten</i>	0	ohne Myelonkompression
	1	mit Myelonkompression nur im angrenzenden Segment
<i>Posteriore Bandscheibenprotrusion</i>	0	keine Protrusion, Protrusion ohne oder mit Rückenmarkskompression im angrenzenden und nicht angrenzenden Segment
	1	Protrusion mit Rückenmarkskompression nur im angrenzenden Segment
<i>Foramenstenose</i>	0	keine Vorliegen einer Stenose
	1	Vorliegen einer Stenose ( $\leq 2$ mm) nur im angrenzenden Segment oder $\geq 20$ % Unterschied des Foramendiameters im angrenzenden und nicht angrenzenden Segment
<i>Myelondiameter</i>	0	$\geq 0,5$ mm im Vergleich des angrenzenden zum nicht angrenzenden Segment
	1	$\leq 0,5$ mm im Vergleich des angrenzenden zum nicht angrenzenden Segment

Tab. 4: Bewertungssystem zur Beurteilung einer angrenzenden Degeneration mittels MRT. Eine ASD lag im kranialen, an die Fusion angrenzenden Segment nur dann vor, wenn im Vergleich des ersten zum zweiten Segments oberhalb der Fusion mindestens 3 von 5 Punkte sowie im kaudal an die Fusion angrenzenden Segment im Vergleich des ersten zum zweiten an die Fusion angrenzenden Segmentes 2 von 4 Punkte erreicht wurden.

## 5 Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die signifikanten Unterschiede der statistisch ausgewerteten Parameter, die Ergebnisse und die Auswertung des Scores sowie der Ausrichtungsgrad der Halswirbelsäule beschrieben.

### 5.1 Bandscheibenhöhe

In den Tabellen 5, 6, 7 und 8 werden die Mittelwerte der Bandscheibenhöhen, entsprechend der vorgenommenen Aufteilung der Patienten, dargestellt. In den Abbildungen 13 und 14 werden die Differenzen der Mittelwerte der Bandscheibenhöhen angegeben. In den Tabellen 21, 22, 23, 24, 25 sind die Unterschiede in der Bandscheibenhöhe der kranialen und kaudalen Segmente aufgelistet.

Bei der Auswertung zeigten sich mehrere signifikante Unterschiede.

Im Vergleich der Patienten, die an einem Segment mit einer Casparplatte operativ versorgt wurden, zeigte sich eine größere Bandscheibenhöhe im kranial nicht an die Fusion angrenzenden Segment im Vergleich zum kranial an die Fusion angrenzenden Segment ( $p = 0,00$ , Differenz der Mittelwerte: 1 mm). Patienten, die an einem Segment ohne Casparplatte operiert wurden, hatten im Vergleich des ersten zum zweiten Segment kranial der Fusion eine größere Bandscheibenhöhe im nicht an die Fusion angrenzenden Segment ( $p = 0,00$ , Differenz der Mittelwerte: 1,1 mm). Die weiteren Auswertungen in Bezug auf eine Differenz in der Bandscheibenhöhe in Abhängigkeit von der operativen Versorgung (mit bzw. ohne Casparplatte), bei Patienten die an zwei Segmenten operiert wurden, ergaben sowohl kranial als auch kaudal der Fusionshöhe keinen Unterschied.

In der segmentspezifischen Aufteilung zeigte sich bei Patienten, die an dem Segment C 5 / 6 mit und ohne Casparplatte operiert wurden, ein Unterschied in der Bandscheibenhöhe im Vergleich des angrenzenden zum nicht angrenzenden Segmentes kranial ( $p = 0,00$ , Differenz der Mittelwerte 0,9 mm) sowie kaudal der Fusion ( $p = 0,00$ , Differenz der Mittelwerte 1,3 mm). Ebenfalls ergab die Auswertung eine größere Bandscheibenhöhe im Vergleich des kranial an die Fusion angrenzenden zum nicht angrenzenden Segment bei Patienten, die an dem Segment C 6 / 7 mit und ohne Casparplatte operiert worden sind ( $p = 0,00$ , Differenz der Mittelwerte 1,5 mm). In den weiteren Vergleichen konnte kein Unterschied festgestellt werden.

Operationssegment/e	1. Segment kranial (mm)	2. Segment kranial (mm)	p-Wert	
C 5 / 6	3,6 ± 1,1	4,5 ± 1,0	0,00	*
C 6 / 7	2,9 ± 1,3	4,4 ± 1,4	0,00	**
C 5 - 7	3,5 ± 1,2	4,0 ± 1,1	0,07	
1 Segment mit Platte	3,3 ± 1,3	4,3 ± 0,9	0,00	*
1 Segment ohne Platte	3,4 ± 1,3	4,5 ± 1,3	0,00	***
2 Segmente mit Platte	3,2 ± 1,0	4,0 ± 0,8	0,01	
2 Segmente ohne Platte	3,6 ± 1,3	4,0 ± 1,5	0,56	
3 Segmente mit Platte	3,7 ± 2,3	4,6 ± 1,5	0,18	

Tab. 5: Mittelwerte, Standardabweichungen und p-Werte der Bandscheibenhöhen des ersten und zweiten kranialen Segments im Vergleich der Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

5 Ergebnisse

<b>Operationssegment/e</b>	<i>mit Platte (mm)</i>	<i>ohne Platte (mm)</i>
<b>1 Segment</b>		
<i>1. Segment kranial</i>	3,3 ± 1,3	3,4 ± 1,3
<i>2. Segment kranial</i>	4,3 ± 0,9	4,5 ± 1,3
<b>2 Segmente</b>		
<i>1. Segment kranial</i>	3,2 ± 1,0	3,6 ± 1,3
<i>2. Segment kranial</i>	4,0 ± 0,8	4,0 ± 1,5

Tab. 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bandscheibenhöhen des ersten und zweiten kranialen Segments im Vergleich der Patienten, die an einem und zwei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

<b>Operationssegment/e</b>	<i>1. Segment kaudal (mm)</i>	<i>2. Segment kaudal (mm)</i>	<i>p-Wert</i>
<i>C 5/6</i>	3,1 ± 1,0	4,4 ± 1,0	0,00
<i>C 6/7</i>	4,5 ± 1,0	4,2 ± 1,1	0,16
<i>C 5-7</i>	3,9 ± 0,7	4,1 ± 0,9	0,08
<i>1 Segment mit Platte</i>	3,8 ± 1,3	4,0 ± 0,8	0,47
<i>1 Segment ohne Platte</i>	4,1 ± 1,1	4,3 ± 1,0	0,25
<i>2 Segmente mit Platte</i>	3,6 ± 0,8	4,0 ± 1,1	0,30
<i>2 Segmente ohne Platte</i>	3,9 ± 0,9	4,4 ± 0,8	0,06
<i>3 Segmente mit Platte</i>	3,7 ± 0,9	4,1 ± 1,3	0,18

Tab. 7: Mittelwerte, Standardabweichungen und p-Werte der Bandscheibenhöhen des ersten und zweiten kaudalen Segments im Vergleich der Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

<b>Operationssegment/e</b>	<i>mit Platte (mm)</i>	<i>ohne Platte (mm)</i>
<b>1 Segment</b>		
<i>1. Segment kaudal</i>	3,8 ± 1,3	4,1 ± 1,1
<i>2. Segment kaudal</i>	4,0 ± 0,8	4,3 ± 1,0
<b>2 Segmente</b>		
<i>1. Segment kaudal</i>	3,6 ± 0,8	3,9 ± 0,9
<i>2. Segment kaudal</i>	4,0 ± 1,1	4,4 ± 0,8

Tab. 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Bandscheibenhöhen des ersten und zweiten kaudalen Segments im Vergleich der Patienten, die an einem und zwei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

## 5 Ergebnisse

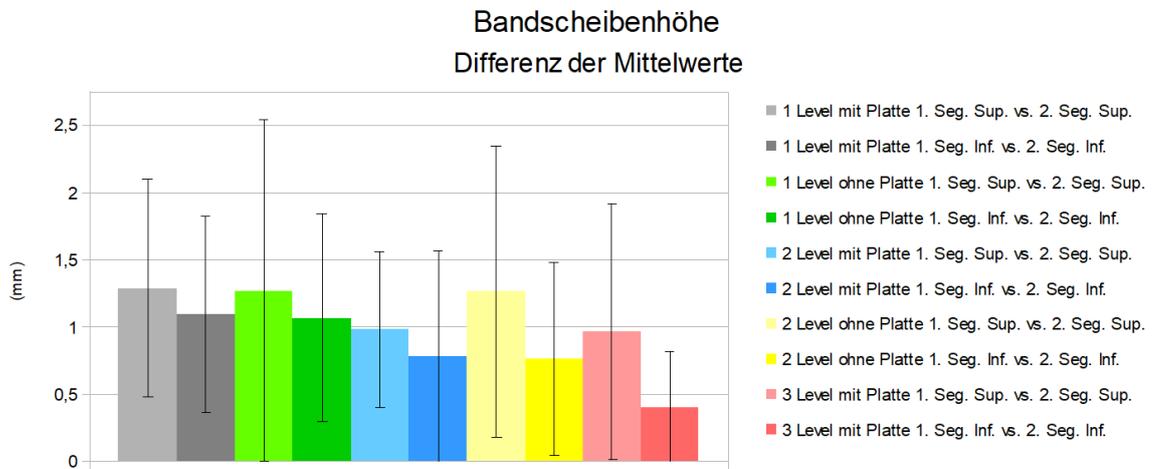


Abb. 13: Differenzen der Mittelwerte und Standardabweichungen der Bandscheibenhöhen in den Vergleichen des ersten kranialen und zweiten kranialen Segments bei Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

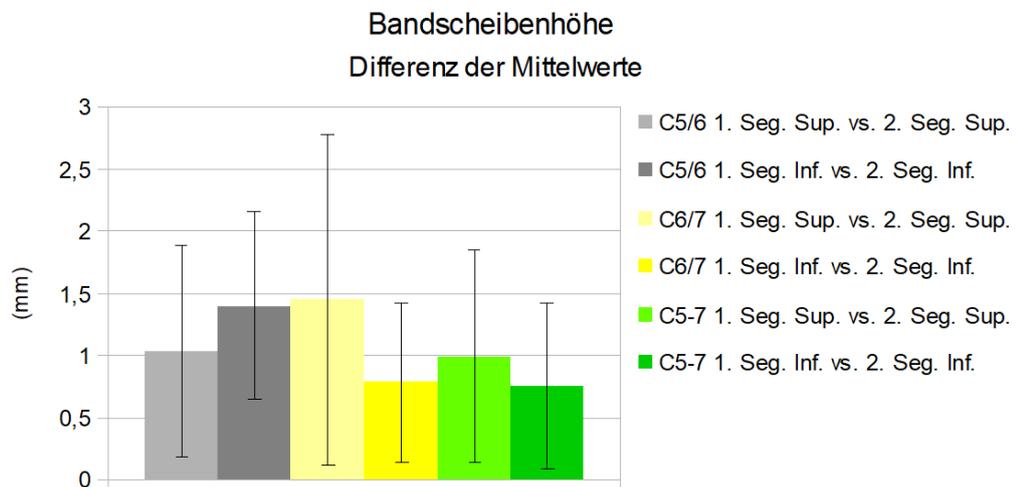


Abb. 14: Differenzen der Mittelwerte und Standardabweichungen der Bandscheibenhöhen in den Vergleichen des ersten kaudalen und zweiten kaudalen Segments bei Patienten, die an den Segmenten C 5 / 6, C 6 / 7 und C 5 - 7 mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

## 5.2 Posteriore Osteophyten

Nach in Kapitel 2.4.1 genannten Kriterien des Scores wurden posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt bei den angrenzenden und nicht angrenzenden Segmenten kranial und kaudal der Operationshöhe ausgewertet und miteinander verglichen (siehe Tabelle 9, 10, 11 und 12). Die prozentualen Anteile an posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt in den Segmenten kranial und kaudal der Fusion sowie je nach der Verwendung und dem Verzicht auf eine Casparplatte zeigen die Tabellen 21, 22, 23, 24, 25.

Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden, hatten mit einem Anteil von 50 % im angrenzenden Segment den höchsten Wert an posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt. Im ersten Segment kaudal der Fusion wurden mit 21,4 % am häufigsten posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt gemessen.

Mit 72,7 % posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt hatten Patienten im angrenzenden Segment kranial der Fusion nach einer Operation an einem Segment ohne Casparplatte den höchsten Wert. Ebenfalls im angrenzenden Segment kaudal der Fusion hatten 42,2 % der Patienten posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt.

Im angrenzenden Segment kranial der Fusion nach einer Operation an zwei Segmenten mit Casparplatte zeigten 56,3 % der Patienten posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt.

Patienten, die an zwei Segmenten ohne Casparplatte operiert wurden, hatten zu 91,2 % im an die Fusionshöhe angrenzenden Segment posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt. Im Vergleich hierzu waren lediglich bei jeweils zu 50 % im angrenzenden und nicht angrenzenden Segment kaudal der Fusion posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt vorhanden.

Von den Patienten, die an drei Segmenten mit einer Casparplatte operiert worden sind, hatten 20 % der Patienten im angrenzenden Segment oberhalb der Fusion und 20 % im nicht angrenzenden Segment kaudal der Fusion posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt.

Wird die segmentspezifische Auftrennung betrachtet, so zeigte sich ein signifikanter Unterschied bei Patienten, die an dem Segment C5/6 mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden. Im Vergleich waren im kranial an die Fusion angrenzenden Segment in 47,4 % der Fälle posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt sowie bei 5,3 % der Patienten im kranial nicht an die Fusion angrenzenden Segment ( $p = 0,00$ ). Bei 63,2 % waren den oben genannten Kriterien zufolge posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt im an die Fusion angrenzenden Segment kaudal der Fusion vorhanden. Im zweiten Segment unterhalb der Fusion bei 10,5 % der Patienten. Hier lag ebenfalls ein signifikanter Unterschied vor ( $p = 0,00$ ).

84 % der Patienten, die an dem Segment C6/7 operiert wurden, hatten im angrenzenden Segment kranial der Fusion posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt. 40 % der Patienten wiesen im kaudal nicht an die Fusion angrenzenden Segment posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt auf. Dieser Unterschied war signifikant ( $p = 0,00$ ). In den angrenzenden und nicht angrenzenden Segmenten kaudal der Fusion hatten jeweils 12 % der Patienten posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt.

Die Auswertung der Patienten, die an dem Segment C5-7 mit und ohne Casparplatte operiert wurden, ergab bei 72 % im ersten Segment und bei 44 % im zweiten Segment kranial der Fusion posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt. Bei dieser Auswertung zeigte sich mit einem p-Wert von 0,02 ebenfalls ein signifikanter Unterschied. Im angrenzenden Segment kaudal der Fusionshöhe hatten 24 % der Patienten posteriore Osteophyten mit Myelonkontakt. Ein signifikanter Unterschied bestand nicht.

## 5 Ergebnisse

Operationssegmente	1. Segment kranial (%)	2. Segment kranial (%)	p-Wert	
<i>C 5/6</i>	47,4	5,3	0,00	*
<i>C 6/7</i>	84,0	40,0	0,00	**
<i>C 5-7</i>	72,0	44,0	0,02	
<i>1 Segment mit Platte</i>	50,0	7,1		
<i>1 Segment ohne Platte</i>	72,7	30,3		
<i>2 Segmente mit Platte</i>	56,3	31,3		
<i>2 Segmente ohne Platte</i>	91,2	50,0		
<i>3 Segmente mit Platte</i>	20,0	0		

Tab. 9: Prozentuale Anteile und p-Werte der Patienten mit posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt im ersten und zweiten kranialen Segment im Vergleich der Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

Operationssegment/e	mit Platte (%)	ohne Platte (%)
<b>1 Segment</b>		
<i>1. Segment kranial</i>	50,0	72,7
<i>2. Segment kranial</i>	7,1	30,3
<b>2 Segmente</b>		
<i>1. Segment kranial</i>	56,3	91,2
<i>2. Segment kranial</i>	31,3	50,0

Tab. 10: Prozentuale Anteile der Patienten mit posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt im ersten und zweiten kranialen Segment im Vergleich der Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

Operationssegmente	1. Segment kaudal (%)	2. Segment kaudal (%)	p-Wert	
<i>C 5/6</i>	63,2	10,5	0,00	*
<i>C 6/7</i>	12,0	12,0	0,56	
<i>C 5-7</i>	24,0	8,0	0,10	
<i>1 Segment mit Platte</i>	21,4	0		
<i>1 Segment ohne Platte</i>	42,4	15,6		
<i>2 Segmente mit Platte</i>	12,5	18,8		
<i>2 Segmente ohne Platte</i>	50,0	16,7		
<i>3 Segmente mit Platte</i>	0	20,0		

Tab. 11: Prozentuale Anteile und p-Werte der Patienten mit posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt im ersten und zweiten kaudalen Segment im Vergleich der Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

## 5 Ergebnisse

Operationssegment/e	mit Platte (%)	ohne Platte (%)
<b>1 Segment</b>		
1. Segment kaudal	21,4	42,4
2. Segment kaudal	0	15,6
<b>2 Segmente</b>		
1. Segment kaudal	12,5	50,0
2. Segment kaudal	18,8	16,7

Tab. 12: Prozentuale Anteile der Patienten mit posterioren Osteophyten mit Myelonkontakt im ersten und zweiten kranialen Segment im Vergleich der Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

### 5.3 Posteriore Bandscheibenprotrusion

Die Ausprägung der *posterior disc bulge* im Sinne der genannten Kriterien (siehe Tabelle 4) zeigte sich, wie in den Tabellen 13, 14, 15 und 16 sowie in der Zusammenstellung mit den weiteren Bewertungskriterien des Scores in den Tabellen 21, 22, 23, 24 und 25 aufgelistet ist, bei Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden mit 77,8% am Häufigsten im kranial an die Fusion angrenzenden Segment. Betont im angrenzenden Segment kaudal der Fusion zeigten sich bei 20% der Patienten eine posteriore Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt.

Patienten, die an einem Segment ohne Casparplatte operiert wurden, hatten mit 43,8% im kranial angrenzenden Segment sowie mit 23,3% im angrenzenden Segment kaudal der Fusion den höchsten Wert an posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt.

In der Auswertung der Patienten, die an zwei Segmenten mit Casparplatte operativ versorgt wurden, war mit 41,7% im kranial angrenzenden Segment sowie mit 10% im kaudal angrenzenden Segment der Anteil der posterioren Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt am größten.

Werden die Patienten, die an zwei Segmenten ohne Casparplatte operiert wurden, betrachtet, so zeigte sich ebenfalls am Häufigsten im kranial an die Fusion angrenzenden Segment mit 63,6% der Fälle eine posteriore Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt. Kaudal der Fusionshöhe hatte keiner der Patienten in dem angrenzenden und nicht angrenzenden Segment protrahierte Bandscheiben mit Myelonkontakt.

Mit 66,7% der Patienten, die an drei Segmenten mit Casparplatte versorgt wurden, hatten diese im angrenzenden Segment kranial der Fusion den größten Anteil an Bandscheibenprotrusionen mit Myelonkontakt.

Die segmentspezifische Aufteilung ergab in dem Segment C 5 / 6 im kranial an die Fusion angrenzenden Segment bei 52,9% und im kranial nicht an die Fusion angrenzenden Segment bei 5,6% der Patienten eine Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt. Die statistische Auswertung zeigte einen signifikanten Unterschied ( $p= 0,00$ ). Im angrenzenden Segment kaudal der Fusion hatten 58,3% und im nicht angrenzenden Segment kaudal der Fusion 5,3% der Patienten eine *posterior disc bulge* mit Myelonkontakt. Hier ergab sich ebenfalls eine starke Signifikanz ( $p= 0,00$ ).

Patienten, die an dem Segment C 6 / 7 mit und ohne Casparplatte operiert wurden, hatten zu 57,1% im kranial angrenzenden und zu 44% im kranial nicht an die Fusion angrenzenden Segment eine posteriore Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt. Ein Unterschied konnte nicht festgestellt werden. In den kaudal angrenzenden und nicht angrenzenden Segmenten zeigte sich ebenfalls kein Unterschied. Patienten, die an dem Segment C 5-7 mit und ohne Casparplatte operiert wurden, hatten in 55%

## 5 Ergebnisse

der Fälle im kranial angrenzenden und in 36,4% der Fälle im kranial nicht angrenzenden Segment eine posteriore Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt. Ein Unterschied bestand nicht. In den kaudalen Segmenten zeigten sich keine ausgeprägten Bandscheibenprotrusionen.

<b>Operationssegment/e</b>	<i>1. Segment kranial</i> (%)	<i>2. Segment kranial</i> (%)	<i>p-Wert</i>
<i>C 5/6</i>	52,9	5,6	0,00 *
<i>C 6/7</i>	57,1	44,0	0,56
<i>C 5-7</i>	55,0	36,4	0,31
<i>1 Segment mit Platte</i>	77,8	15,4	
<i>1 Segment ohne Platte</i>	43,8	33,3	
<i>2 Segmente mit Platte</i>	41,7	30,8	
<i>2 Segmente ohne Platte</i>	63,6	41,7	
<i>3 Segmente mit Platte</i>	66,7	0	

Tab. 13: Prozentuale Anteile und p-Werte der Patienten mit posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt im angrenzenden und nicht angrenzenden Segment kranial des fusionierten Segments, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

<b>Operationssegment/e</b>	<i>mit Platte (%)</i>	<i>ohne Platte (%)</i>
<b>1 Segment</b>		
<i>1. Segment kranial</i>	77,8	43,8
<i>2. Segment kranial</i>	15,4	33,3
<b>2 Segmente</b>		
<i>1. Segment kranial</i>	41,7	63,6
<i>2. Segment kranial</i>	30,8	41,7

Tab. 14: Prozentuale Anteile der Patienten mit posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt bei Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden im Vergleich des an die Fusionshöhe kranial angrenzenden und nicht angrenzenden Segment.

## 5 Ergebnisse

<b>Operationssegment/e</b>	<i>1. Segment kaudal</i> (%)	<i>2. Segment kaudal</i> (%)	<i>p-Wert</i>
<i>C 5/6</i>	58,3	5,3	0,00 *
<i>C 6/7</i>	4,0	5,3	0,31
<i>C 5-7</i>	0,0	0,0	1
<i>1 Segment mit Platte</i>	20,0	10,0	
<i>1 Segment ohne Platte</i>	23,3	8,0	
<i>2 Segmente mit Platte</i>	10,0	7,7	
<i>2 Segmente ohne Platte</i>	0	0	
<i>3 Segmente mit Platte</i>	0	20,0	

Tab. 15: Prozentuale Anteile und p-Werte der Patienten mit posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt im angrenzenden und nicht angrenzenden Segment kaudal des fusionierten Segments, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

<b>Operationssegment/e</b>	<i>mit Platte (%)</i>	<i>ohne Platte (%)</i>
<b>1 Segment</b>		
<i>1. Segment kaudal</i>	20,0	23,3
<i>2. Segment kaudal</i>	10,0	8,0
<b>2 Segmente</b>		
<i>1. Segment kaudal</i>	10,0	7,7
<i>2. Segment kaudal</i>	0	0

Tab. 16: Prozentuale Anteile der Patienten mit posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt bei Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden im Vergleich des an die Fusionshöhe kaudal angrenzenden und nicht angrenzenden Segment.

## 5.4 Foramendiameter

Der prozentuale Anteil einer Foramenstenose nach der in Kapitel 2.4.1 genannter Methode ist in den Tabellen 17, 18, 19, 20 und den Tabellen 21, 22, 23, 24 und 25 dargestellt.

Es ist erkennbar, dass vor allem in den Segmenten kranial der Fusion ein geringerer Foramendiameter gemessen wurde. Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden, hatten mit 36,4% im kranial an die Fusion angrenzenden Segment die meisten Foramenstenosen. Ebenfalls zeigte sich im kaudal an die Fusion angrenzenden Segment mit 28,6% die größte Anzahl der verengten Foramina.

Im direkten Vergleich hatten 57,1% der Patienten, die an einem Segment ohne Casparplatte operiert wurden, im angrenzenden Segment kranial der Fusion einen geringen Foramendurchmesser ( $\leq 2$  mm). Kaudal der Fusion ergab die Auswertung im nicht an die Fusionshöhe angrenzenden Segment mit 27,3% der Patienten die meisten Foramenstenosen.

35,7% der Patienten, die an zwei Segmenten mit Casparplatte operativ versorgt wurden, hatten im angrenzenden Segment kranial der Fusion den größten Wert an einer Stenose des Foramens. Lediglich 12,5% der Patienten hatten im nicht angrenzenden Segment kaudal der Fusion einen geringen Foramendurchmesser.

Patienten, deren Operation an zwei Segmenten ohne Casparplatte durchgeführt wurde, hatten den höchsten Prozentsatz an Stenosen mit 55,6% im angrenzenden Segment kranial der Fusion. Kaudal der Fusion zeigte sich keine Foramenstenose.

Bei der segmentspezifischen Auftrennung ergab die statistische Auswertung bei den Patienten keine signifikanten Unterschiede. Der Vergleich des kranial und kaudal angrenzenden zum nicht an die Fusionshöhe angrenzenden Segments ergab bei Patienten, die an dem Segment C 5/6 und C 5-7 operiert wurden, einen p-Wert von 0,07. Des Weiteren erbrachte der Vergleich des angrenzenden mit dem nicht angrenzenden Segment kaudal der Fusion bei Patienten, die an dem Segment C 6/7 operiert wurden, keinen Unterschied ( $p=0,06$ ).

Operationssegment/e	1. Segment		2. Segment	
	kranial (%)	kranial (%)	kaudal (%)	kaudal (%)
C 5/6	26,6	14,3	27,3	18,2
C 6/7	59,1	36,4	0	0
C 5-7	38,1	28,6	0	0
1 Segment mit Platte	27,3	18,2	28,6	0
1 Segment ohne Platte	57,1	32,1	18,2	27,3
2 Segmente mit Platte	35,7	21,4	0	12,5
2 Segmente ohne Platte	55,6	33,3	0	0
3 Segmente mit Platte	50,0	0	0	0

Tab. 17: Prozentualer Anteil der Patienten mit einer Foramenstenose *rechts* im angrenzenden und nicht angrenzenden Segment kranial und kaudal des fusionierten Segments, die an einem Segment mit bzw. ohne Casparplatte operiert worden sind.

## 5 Ergebnisse

Operationssegment/e	1. Segment kranial (%)	2. Segment kranial (%)	1. Segment kaudal (%)	2. Segment kaudal (%)
<i>C 5/6</i>	35,7	14,3	0	9,1
<i>C 6/7</i>	39,1	21,7	0	90,0
<i>C 5-7</i>	28,6	28,6	0	0
<i>1 Segment mit Platte</i>	36,4	9,1	25,0	0
<i>1 Segment ohne Platte</i>	46,4	25,0	9,1	18,2
<i>2 Segmente mit Platte</i>	21,4	21,4	0	0
<i>2 Segmente ohne Platte</i>	44,4	11,1	0	0
<i>3 Segmente mit Platte</i>	50,0	0	0	0

Tab. 18: Prozentualer Anteil der Patienten mit einer Foramenstenose *links* im angrenzenden und nicht angrenzenden Segment kranial und kaudal des fusionierten Segments, die an einem Segment mit bzw. ohne Casparplatte operiert worden sind.

Operationssegment/e	<i>mit Platte</i> <i>rechts (%)</i>	<i>ohne Platte</i> <i>rechts (%)</i>	<i>mit Platte</i> <i>links (%)</i>	<i>ohne Platte</i> <i>links (%)</i>
<b>1 Segment</b>				
<i>1. Segment kranial</i>	27,3	57,1	36,4	46,4
<i>2. Segment kranial</i>	18,2	32,1	9,1	25,0
<b>2 Segmente</b>				
<i>1. Segment kranial</i>	35,7	55,6	21,4	44,4
<i>2. Segment kranial</i>	21,4	33,3	21,4	11,1

Tab. 19: Prozentuale Anteile der Patienten mit einer Foramenstenose bei Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden im Vergleich des an die Fusionshöhe kranial angrenzenden und nicht angrenzenden Segments.

Operationssegment/e	<i>mit Platte</i> <i>rechts (%)</i>	<i>ohne Platte</i> <i>rechts (%)</i>	<i>mit Platte</i> <i>links (%)</i>	<i>ohne Platte</i> <i>links (%)</i>
<b>1 Segment</b>				
<i>1. Segment kaudal</i>	28,6	18,2	25,0	9,1
<i>2. Segment kaudal</i>	0	27,3	0	18,2
<b>2 Segmente</b>				
<i>1. Segment kaudal</i>	0	0	0	0
<i>2. Segment kaudal</i>	12,5	0	0	0

Tab. 20: Prozentuale Anteile der Patienten mit einer Foramenstenose bei Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden im Vergleich des an die Fusionshöhe kaudal angrenzenden und nicht angrenzenden Segments.

## 5 Ergebnisse

<b>1 Segment mit Platte</b>	<i>1. Segment kranial</i>	<i>2. Segment kranial</i>	<i>1. Segment kaudal</i>	<i>2. Segment kaudal</i>
<i>Bandscheibenhöhe (mm)</i>	3,3 ± 1,3	4,3 ± 0,9	3,8 ± 1,3	4,0 ± 0,8
<i>Anteil posteriorer Osteophyten (%)</i>	50,0	7,1	21,4	0
<i>Anteil posteriorer Bandscheibenprotrusion (%)</i>	77,8	15,4	20,0	10,0
<i>Anteil Foramenstenose (%)</i>	36,4	18,2	28,6	0

Tab. 21: Zusammenstellung der Bandscheibenhöhe, prozentualer Anteil von posterioren Osteophyten und posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt sowie der Anteil an einer Foramenstenose bei Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden.

<b>1 Segment ohne Platte</b>	<i>1. Segment kranial</i>	<i>2. Segment kranial</i>	<i>1. Segment kaudal</i>	<i>2. Segment kaudal</i>
<i>Bandscheibenhöhe (mm)</i>	3,4 ± 1,3	4,5 ± 1,3	4,1 ± 1,1	4,3 ± 1,0
<i>Anteil posteriorer Osteophyten (%)</i>	72,7	30,3	42,4	15,6
<i>Anteil posteriorer Bandscheibenprotrusion (%)</i>	43,8	33,3	23,3	8,0
<i>Anteil Foramenstenose (%)</i>	57,1	32,1	18,2	27,3

Tab. 22: Zusammenstellung der Bandscheibenhöhe, prozentualer Anteil von posterioren Osteophyten und posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt sowie der Anteil an einer Foramenstenose bei Patienten, die an einem Segment ohne Casparplatte operiert wurden.

## 5 Ergebnisse

<b>2 Segmente mit Platte</b>	<i>1. Segment kranial</i>	<i>2. Segment kranial</i>	<i>1. Segment kaudal</i>	<i>2. Segment kaudal</i>
<i>Bandscheibenhöhe (mm)</i>	3,2 ± 1,0	4,0 ± 0,8	3,6 ± 0,8	4,0 ± 1,1
<i>Anteil posteriorer Osteophyten (%)</i>	56,3	31,3	12,4	18,8
<i>Anteil posteriorer Bandscheibenprotrusion (%)</i>	41,7	30,8	10,0	7,7
<i>Anteil Foramenstenose (%)</i>	35,7	21,4	0	12,5

Tab. 23: Zusammenstellung der Bandscheibenhöhe, prozentualer Anteil von posterioren Osteophyten und posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt sowie der Anteil an einer Foramenstenose bei Patienten, die an zwei Segmenten mit Casparplatte operiert wurden.

<b>2 Segmente ohne Platte</b>	<i>1. Segment kranial</i>	<i>2. Segment kranial</i>	<i>1. Segment kaudal</i>	<i>2. Segment kaudal</i>
<i>Bandscheibenhöhe (mm)</i>	3,6 ± 1,3	4,0 ± 1,5	3,9 ± 0,9	4,4 ± 0,8
<i>Anteil posteriorer Osteophyten (%)</i>	91,2	50,0	50,0	16,7
<i>Anteil posteriorer Bandscheibenprotrusion (%)</i>	63,6	41,7	0	0
<i>Anteil Foramenstenose (%)</i>	55,6	33,3	0	0

Tab. 24: Zusammenstellung der Bandscheibenhöhe, prozentualer Anteil von posterioren Osteophyten und posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt sowie der Anteil an einer Foramenstenose bei Patienten, die an zwei Segmenten ohne Casparplatte operiert wurden.

## 5 Ergebnisse

<b>3 Segmente mit Platte</b>	<i>1. Segment kranial</i>	<i>2. Segment kranial</i>	<i>1. Segment kaudal</i>	<i>2. Segment kaudal</i>
<i>Bandscheibenhöhe (mm)</i>	3,7 ± 2,3	4,6 ± 1,5	3,7 ± 0,9	4,1 ± 1,3
<i>Anteil posteriorer Ostophyten (%)</i>	20,0	0	0	20
<i>Anteil posteriorer Bandscheibenprotrusion (%)</i>	66,7	0	0	20,0
<i>Anteil Foramenstenose (%)</i>	50,0	0	0	0

Tab. 25: Zusammenstellung der Bandscheibenhöhe, prozentualer Anteil von posterioren Osteophyten und posteriorer Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt sowie der Anteil an einer Foramenstenose bei Patienten, die an drei Segmenten mit Casparplatte operiert wurden.

### 5.5 Höhe des Operationssegments

Die *operated segment height* wurde verglichen zwischen Patienten, die an einem und zwei Segmenten jeweils mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden. Aufgrund der Tatsache, dass keine Patienten ohne Casparplatte an drei Segmenten operiert wurden, konnte hier keine vergleichende Auswertung vorgenommen werden. Tabelle 26 beinhaltet die Mittelwerte der Höhe der fusionierten Segmente, die Abbildung 15 die Darstellung der Differenzen und Standardabweichungen der Mittelwerte. Ein signifikanter Unterschied konnte bei dem Vergleich zwischen den Patienten, die an zwei Segmenten mit bzw. ohne Platte operiert wurden, ausgemacht werden ( $p=0,03$ , Differenz der Mittelwerte: 6,4 mm).

<b>Operationssegment/e</b>	<i>Mittelwert (mm) mit Platte</i>	<i>Mittelwert ohne Platte</i>	<i>p- Wert</i>
<i>1 Segment</i>	30,2 ± 7,0	28,2 ± 3,6	0,55
<i>2 Segmente</i>	48,1 ± 3,4	41,7 ± 7,9	0,03
<i>3 Segmente</i>	60,4 ± 4,3	-	

Tab. 26: Mittelwerte, Standardabweichung und p- Werte der *operated segment height* bei Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte an einem, zwei oder drei Segmenten operiert wurden.

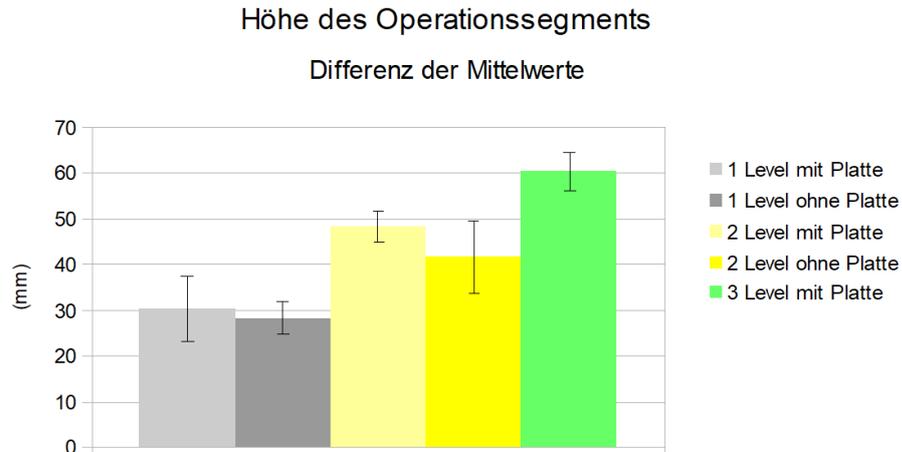


Abb. 15: Differenzen und Standardabweichungen der Mittelwerte der *operated segment height* bei Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

## 5.6 Sagittales Alignment

Die Ergebnisse der Vergleiche des sagittalen Alignments sind in Tabelle 27, 28 und 29 und den Abbildungen 16 und 17 dargestellt. Ein zusätzlicher Vergleich stellte der aus den drei Einzelmessungen in den T1-, T2- und Space-gewichteten Sequenzen zusammen genommene Messwert dar. Ein signifikanter Unterschied im sagittalen Alignment bestand lediglich bei dem Vergleich der Patienten, die an dem Segment C5/6 und C5-7 operiert worden sind ( $p=0,02$ ; Differenz der Mittelwerte:  $4,9^\circ$ ). Bei den jeweiligen Vergleichen der T2-gewichteten MRT-Bilder bei Patienten die mit bzw. ohne Casparplatte an einem, zwei oder drei Segmenten operiert wurden sowie dem Vergleich der beschriebenen zusammen genommenen Messwerte des sagittalen Alignment zeigte sich in der weiteren statistischen Auswertung kein signifikanter Unterschied.

Operationssegment/e	Sagittales Alignment mit Platte ( $^\circ$ )	Sagittales Alignment ohne Platte ( $^\circ$ )	p-Wert
1 Segment	$22,6 \pm 10,2$	$19,4 \pm 13,8$	0,09
2 Segmente	$15,6 \pm 11,4$	$17,2 \pm 11,4$	0,60
3 Segmente	$19,0 \pm 15,4$	-	

Tab. 27: Mittelwerte, Standardabweichungen und p-Werte des sagittalen Alignments, die in der sagittalen Ebene der T2-gewichteten MRT-Bilder gemessen wurden.

## 5 Ergebnisse

Operationssegment/e	Sagittales Alignment mit Platte (°)	Sagittales Alignment ohne Platte (°)	p- Wert
1 Segment	22,1 ± 9,9	19,6 ± 13,8	0,22
2 Segmente	16,8 ± 11,0	17,8 ± 12,1	0,84

Tab. 28: Mittelwerte, Standardabweichungen und p- Werte des sagittalen Alignments. Die Werte wurden in der sagittalen Ebene der zusammen genommenen T 1-, T 2- und Space gewichteten MRT-Bilder gemessen.

Operationssegment/e	Sagittales Alignment (°)
C 5/6	21,1 ± 12,0
C 6/7	20,3 ± 12,4
C 5 - 7	14,3 ± 11,4

Tab. 29: Mittelwerte und Standardabweichungen des sagittalen Alignments in der sagittalen Ebene der T 2- gewichteten MRT-Bilder aus der segmentspezifischen Auftrennung.

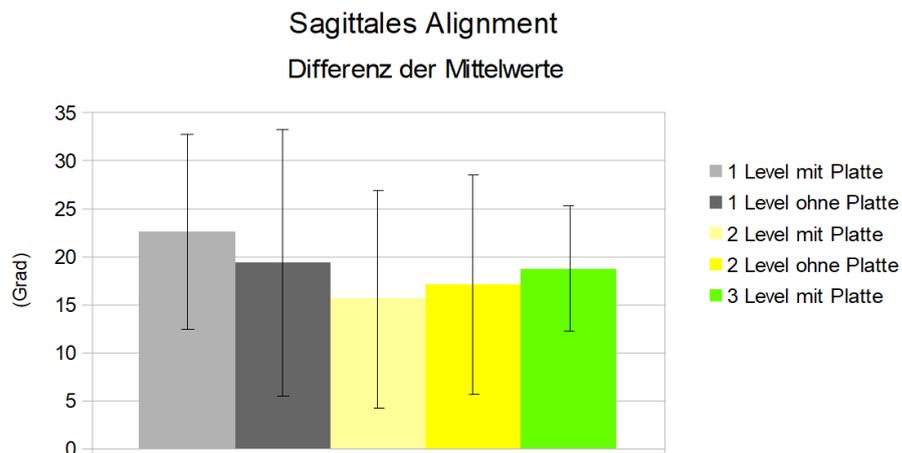


Abb. 16: Differenzen und Standardabweichungen der Mittelwerte des sagittalen Alignments der Halswirbelsäule in der Auswertung der T 2-gewichteten MRT-Bilder bei Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

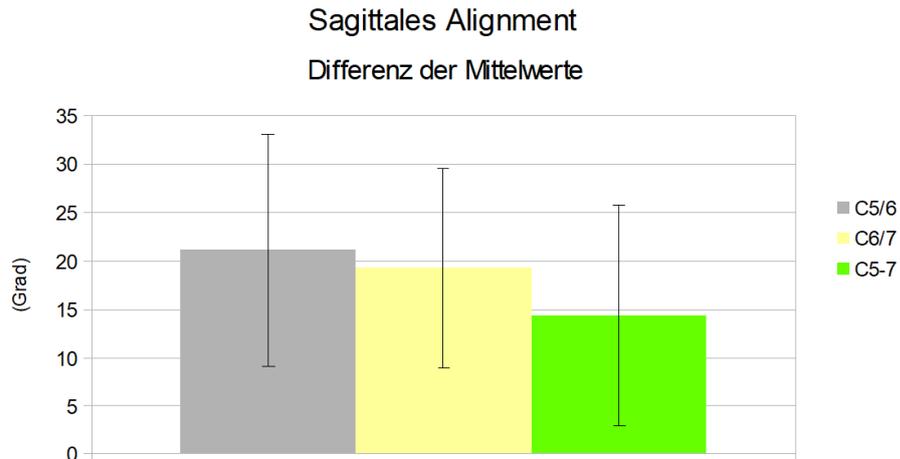


Abb. 17: Differenzen und Standardabweichungen der Mittelwerte des sagittalen Alignments der Halswirbelsäule nach segmentspezifischer Auswertung der T2-gewichteten MRT-Bilder. Eine Differenzierung nach der Verwendung oder dem Verzicht auf eine Casparplatte wurde hierfür nicht vorgenommen.

### 5.7 Segmentales Alignment der Fusion

Den Vergleich der Gradzahlen des segmentalen Alignments stellt Tabelle 30 dar, die Differenzen und Standardabweichungen der Mittelwerte sind in Abbildung 18 aufgeführt. Entgegen der Differenz von  $5,2^\circ$  bei Patienten, die an einem Segment mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden, zeigte sich kein signifikanter Unterschied. Im Gegensatz dazu zeigte sich eine signifikante Differenz im segmentalen Alignment bei Patienten, die eine Operation an zwei Segmenten erhielten ( $p=0,00$ , Differenz der Mittelwerte:  $9,5^\circ$ ). Die Ausrichtung der Halswirbelsäule im Bereich der Fusion war bei Patienten, die an zwei Segmenten ohne eine Casparplatte operiert wurden  $4,9^\circ$  kyphotisch, bei Patienten, die mit einer Casparplatte versorgt wurden  $5,2^\circ$  lordotisch. Ein Vergleich zu den Werten der Patienten, die an drei Segmenten mit einer Casparplatte operiert wurden, war nicht möglich.

Operationssegment/e	Segmentales Alignment mit Platte ( $^\circ$ )	Segmentales Alignment ohne Platte ( $^\circ$ )	p- Wert
1 Segment	$1,4 \pm 9,7$	$-3,8 \pm 7,5$	0,11
2 Segmente	$5,2 \pm 5,8$	$-4,9 \pm 8,1$	0,00
3 Segmente	$2,3 \pm 12,4$	-	*

Tab. 30: Mittelwerte, Standardabweichungen und p-Werte des segmentalen Alignments der Fusion, die in der sagittalen Ebene der T2-gewichteten MRT-Bilder gemessen wurden.

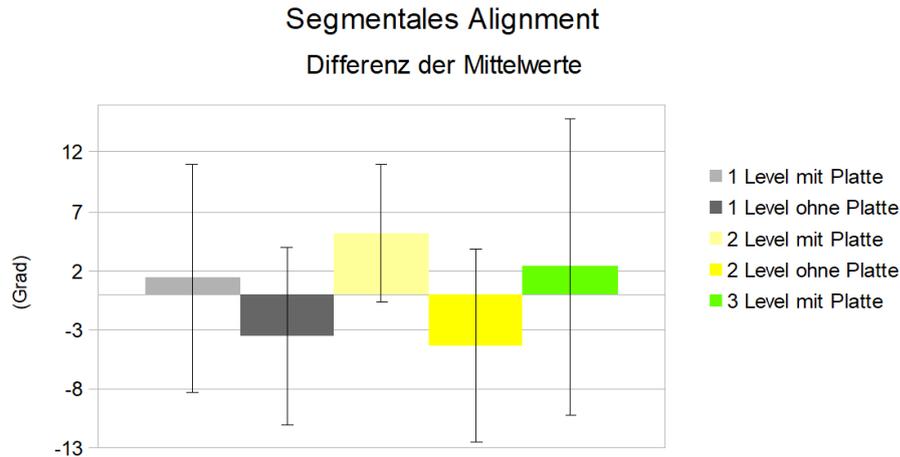


Abb. 18: Differenzen und Standardabweichungen der Mittelwerte des segmentalen Alignments der Halswirbelsäule in der Auswertung der T2-gewichteten MRT-Bilder bei Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden.

### 5.8 Ausrichtung der Halswirbelsäule

In Bezug auf die drei Ausrichtungsgrade der Halswirbelsäule nach Noriega et al. [44] wurden die Patienten, wie beschrieben, gemessen und nach der Anzahl der operierten Segmente sowie nach der Verwendung und dem Verzicht auf eine Casparplatte eingeteilt. Tabelle 31 zeigt die prozentualen Anteile der Ausrichtungsgrade.

Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden, hatten in 100% der Fälle eine lordotische Ausrichtung der Halswirbelsäule. Im Durchschnitt betrug diese  $22,6^\circ$ . 84,5% der Patienten mit einer Operation an einem Segment ohne Casparplatte hatten eine Lordose der Halswirbelsäule, 9,4% eine gerade Ausrichtung (*straight*) sowie 6,3% eine kyphotische Konfiguration der Halswirbelsäule. Im Mittel bezifferte sich die Ausrichtung auf  $19,4^\circ$  lordotisch.

Bei Patienten, die an zwei Segmenten mit einer Casparplatte operativ versorgt wurden, zeigte sich in 78,6% der Fälle eine lordotische Ausrichtung der Halswirbelsäule sowie bei 21,4% eine gerade Ausrichtung. Der Mittelwert liegt bei  $15,6^\circ$  lordotischer Ausrichtung.

Patienten, die an zwei Segmenten ohne Casparplatte operiert wurden, hatten zu 91,7% eine lordotische Ausrichtung der Halswirbelsäule, 8,3% der Patienten zeigten eine gerade Halswirbelsäule. Hier ergab sich im Mittel ein lordotischer Winkel von  $17,2^\circ$ .

Nach einer Operation an drei Segmenten der Halswirbelsäule und Verwendung einer Casparplatte hatten 100% der Patienten eine lordotische Ausrichtung der Halswirbelsäule. Der Mittelwert lag bei  $19,0^\circ$ .

## 5 Ergebnisse

Operationssegment/e	mit Platte	ohne Platte
<b>1 Segment</b>		
<i>Lordose</i>	100 %	84,5 %
<i>Gerade</i>	0 %	9,6 %
<i>Kyphose</i>	0 %	6,3 %
<b>2 Segmente</b>		
<i>Lordose</i>	78,6 %	91,7 %
<i>Gerade</i>	21,4 %	8,3 %
<i>Kyphose</i>	0 %	0 %
<b>3 Segmente</b>		
<i>Lordose</i>	100 %	-
<i>Gerade</i>	0 %	-
<i>Kyphose</i>	0 %	-

Tab. 31: Prozentualer Anteil der Ausrichtungsgrade der Halswirbelsäule bei Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte an einem, zwei oder drei Segmenten operiert wurden.

### 5.9 Score

Eine angrenzende durch die Operation bedingte Degeneration lag vor, wenn im Vergleich des angrenzenden zum nicht an die Operationshöhe angrenzenden Segments kranial der Operationshöhe 3 von 5 Score-Punkte sowie im Vergleich des angrenzenden zum nicht an die Operationshöhe angrenzenden Segments kaudal der Operationshöhe 2 von 4 Punkte erreicht wurden. Eine Auflistung der Anteile der positiven und negativen Score-Werte, sowie der nicht auszuwertenden Bestandteile ist in den Abbildungen 19, 20, 21, 22, 23 und 24 zu sehen. Die Auftrennung der prozentualen Anteile an einer Anschlussdegeneration bei Patienten, die an einem oder mehreren Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert worden sind, stellen die Tabellen 32 und 33 dar.

63,6 % der Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden, hatten im angrenzenden Segment kranial der Fusion eine Anschlussdegeneration sowie 46,2 % im angrenzenden Segment kaudal der Fusion. Patienten, die an einem Segment ohne eine Casparplatte operativ versorgt wurden, hatten in 42,4 % der Fälle im angrenzenden Segment kranial der Fusion und 30,3 % im angrenzenden Segment kaudal der Operationshöhe eine Anschlussdegeneration.

38,6 % Prozent der Patienten, die an zwei Segmenten mit einer Casparplatte operativ versorgt wurden, hatten im kranial an die Fusion angrenzenden Segment eine Anschlussdegeneration und 15,4 % im angrenzenden Segment kaudal der versteiften Halswirbelkörper. Des Weiteren hatten 36,4 % der Patienten, die an zwei Segmenten ohne eine Casparplatte operiert wurden, im angrenzenden Segment kranial der Fusion eine Anschlussdegeneration sowie 27,3 % im angrenzenden Segment kaudal der Operationshöhe.

Die Auswertung der segmentspezifischen Aufteilung ergab bei den Patienten, die mit und ohne Casparplatte an dem Segment C 5 / 6 operiert wurden, in 41,2 % der Fälle eine Anschlussdegeneration im angrenzenden Segment kranial der Fusionshöhe, sowie in 68,4 % der Fälle im angrenzenden Segment kaudal der Fusion. Eine detaillierte Darstellung der Bestandteile der Auswertung beinhaltet Abbildung 19 und 20.

Patienten des vorliegenden Kollektivs, die an dem Segment C 6 / 7 eine anteriore Diskektomie und Fusion mit und ohne Casparplatte erhielten, hatten zu 40 % im kranial an die Fusion angrenzenden Segment eine Anschlussdegeneration und in 3,9 % im angrenzenden Segment kaudal der Fusion.

## 5 Ergebnisse

In 26,1 % der Fälle hatten Patienten, die mit und ohne Casparplatte an dem Segment C 5-7 operiert wurden, in dem angrenzenden Segment kranial der Fusion eine Anschlussdegeneration, sowie 13,6 % im angrenzenden Segment kaudal der Operationshöhe.

<b>Operationssegment/e</b>	<i>mit Platte</i>	<i>ohne Platte</i>
<b>1 Segment</b>		
<i>1. Segment superior</i>	63,6 %	42,4 %
<i>1. Segment inferior</i>	46,2 %	30,3 %
<b>2 Segmente</b>		
<i>1. Segment superior</i>	38,5 %	36,4 %
<i>1. Segment inferior</i>	11,1 %	27,3 %

Tab. 32: Prozentualer Anteil einer Anschlussdegeneration im Vergleich der Patienten die mit bzw. ohne Casparplatte an einem und zwei Segmenten operiert wurden.

<b>Operationssegment/e</b>	<i>ASD im 1. Segment superior</i>	<i>ASD im 1. Segment inferior</i>
<i>C 5/6</i>	41,2 %	68,4 %
<i>C 6/7</i>	40,0 %	3,9 %
<i>C 5-7</i>	25,0 %	13,6 %

Tab. 33: Prozentualer Anteil einer Anschlussdegeneration in der segmentspezifischen Aufteilung der Patienten, die an den Segmenten C 5 / 6, C 6 / 7 und C 5-7 sowohl mit als auch ohne Casparplatte operiert wurden. Eine Differenzierung nach der Verwendung oder dem Verzicht auf eine Casparplatte wurde nicht vorgenommen.

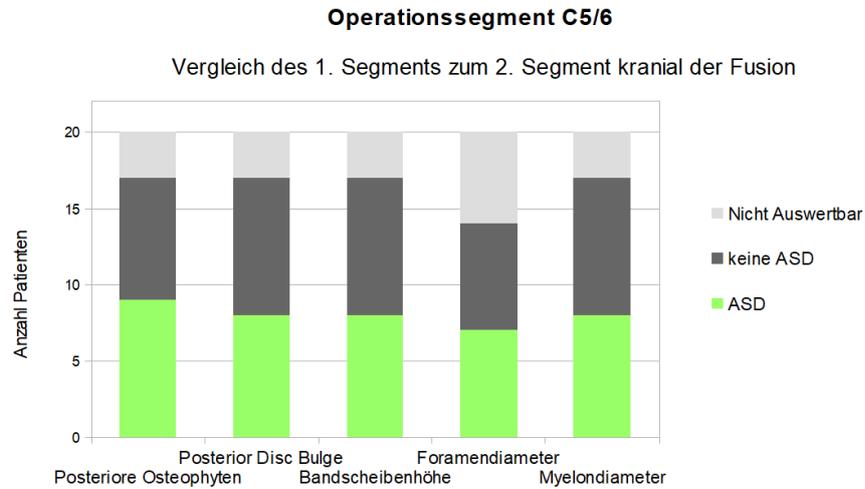


Abb. 19: Auftrennung der einzelnen Bewertungskriterien des Anschlussdegeneration-Scores bei Patienten, die im Segment C 5 / 6 mit und ohne Casparplatte operiert wurden. Im Vergleich des Vorliegens einer vermehrten Degeneration des an die Fusion angrenzenden zum nicht angrenzenden Segments kranial der Fusionshöhe werden hier die nach o.g. Score- Bewertungen vorgenommenen Ergebnisse dargestellt.

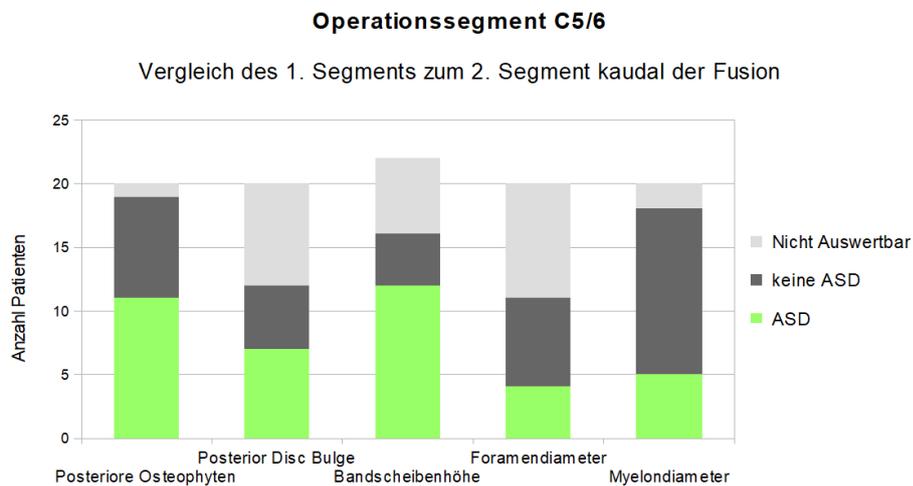


Abb. 20: Auftrennung der einzelnen Bewertungskriterien des Anschlussdegeneration-Scores bei Patienten, die im Segment C 5 / 6 mit und ohne Casparplatte operiert wurden. Im Vergleich des Vorliegens einer vermehrten Degeneration des an die Fusion angrenzenden zum nicht angrenzenden Segments kaudal der Fusionshöhe werden hier die nach o.g. Score- Bewertungen vorgenommenen Ergebnisse dargestellt.

## 5 Ergebnisse

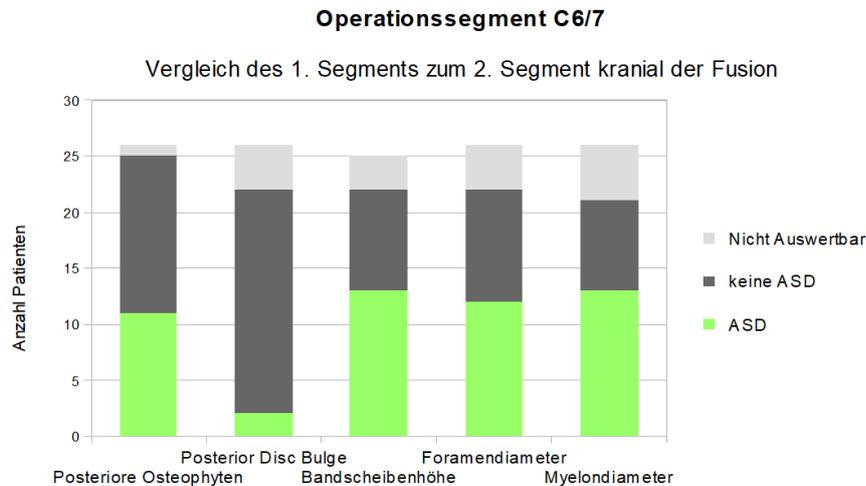


Abb. 21: Auftrennung der einzelnen Bewertungskriterien des Anschlussdegeneration-Scores bei Patienten, die im Segment C6/7 mit und ohne Casparplatte operiert wurden. Im Vergleich des Vorliegens einer vermehrten Degeneration des an die Fusion angrenzenden zum nicht angrenzenden Segments kranial der Fusionshöhe werden hier die nach o.g. Score- Bewertungen vorgenommenen Ergebnisse dargestellt.

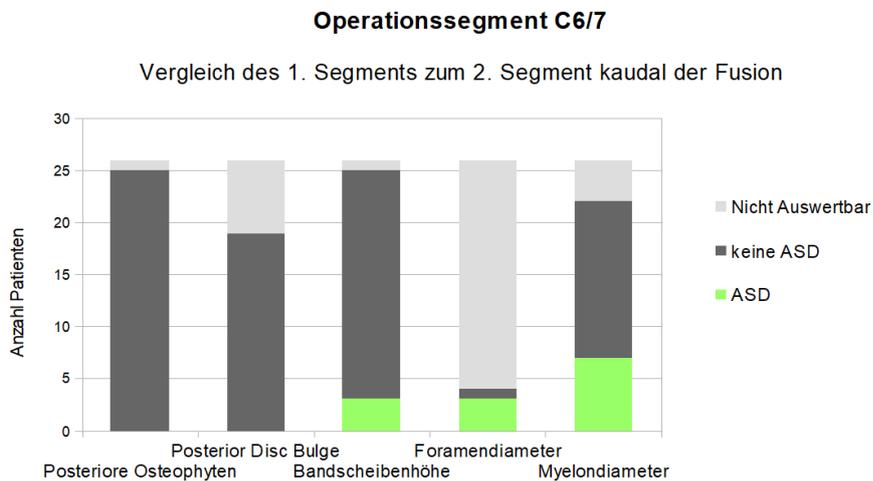


Abb. 22: Auftrennung der einzelnen Bewertungskriterien des Anschlussdegeneration-Scores bei Patienten, die im Segment C6/7 mit und ohne Casparplatte operiert wurden. Im Vergleich des Vorliegens einer vermehrten Degeneration des an die Fusion angrenzenden zum nicht angrenzenden Segments kaudal der Fusionshöhe werden hier die nach o.g. Score- Bewertungen vorgenommenen Ergebnisse dargestellt.

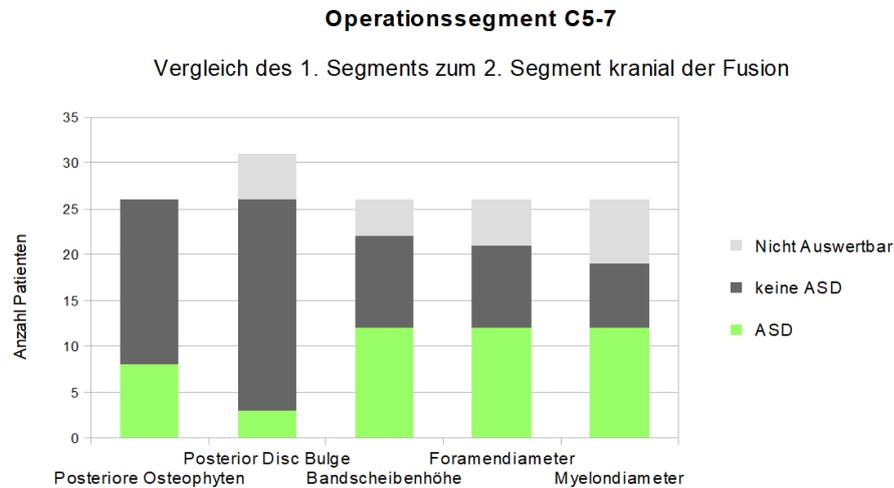


Abb. 23: Auftrennung der einzelnen Bewertungskriterien des Anschlussdegeneration-Scores bei Patienten, die im Segment C 5-7 mit und ohne Casparplatte operiert wurden. Im Vergleich des Vorliegens einer vermehrten Degeneration des an die Fusion angrenzenden zum nicht angrenzenden Segments kranial der Fusionshöhe werden hier die nach o.g. Score- Bewertungen vorgenommenen Ergebnisse dargestellt.

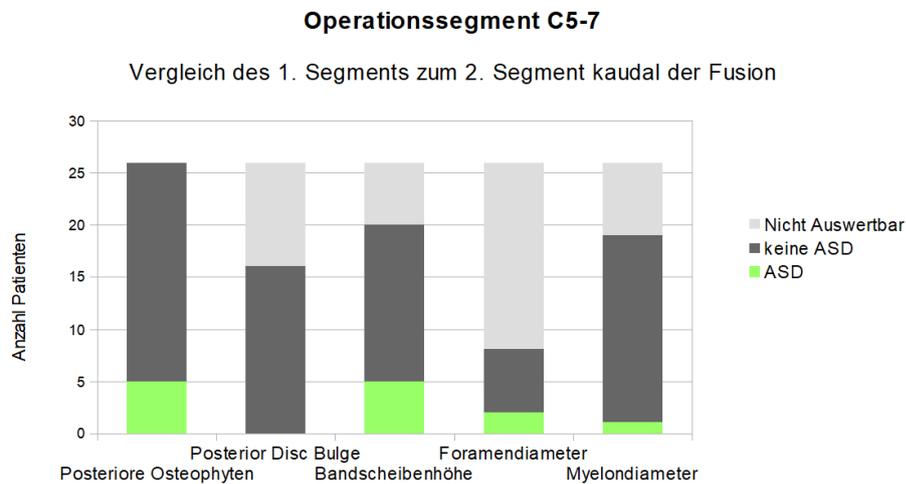


Abb. 24: Auftrennung der einzelnen Bewertungskriterien des Anschlussdegeneration-Scores bei Patienten, die an dem Segment C 5-7 mit und ohne Casparplatte operiert worden sind. Im Vergleich des Vorliegens einer vermehrten Degeneration des an die Fusion angrenzenden zum nicht angrenzenden Segmentes kaudal der Fusionshöhe werden hier die nach o.g. Score- Bewertungen vorgenommenen Ergebnisse dargestellt.

## 6 Diskussion

Im folgenden Kapitel werden die ausgewerteten Messparameter mit der Literatur verglichen und im Hinblick auf die Verwendung bzw. den Verzicht auf eine Casparplatte sowie die Entstehung einer Anschlussdegeneration diskutiert.

### 6.1 Parameter des Scores

Die Messungen der Bandscheibenhöhe, das Vorliegen von posterioren Osteophytenformationen, einer Bandscheibenprotrusion sowie einer Foramenstenose wurden neben der Verwendung für den Score auch einzeln, im Hinblick auf die Verwendung oder den Verzicht auf eine Casparplatte, ausgewertet. Grundlage für die Messungen waren Publikationen über die Entstehung von degenerativen Veränderungen der Halswirbelsäule [23, 24, 31, 37, 40, 44, 46, 59].

In den Publikationen von Faldini et al. [23, 24], Katsuura et al. [31] sowie Park et al. [46] wurde jede genannte degenerative Veränderung als Anzeichen für eine Anschlussdegeneration gewertet. In einer Studie von Lundine et al. [37] wird ein höherer Anteil an Bandscheibenprotrusionen im kranial an die Fusion angrenzenden Segment sowie eine Foramenstenose in beinahe allen Fällen in den angrenzenden Segmenten beschrieben. Song et al. [59] vergleichen das Vorliegen von posterioren Osteophytenformationen in angrenzenden und nicht angrenzenden Segmenten mit einem erhöhten Anteil im an die Fusion angrenzenden Segment.

In der Betrachtung der vier Parameter bei Patienten, die eine anteriore zervikale Diskektomie und Fusion an einem Segment mit Verwendung einer Casparplatte erhielten (siehe Tabelle 21), zeigen sich die meisten degenerativen Veränderungen im kranial an die Fusion angrenzenden Segment. Die statistische Auswertung der Bandscheibenhöhe im angrenzenden zum nicht angrenzenden Segment kranial der Fusion ergab, wie beschrieben, einen signifikanten Unterschied. Im Vergleich der vier Parameter zeigt sich sowohl kranial als auch kaudal das an die Fusion angrenzende Segment mit der Mehrzahl an degenerativen Veränderungen.

Eine ähnliche Darstellung der Verteilung der prozentualen Anteile und der verminderten Bandscheibenhöhe zeigt Tabelle 22 bei Patienten, die an einem Segment ohne Casparplatte operiert wurden. Ebenfalls im angrenzenden Segment kranial der Fusion zeigen sich die höchsten prozentualen Anteile an posterioren Osteophyten, einer posterioren Bandscheibenprotrusion sowie an einer Foramenstenose. Der Vergleich der Bandscheibenhöhen des angrenzenden zum nicht angrenzenden Segment kranial der Fusion ergibt auch hier einen signifikanten Unterschied. Der Vergleich der angrenzenden und nicht angrenzenden Segmente kaudal der Fusion zeigt ebenfalls erhöhte Anzeichen einer Degeneration im angrenzenden Segment. Lediglich der Anteil an einer Foramenstenose bleibt indifferent.

Patienten, die an zwei Segmenten mit einer Casparplatte operiert wurden, haben die geringste Bandscheibenhöhe und die höchsten prozentualen Anteile an posterioren Osteophyten, einer posterioren Bandscheibenprotrusion und an einer Foramenstenose ebenfalls im angrenzenden Segment kranial der Fusion (siehe Tabelle 23). Die Ausprägung der Parameter kaudal der Fusion zeigt sich deutlich geringer und sogar mit einer leichten Tendenz zur stärkeren Ausbildung im nicht an die Fusion angrenzenden Segment.

Nach einer Operation an zwei Segmenten ohne Casparplatte zeigt, wie zuvor, ebenfalls das angrenzende Segment kranial der Fusion den höchsten prozentualen Anteil an posterioren osteophytären Formationen, posterioren Bandscheibenprotrusionen und an einer Foramenstenose sowie eine im Vergleich verminderte Bandscheibenhöhe (siehe Tabelle 24). Mit 91,2% der im angrenzenden Segment

## 6 Diskussion

kranial und 50 % der Fälle im angrenzenden Segment kaudal der Fusion zeigt sich bei diesen Patienten der größte Anteil an posterioren Osteophyten im gesamten Vergleich der Segmente. In den Segmenten kaudal der Fusion war weder eine Foramenstenose noch eine posteriore Bandscheibenprotrusion ausgeprägt.

Die größten prozentualen Anteile der untersuchten Parameter, die in der Tabelle 25 dargestellt sind, weisen Patienten, die an drei Segmenten mit einer Casparplatte nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion operativ versorgt wurden, im angrenzenden Segment kranial der Fusion auf. Aufgrund der geringen Anzahl an untersuchten Patienten ist dies lediglich als Tendenz zu werten.

Eine verminderte Bandscheibenhöhe, die Ausbildung posteriorer Osteophyten mit Myelonkontakt, eine posteriore Bandscheibenprotrusion mit Myelonkontakt sowie das Vorliegen einer Foramenstenose sind Anzeichen für degenerative Prozesse der Wirbelsäule und werden als solche in den oben genannten Publikationen zur Bestimmung des Vorhandenseins einer Anschlussdegeneration gebraucht. Unabhängig von der Verwendung oder dem Verzicht auf eine Casparplatte nach anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion, zeigt sich bei dem für diese Arbeit untersuchten Patientenkollektiv betont das an die Fusion angrenzende Segment kranial der Fusion mit erhöhten Anteilen an den beschriebenen Parametern sowie mit einer verminderten Bandscheibenhöhe, sodass von einer höheren Belastung des an die Fusion angrenzenden Segments unabhängig von der Verwendung oder dem Verzicht auf eine Casparplatte ausgegangen werden muss. Die dargestellten Tabellen (siehe 21, 22, 23, 24, 25) zeigen lediglich einen insgesamt erhöhten prozentualen Anteil an degenerativen Prozessen bei Patienten, die an zwei Segmenten ohne Casparplatte operiert wurden. Vor allem ist hier die Ausbildung posteriorer Osteophyten mit Myelonkontakt zu nennen. Es scheint ein Vorteil bei der Verwendung einer Casparplatte zur Verminderung von degenerativen Prozessen bei Patienten, die eine anteriore zervikale Diskektomie und Fusion an zwei Segmenten erhalten müssen, erkennbar zu sein.

Betrachtet man im Zusammenhang zu den zum Teil hohen prozentualen Anteilen an degenerativen Veränderungen die Publikationen von Matsumoto et al. [41] und Teraguchi et al. [64], die ein nicht an der Halswirbelsäule operiertes Patientenkollektiv nach degenerativen Veränderungen der Bandscheibe mittels MRT untersuchten, so zeigen sich betont in dem Segment C 5 / 6 bei bis zu 86 % der Patienten degenerative Veränderungen. In einer weiteren Studie von Matsumoto et al. [39], bei der asymptotische Patienten eine Bildgebung mittels MRT erhielten, wird ebenfalls das Segment C 5 / 6 als das Segment mit dem höchsten Anteil an degenerativen Veränderungen, gefolgt von den Segmenten C 6 / 7 und C 4 / 5, angegeben. Das Patientenkollektiv der vorliegenden Arbeit wurde in den meisten Fällen an den beschriebenen, betont betroffenen Segmenten operiert, oder hat diese als direkt an die Fusion angrenzende Segmente. Da keine Vergleiche zu präoperativen Aufnahmen und dem eventuellen Vorliegen degenerativer Veränderungen angestellt werden können, ist keine Aussage über die Beeinflussung durch die durchgeführte Operation zu treffen.

### 6.2 Höhe des Operationssegments

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der *operated segment height* bei Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte an einem, zwei oder drei Segmenten operiert wurden, sind in der Tabelle 26 dargestellt. Die Durchführung einer anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion mit einem autologen Knochenspan wird trotz des Aufkommens von alternativen Möglichkeiten zur Fusion als Standard angesehen [38, 57]. In dem Vergleich der Fusionstechnik mit einem Cage zur Vermeidung von Einsinterungen und Komplikationen an der Entnahmestelle konnte kein Vorteil gegenüber der Verwendung

eines Knochenspans dargestellt werden [29, 56]. Es besteht auch hier ein Vorteil bei der zusätzlichen Verwendung einer Casparplatte [60].

Die Differenz der Höhe des Operationssegments zwischen Patienten, die an einem Segment mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden, beträgt im Vergleich der Mittelwerte 2 mm, sodass davon auszugehen ist, dass es unabhängig von der Verwendung einer Casparplatte oder dem Verzicht zu keiner deutlichen Einsinkung des Operationssegments bei der Fusion zweier Wirbelkörper kommt.

Im Gegensatz hierzu steht ein signifikanter Unterschied der Differenz der Mittelwerte der Höhe des Operationssegments bei Patienten, die an zwei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden. Hier beträgt die Differenz der Mittelwerte 6,4 mm. Die Verwendung einer Casparplatte scheint bei der operativen Versteifung der Halswirbelsäule an mehreren Segmenten einen positiven Effekt auf die Stabilität des Operationssegments zu haben.

### 6.3 Sagittales Alignment

In der Auswertung der Patienten für die vorliegende Arbeit hatte der Großteil dieser eine lordotische Ausrichtung der Halswirbelsäule. Ein Unterschied wurde bei dem Vergleich der Patienten, die mit bzw. ohne Casparplatte an einem, zwei und drei Segmenten operiert wurden, nicht festgestellt. Einen höheren Anteil lordotischer Ausrichtungen der Halswirbelsäule hatten jedoch die Patienten, die ohne eine Casparplatte operiert wurden.

Kontrovers zu diesen Ergebnissen beschreiben Faldini et al. [23] einen positiven Einfluss auf die Stellung der zervikalen Wirbelsäule nach einer Operation ohne eine Versteifung durch eine Platte. Sie untersuchten jedoch lediglich Patienten, die an einem Segment operiert wurden. Park et al. [47] verglichen das sagittale Alignment der Halswirbelsäule bei Patienten, die an einem, zwei und drei Segmenten operiert wurden, ein Unterschied konnte jedoch ebenfalls nicht ausgemacht werden. In der Publikation von Noriega et al [44] wurden 10,7 % der Patienten mit einer Veränderung der Ausrichtung der Halswirbelsäule in Richtung einer aufrechteren Konfiguration angegeben. Ein signifikanter Unterschied wurde nicht festgestellt. In mehreren Publikationen, in denen das sagittale Alignment der Halswirbelsäule untersucht wurde [23, 24, 31, 44, 47], wurden laterale Röntgenaufnahmen verwendet. Im Hinblick auf die Ergebnisse der beschriebenen Publikationen lässt die für die vorliegende Arbeit durchgeführte Messung des sagittalen Alignments mittels MRT bei liegenden Patienten eine fragliche Vergleichbarkeit zu den dort durchgeführten Röntgenaufnahmen im Stehen zu.

### 6.4 Segmentales Alignment der Fusion

In einer Publikation aus dem Jahre 2011 von Faldini et al. [24] wurde das segmentale Alignment beleuchtet. Die Patienten wurden hierfür in zwei Gruppen je nach segmentaler Ausrichtung der Halswirbelsäule aufgeteilt. In der Auswertung konnte in der Gruppe der Patienten mit einem segmentalen Alignment unter null Grad mit 61 % im Vergleich zu 27 % angrenzender Degeneration ein signifikanter Unterschied gefunden werden.

In der Auswertung der Patienten der vorliegenden Arbeit war ebenfalls eine kyphotische Ausrichtung der fusionierten Segmente nach einer Operation an einem und zwei Segmenten ohne die Verwendung einer Casparplatte auszumachen. Ein signifikanter Unterschied in der Verwendung oder dem Verzicht auf eine Casparplatte besteht im Vergleich der Patienten die an zwei Segmenten operiert wurden. Hingegen ist bei der Verwendung einer Casparplatte zur Fusion eines Segments ein lordotisches segmentales Alignment festzustellen (siehe Tabelle 30). Ein prozentualer Unterschied in der Entstehung

einer Anschlussdegeneration ist allerdings nur im ersten Segment unterhalb der Fusionshöhe auszumachen.

Katsuura et al. [31] beschreiben einen Anstieg der lokalen Kyphose bei Patienten, die an mehreren Segmenten eine anteriore zervikale Diskektomie und Fusion erhielten. Ein begünstigenden Einfluss auf die Entstehung einer angrenzenden Degeneration bei postoperativer lokaler Kyphose konnte ausgemacht werden.

Kim et al. [32] untersuchten die unterschiedliche segmentale Ausrichtung der Halswirbelsäule bei Patienten, die an einem Segment mittels Cage oder mit autologem Knochenspan aus dem Beckenkamm und Plattenosteotomie operativ versorgt wurden. Die Verwendung einer Platte zeigte einen Vorteil in der Verhinderung der Entstehung einer kyphotisch ausgerichteten Halswirbelsäule im Operationssegment.

Zur Vermeidung eines postoperativen kyphotischen segmentalen Alignments scheint die Verwendung einer Casparplatte einen positiven Einfluss zu haben. Ein eindeutiger Hinweis auf das erhöhte Risiko hinsichtlich der Entstehung einer Anschlussdegeneration lässt die alleinige Betrachtung der lokalen Ausrichtung der Halswirbelsäule nicht erkennen.

### 6.5 Ausrichtung der Halswirbelsäule

Nach Noriega et al. [44] wurde in dieser Arbeit die Einteilung der Ausrichtungsgrade der Halswirbelsäule vorgenommen. Ergab die Ausrichtung bei der Messung des sagittalen Alignments der Halswirbelsäule einen Wert über fünf Grad, so lag eine Lordose vor. War der Winkel zwischen fünf- und minus fünf Grad, so war die Ausrichtung *straight* und unter minus fünf Grad kyphotisch. Wird der prozentuale Anteil an den drei Ausrichtungsgraden (siehe Tabelle 31) betrachtet, so zeigt sich in den überwiegenden Fällen eine lordotische bis gerade Halswirbelsäule. Lediglich bei Patienten, die an einem Segment ohne Casparplatte operiert wurden, hatten 6,3% dieser eine kyphotische Ausrichtung der Halswirbelsäule. Der mit Abstand größte Anteil an geraden Halswirbelsäulen (21,4%) zeigen Patienten, die an zwei Segmenten mit einer Casparplatte operiert wurden. Hier kann von einer leichten Begradigung der Halswirbelsäule aufgrund der Segmentversteifung mittels Casparplatte ausgegangen werden.

In der Literatur wird eine ähnliche Verteilung der Ausrichtung der Halswirbelsäule bei Nagata et al. [43] und Noriega et al. [44] beschrieben. Ein direkter Zusammenhang zwischen einer lordotisch ausgerichteten Halswirbelsäule und der Entstehung einer Anschlussdegeneration konnte hier jedoch nicht gefunden werden. Hingegen berichtet Katsuura et al. [31] über einen signifikanten Unterschied in der lordotischen Ausrichtung der Halswirbelsäule bei Patienten mit und ohne Anschlussdegeneration. Patienten mit einer Anschlussdegeneration hatten nur in der Hälfte der Fälle eine lordotische Halswirbelsäule im Vergleich zu Patienten, bei denen keine Anschlussdegeneration festgestellt werden konnte.

Im Hinblick auf die prozentualen Anteile an einer lordotischen Ausrichtung der Halswirbelsäule und dem Vorhandensein einer Anschlussdegeneration zeigt sich bei Patienten des vorliegenden Kollektivs, die an zwei Segmenten mit Casparplatte operiert wurden, eine deutlich geringerer Ausprägung einer lordotischen Ausrichtung der Halswirbelsäule. Ein Unterschied in den prozentualen Anteilen an einer Anschlussdegeneration zeigt sich jedoch nicht (siehe Tabelle 31 und 32).

In den genannten Publikationen wurde der Ausrichtungsgrad der Halswirbelsäule mittels lateraler Röntgenaufnahme bestimmt. In der vorliegenden Arbeit wurden zur Bestimmung der Konfiguration der Halswirbelsäule MRT-Bilder ausgewertet. Aufgrund des Unterschieds zwischen Patienten, die bei

einer lateralen Röntgenaufnahme der Halswirbelsäule aufrecht stehen oder mit aufgestütztem Kopf für eine MRT-Untersuchung liegen, kann eine Vergleichbarkeit in Frage gestellt werden.

### 6.6 Anschlussdegeneration

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob degenerative Veränderungen häufiger an dem an die Operationshöhe angrenzenden Wirbelkörper vorkommen. Der für die vorliegende Arbeit verwendete Score ist darauf ausgelegt, die Unterschiede zwischen den an das Operationssegment angrenzenden und nicht angrenzenden Segmenten darzulegen. Im Hinblick auf diesen Score zeigt sich, dass eine Differenz zwischen den angrenzenden und nicht angrenzenden Segmenten besteht (siehe Tabelle 32). Patienten, die an einem Segment mit Casparplatte operiert wurden, hatten zu über 60% im ersten Segment kranial der Fusion eine Anschlussdegeneration. Hingegen kam eine solche angrenzende Degeneration bei Patienten, die an einem Segment ohne Casparplatte operiert wurden, lediglich bei 42% vor. Eine ähnliche Differenz zeigt der Vergleich der kaudal an die Fusion angrenzenden Segmente.

Bei Patienten, die an zwei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden, zeigt sich betont in den Segmenten kaudal der Fusion eine Differenz in den prozentualen Anteilen an einer Anschlussdegeneration. Nur rund 11% der Patienten, die an zwei Segmenten mit Casparplatte operiert wurden, hatten eine Anschlussdegeneration im ersten Segment kaudal der Operation, hingegen 27,3% der Patienten, die an zwei Segmenten ohne Casparplatte operiert wurden, zeigen eine solche im ersten Segment kaudal der Operationshöhe. Eine operative Versteifung mit einer Casparplatte scheint hier für die kaudal der Fusionshöhe gelegenen Segmente einen positiven Einfluss zu haben.

Betrachtet man die segmentspezifische Auftrennung, fällt auf, dass Patienten, die an einem höheren Segment (C5/6) operiert wurden, in 65% der Fälle eine Anschlussdegeneration im ersten Segment kaudal der Fusion aufweisen. Zu dieser Erkenntnis kamen ebenfalls Hilibrand et al. [28], die diesem Segment das höchste Risiko zur Entstehung einer Anschlussdegeneration einräumen. Komura et al. [35] sprechen sogar von einem erhöhten Risiko für eine Anschlussdegeneration bei einer Fusion kranial der Segmente C5, C6 und C7. Sie beschrieben die explizite Risikoreduktion bezüglich der Entstehung einer Anschlussdegeneration, wenn die Segmente C5/6 und C6/7 fusioniert wurden. In der Publikation von Nagata et al. [43] zeigte sich in 60,7% der Fälle bei den untersuchten Patienten eine Anschlussdegeneration, davon waren 35,7% im ersten Segment kranial der Fusion und lediglich 14,5% im kaudal angrenzenden Segment. In der Publikation wird dennoch auf das vermehrte Auftreten von Anschlussdegenerationen im kaudalen Segment bei der Fusionierung der Segmente C4/5 und C5/6 hingewiesen.

Faldini et al. [24] hingegen beschrieben keine Korrelation hinsichtlich der Entstehung einer Anschlussdegeneration und der Fusionshöhe.

In dieser Arbeit zeigt sich bei nur 3,9% der Patienten, die mit und ohne Casparplatte an dem Segment C6/7 operiert wurden, im ersten Segment kaudal der Operationshöhe eine Anschlussdegeneration. Das erste Segment kranial der Fusion hat in beiden Fällen ähnliche prozentuale Werte mit 41,2% im Operationssegment C5/6 und 50% im Operationssegment C6/7. Vergleicht man hierzu die Patienten, die an den Segmenten C5-7 operiert wurden, haben diese mit 25% im ersten Segment kranial der Fusion und 13,6% im ersten Segment kaudal der Fusion deutlich geringere prozentuale Anteile einer Anschlussdegeneration.

Insgesamt stellen die Werte dar, dass die Patienten, die für die vorliegende Arbeit untersucht wurden, im ersten Segment kranial der Fusion in bis zu 63,4% und im ersten Segment kaudal der Fusion in bis zu 65% der Fälle nach im Durchschnitt 24,5 Jahren nach der Operation eine Anschlussdegeneration

## 6 Diskussion

entwickelt haben.

In der Literatur gibt es sowohl Hinweise auf die Entstehung einer Anschlussdegeneration im Sinne eines natürlichen Alterungsprozesses, als auch für eine operationsbedingte Progression. Lundine et al. [37] beschreiben in Ihrer Veröffentlichung aus dem Jahre 2014 die Untersuchung von präoperativen MRT-Bildern von Patienten, die sich einer anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion unterzogen haben. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass schon vor der Operation Degenerationen an den angrenzenden Segmenten vorhanden waren und somit der weitere Verschleiß der Wirbelsäule ein natürlicher Prozess ist.

Hilibrand et al. [28] postulieren die Entstehung einer symptomatischen angrenzenden Degeneration in mehr als 25% der Fälle in den ersten 10 Jahren nach einer anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion. Als Risikofaktor wurde hier ebenfalls das präoperative Vorhandensein von degenerativen Veränderungen in den angrenzenden Segmenten der zu fusionierenden Operationshöhe angegeben.

Ein solcher Vergleich ist bei den vorliegenden Ergebnissen nicht möglich, da lediglich die Aufnahmen zu einem gewissen Zeitpunkt nach der Operation vorlagen. Ein präoperativer Verschleiß im Bereich der angrenzenden Wirbelkörper ist somit nicht auszuschließen. Matsumoto et al. [40] vergleichen in Ihrer Publikation aus dem Jahre 2009 Patienten, die sich einer anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion unterzogen hatten, mit asymptomatischen Probanden. In dieser Studie zeigte sich in beiden untersuchten Gruppen eine Progression der Degeneration der Bandscheibe mit einer signifikant schnelleren Progression in der Gruppe der Patienten nach einer Operation. Der Vergleich wurde hier zwischen den an die Fusion angrenzenden Segmenten mit allen Halswirbelkörpern der asymptomatischen Patienten gezogen. Untersucht wurde, ob generell eines der vier Kriterien des Scores ((siehe Tabelle 3) in den Segmenten nachweisbar ist. Es wurde kein direkter Vergleich des Operationssegments mit dem gleichen Segment eines nichtoperierten Patienten durchgeführt. Ein höhenspezifischer Vergleich ist dadurch nicht möglich.

Park et al. [46] beschreiben ebenfalls einen hohen Anteil an die Fusion angrenzender Degenerationen mit 46,5%. Sie sehen eine solche Anschlussdegeneration in einer generellen degenerativen Veränderung. Ein spezifischer Unterschied zu nicht angrenzenden Segmenten wird nicht dargestellt.

In der Betrachtung der Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigt sich ein vermehrtes Auftreten von degenerativen Veränderungen in den an die Fusion angrenzenden Segmenten sowohl bei Patienten die mit, als auch ohne Casparplatte operiert wurden. In dem Vergleich der Patienten, die an zwei Segmenten mit bzw. ohne Casparplatte operiert wurden kann ein Vorteil in der Verwendung einer Casparplatte dargestellt werden. Aufgrund der begrenzten Patientenzahl fallen jedoch Sonderfälle und als Extremwerte gemessene Parameter ins Gewicht und können das Ergebnis beeinflussen.

Das für die vorliegende Arbeit untersuchte Patientenkollektiv hat in den meisten Fällen die Segmente C4/5, C5/6 oder C6/7 als operierte oder an die Operationshöhe angrenzende Segmente. Wie oben beschrieben weisen diese Segmente häufig auch bei asymptomatischen und nicht voroperierten Patienten bereits degenerative Veränderungen auf [41, 64]. Ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten einer an die Fusion angrenzenden Degeneration und der Operation kann auch im Hinblick auf die fehlenden präoperativen Daten nicht dargestellt werden.

## Literatur

- [1] Abbed KM, Coumans JV (2007) Cervical radiculopathy: pathophysiology, presentation, and clinical evaluation. *Neurosurgery* 60:28–34.
- [2] Abdulkarim JA, Dhingsa R, Finlay DBL (2003) Magnetic resonance imaging of the cervical spine: Frequency of degenerative changes in the intervertebral disc with relation to age. *Clinical Radiology* 58:980–984.
- [3] Adams M, Roughley P (2006) What is intervertebral disc degeneration, and what causes it? *Spine* 31:2151–2161.
- [4] Ahn J, Lee J, Kim J (2011) Comparative study of clinical outcomes of anterior cervical discectomy and fusion using autobone graft or cage with bone substitute. *Asian Spine Journal* 5:169–175.
- [5] Arvin B, Kalsi-Ryan S, Karpova A, Mercier D, Furlan J, Massicotte EM, Fehlings MG (2011) Post-operative magnetic resonance imaging can predict neurological recovery after surgery for cervical spondylotic myelopathy: A prospective study with blinded assessments. *Neurosurgery* 69:362–368.
- [6] Bagby GW (1988) Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. *Orthopedics* 11:931–934.
- [7] Banwart JC, Asher MA, Hassanein RS (1995) Iliac crest bone graft harvest donor site morbidity. a statistical evaluation. *Spine (Phila Pa 1976)* 20:1055–1060.
- [8] Beard HK, Roberts S, O'Brien JP (1981) Immunofluorescent staining for collagen and proteoglycan in normal and scoliotic intervertebral discs. *J Bone Joint Surg Br.* 63B:529–534.
- [9] Bernick S, Cailliet R (1982) Vertebral end-plate changes with aging of human vertebrae. *Spine* 7:97–102.
- [10] Bland JH, Boushey DR (1990) Anatomy and physiology of the cervical spine. *Semin Arthritis Rheum.* 20:1–20.
- [11] Boni M, Denaro V (1982) Surgical treatment of cervical arthrosis: follow-up review (2-13 years) of the 1st 100 cases operated on by anterior approach. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 68:269–280.
- [12] Buckwalter JA (1995) Aging and degeneration of the human intervertebral disc. *Spine* 20:1307–1314.
- [13] Capello R, Bird JL, Pfeiffer D, Bayliss MT, Dudhia J (2006) Notochordal cell produce and assemble extracellular matrix in a distinct manner, which may be responsible for the maintenance of healthy nucleus pulposus. *Spine* 31:873–882.
- [14] Caspar W, Barbier DD, Klara PM (1989) Anterior cervical fusion and caspar plate stabilization for cervical trauma. *Neurosurgery* 25:491–502.
- [15] Caspar W, Geisler FH, Pitzen T, Johnson TA (1998) Anterior cervical plate stabilization in one- and two-level degenerative disease: Overtreatment or benefit? *Journal of Spinal Disorders* 11:1–11.

## Literatur

- [16] Chou YC, Chen DC, Hsieh WA, Chen WF, Yen PS, Harnod T, Chiou TL, Chang YL, Su CF, Lin SZ, Chen SY (2008) Efficacy of anterior cervical fusion: Comparison of titanium cages, polyetheretherketone (peek) cages and autogenous bone grafts. *Journal of Clinical Neuroscience* 15:1240–1245.
- [17] Cloward RB (1958) The anterior approach for removal of ruptured cervical disks. *J Neurosurg* 15:602–617.
- [18] Cloward RB (1959) Cervical diskography. a contribution to the etiology and mechanism of neck, shoulder and arm pain. *Ann Surg.* 150:1052–1064.
- [19] Crandall PH, Batzdorf U (1966) Cervical spondylotic myelopathy. *J Neurosurg* 25:57–66.
- [20] Denaro V, Martino AD (2011) Cervical spine surgery an historical perspective. *Clin Orthop Relat Res* 469:639–648.
- [21] Duetting A, Thomas W, Lorenz H, Holst A (1988) Complications following autologous bone transplantation at the site of removal. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 126:44–47.
- [22] Eck JC, Humphreys SC, Lim TH, Jeong ST, Kim JG, Hodges SD, An HS (2002) Biomechanical study on the effect of cervical spine fusion on adjacent-level intradiscal pressure and segmental motion. *Spine* 27:2431–2434.
- [23] Faldini C, Leonetti D, Nanni M, Martino AD, Denaro L, Denaro V, Giannini S (2010) Cervical disc herniation and cervical spondylosis surgically treated by cloward procedure: a 10-year-minimum follow-up study. *J Orthopaed Traumatol* 11:99–103.
- [24] Faldini C, Pagkrati S, Leonetti D, Miscione MT, Giannini S (2011) Sagittal segmental alignment as predictor of adjacent-level degeneration after a cloward procedure. *Clin Orthop Relat Res* 469:674–681.
- [25] Ferrara LA (2012) The biomechanics of cervical spondylosis. *Adv. Orthop.* .
- [26] Good DC, Couch JR, Wacaser L (1984) “numb, clumsy hands” and high cervical spondylosis. *Surg Neurol.* 22:285–291.
- [27] Harrop JS, Hanna A, Silva MT, Sharan A (2007) Neurological manifestations of cervical spondylosis: an overview of signs, symptoms, and pathophysiology. *Neurosurgery* 60:14–20.
- [28] Hilibrand AS, Carlson GD, Palumbo MA, Jones PK, Bohlman HH (1999) Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 81:519–528.
- [29] Jacobs W, Willems PC, Kruyt M, v. Limbeek J, Anderson PG, Pavlov P, Bartels R, Oner C (2011) Systematic review of anterior interbody fusion techniques for single- and double-level cervical degenerative disc disease. *Spine* 36:950–960.
- [30] Jimbo K, Park JS, Yokosuka K, Sato K, Nagata K (2005) Positive feedback loop of interleukin-1beta upregulating production of inflammatory mediators in human intervertebral disc cells in vitro. *Journal of Neurosurgery. Spine* 2:589–595.

## Literatur

- [31] Katsuura A, Hukuda S, Saruhashi Y, Mori K (2001) Kyphotic malalignment after anterior cervical fusion is one of the factors promoting the degenerative process in adjacent intervertebral levels. *Eur Spine J* 10:320–324.
- [32] Kim CH, Chung CK, Hahn S (2013) Autologous iliac bone graft with anterior plating is advantageous over the stand-alone cage for segmental lordosis in single-level cervical disc disease. *Neurosurgery* 72:257–265.
- [33] Kim DH, Rhim R, Li L, Martha J, Swaim BH, Banco RJ, Jenis LG, Tromanhauser SG (2009) Prospective study of iliac crest bone graft harvest site pain and morbidity. *The Spine Journal* 9:886–892.
- [34] Kim KW, Lim TH, Kim JG, Jeong ST, Masuda K, An HS (2003) The origin of chondrocytes in the nucleus pulposus and histologic findings associated with the transition of a notochordal nucleus pulposus to a fibrocartilaginous nucleus pulposus in intact rabbit intervertebral discs. *Spine* 28:982–990.
- [35] Komura S, Miyamoto K, Hosoe H, Iinguma N, Shimizu K (2012) Lower incidence of adjacent segment degeneration after anterior cervical fusion found with those fusing c5-6 and c6-7 than those leaving c5-6 or c6-7 as an adjacent level. *J Spinal Disord Tech* 25:23–29.
- [36] Kulkarni V, Rajshekhar V, Raghuram L (2004) Accelerated spondylotic changes adjacent to the fused segment following central cervical corpectomy: magnetic resonance imaging study evidence. *J Neurosurg* 100:2–6.
- [37] Lundine KM, Davis G, Rogers M, Staples M, Quan G (2014) Prevalence of adjacent segment disc degeneration in patients undergoing anterior cervical discectomy and fusion based on pre-operative mri findings. *Journal of Clinical Neuroscience* 21:82–85.
- [38] Maharaj MM, Phan K, Mobbs RJ (2016) Anterior cervical discectomy and fusion (acdf) autograft versus graft substitutes: what do patients prefer?- a clinical study. *J Spine Surg.* 2:105–110.
- [39] Matsumoto M, Fujimura Y, Suzuki N, Nishi Y, Nakamura M, Yabe Y, Shiga H (1998) Mri of cervical intervertebral disc in asymptomatic subjects. *The Journal of bone and joint surgery. British volume* 80:19–24.
- [40] Matsumoto M, Okada E, Ichihara D, Watanabe K, Chiba K, Toyama Y, Fujiwara H, Momoshima S, Nishiwaki Y, Iwanami A, Ikegami T, Takahata T, Hashimoto T (2009) Anterior cervical decompression and fusion accelerates adjacent segment degeneration comparison with asymptomatic volunteers in a ten-year magnetic resonance imaging follow-up study. *Spine* 35:36–43.
- [41] Matsumoto M, Okada E, Ichihara D, Watanabe K, kazuhiko Chiba, Toyama Y, Fujiwara H, Momoshima S, Nishiwaki Y, Hashimoto T, Takahata T (2015) Age-related changes of thoracic and cervical intervertebral discs in asymptomatic subjects. *Spine* 35:1359–1364.
- [42] McCormack BM, Weinstein PR (1996) Cervical spondylosis. an update. *West J Med.* 165:43–51.
- [43] Nagata T, Takami T, Yamagata T, Uda T, Naito K, Ohata K (2011) Significant relationship between local angle at fused segments and c2-7 angle: Average duration of longer than 20 years after anterior cervical discectomy and fusion. *J Craniovertebr Junction Spine* 2:62–66.

## Literatur

- [44] Noriega DC, Kreuger A, Brotat M, Ardura F, Hernandez R, Munoz MF, Barrios C (2013) Long-term outcome of the cloward procedure for single-level cervical degenerative spondylosis. clinical and radiological assessment after a 22-year mean follow-up. *Acta Neurochir (Wien)* 155:2339–2344.
- [45] Ono K, Ebara S, Fuji T, Yonenobu K, Fujiwara K, Yamashita K (1987) Myelopathy hand. new clinical signs of cervical cord damage. *J Bone Joint Surg Br.* 69:215–219.
- [46] Park JY, Kum KH, Kuh SU, Chin DK, Kim KS, Cho YE (2013a) What are the associative factors of adjacent segment degeneration after anterior cervical spine surgery? comparative study between anterior cervical fusion and arthroplasty with 5-year follow-up mri and ct. *Eur Spine J* 22:1078–1089.
- [47] Park MS, Kelly MP, Lee DKC, Min WK, Rahman RK, Riew KD (2013b) Sagittal alignment as a predictor of clinical adjacent segment pathology requiring surgery after anterior cervical arthrodesis. *The Spine Journal* .
- [48] Park MS, Moon SH, Lee HM, Kim SW, Kim TH, Lee SY, Riew KD (2013c) The effect of age on cervical sagittal alignment normative data on 100 asymptomatic subjects. *Spine* 38:458–463.
- [49] Randle MJ, Wolf A, Levi L, Rigamonti D, Mirvis S, Robinson W, Bellis E, Greenberg J, Salzman M (1991) The use of anterior caspar plate fixation in acute cervical spine injury. *Surg Neurol* 36:181–189.
- [50] Raspe H (2001) Back pain. in: Silman a, hochberg mc (eds). epidemiology of the rheumatic diseases. *Oxford University press* pp. 309–338.
- [51] Riew KD, Norvell DC, Chapman JR, Skelly AC, Dettori JR (2012) Introduction/summary statement: adjacent segment pathology. *Spine* 37:1–7.
- [52] Samartzis D, Shen FH, Goldberg EJ, An HS (2005) Is autograft the gold standard in achieving radiographic fusion in one-level anterior cervical discectomy and fusion with rigid anterior plate fixation? *Spine* 30:1756–1761.
- [53] Sambrook PN, MacGregor AJ, Spector TD (1999) Genetic influences on cervical and lumbar disc degeneration: a magnetic resonance imaging study in twins. *Arthritis Rheum.* 42:366–372.
- [54] Savolainen S, Rinne J, Hernesniemi J (1998) A prospective randomized study of anterior single-level cervical disc operations with long-term follow-up: Surgical fusion is unnecessary. *Neurosurgery* 43:51–55.
- [55] Shedid D, Benzel EC (2007) Cervical spondylosis anatomy: pathophysiology and biomechanics. *Neurosurgery* 60:7–13.
- [56] Siddiqui AA, Jackowski A (2003) Cage versus tricortical graft for cervical interbody fusion. a prospective randomised study. *J Bone Joint Surg Br.* 85:1019–1025.
- [57] Silber JS, Anderson DG, Daffner SD, Brislin BT, Leland JM, Hilibrand AS, Vaccaro AR, Albert TJ (2003) Donor site morbidity after anterior iliac crest bone harvest for single-level anterior cervical discectomy and fusion. *Spine* 28:134–139.

## Literatur

- [58] Smith GW, Robinson RA (1958) The treatment of certain cervical-spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion. *J Bone Joint Surg Am.* 40-A:607–624.
- [59] Song JS, Choi BW, Song KJ (2013) Risk factors for the development of adjacent segment disease following anterior cervical arthrodesis for degenerative cervical disease: Comparison between fusion methods. *Journal of Clinical Neuroscience* .
- [60] Song KJ, Taghavi CE, Lee KB, Song JH, Eun JP (2009) The efficacy of plate construct augmentation versus cage alone in anterior cervical fusion. *Spine (Phila Pa 1976)* 34:2886–2892.
- [61] Song KJ, Choi BW, Jeon TS, Lee KB, Chang H (2011) Adjacent segment degenerative disease: is it due to disease progression or a fusion-associated phenomenon? comparison between segments adjacent to the fused and non-fused segments. *Eur Spine J* 20:1940–1945.
- [62] Spurling RG, Scovill WB (1944) Lateral rupture of the cervical intervertebral discs - a common cause of shoulder and arm pain. *Surg Gynecol Obstet* 78:350–358.
- [63] Tagaki I, Eliyas JK, Stadlan N (2011) Cervical spondylosis: an update on pathophysiology, clinical manifestation, and management strategies. *Dis Mon.* 57:583–591.
- [64] Teraguchi M, Yoshimura N, Hashizume H, Muraki S, Yamada H, Minamide A, Oka H, Ishimoto Y, Nagata K, Kagotani R, Takiguchi N, Akune T, Kawaguchi H, Nakamura K, Yoshida M (2014) Prevalence and distribution of intervertebral disc degeneration over the entire spine in a population-based cohort: the wakayama spine study. *Osteoarthritis and Cartilage* 22:104–110.
- [65] Trout JJ, Buckwalter JA, Moore KC (1982) Ultrastructure of the human intervertebral disc: Ii cells of the nucleus pulposus. *Anat. Rec.* 204:307–314.
- [66] Voskuhl RR, Hinton RC (1990) Sensory impairment in the hands secondary to spondylotic compression of the cervical spinal cord. *Arch Neurol.* 47:309–311.
- [67] Zhao CQ, Wang LM, Jiang LS, Dai LY (2007) The cell biology of intervertebral disc aging and degeneration. *Ageing Res Rev.* 6:247–261.

## 7 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ASD	adjacent segment Degeneration / Anschlussdegeneration
bzw.	beziehungsweise
C	zervikaler Wirbel
Inf.	Inferior
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomograph
OP	Operation
Seg.	Segment
Sup.	Superior
Tab.	Tabelle
*	$p \leq 0,01$
**	$p \leq 0,001$
***	$p \leq 0,0001$

## 8 Anhang

### 8.1 Veröffentlichungen

Burkhardt BW, Simgen A, Dehnen M, Wagenpfeil G, Reith W, Oertel JM (2019) *Is there an impact of cervical plating on the development of adjacent segment degeneration following Smith-Robinson procedure ? A magnetic resonance imaging study of 84 patients with a 24 year follow-up.* Spine J. 2019 Apr;19(4):587-596. doi: 10.1016/j.spinee.2018.09.001. Epub 2018 Sep 6.

Burkhardt BW, Simgen A, Wagenpfeil G, Hendrix P, Dehnen M, Reith W, Oertel JM (2019) *Is there a difference in the grade of degeneration at the cervical spine following anterior cervical fusion with respect to clinical outcome, diagnosis, and repeated procedure? A magnetic resonance imaging study of 102 patients with a mean follow-up of 25 years.* Journal of Neurosurg.

## 8.2 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all Jenen bedanken, die mir durch Ihre fachliche und menschliche Unterstützung geholfen haben diese Arbeit entstehen zu lassen.

Ich bedanke mich bei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Joachim Oertel für die Möglichkeit zur Durchführung dieser Arbeit.

Für die Betreuung der Arbeit, Hilfestellungen und Geduld möchte ich mich bei Herrn PD Dr. med. Benedikt Burkhardt bedanken.

In ebensolcher Weise danke ich Herrn Gert Dehnen für fachübergreifende Diskussionen, hilfreiche Anregungen auch in technischen Fragen und das Korrekturlesen.

Weiterhin möchte ich mich bei Frau Alessia Smurra für die Möglichkeit des Zuhörens und des Verständnisses bedanken.

Nicht zuletzt danke ich meinen Eltern für Ihr Vertrauen, Ihre Geduld und die Möglichkeit meinem Studienwunsch nachzukommen.