

Aus der Klinik für Wirbelsäulenchirurgie  
des Auguste-Viktoria Klinikums, Lehrkrankenhaus  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Einfluss des postoperativen sagittalen Profils und  
Alignementkorrektur auf das klinische Outcome bei zervikaler  
spondylotischer Myelopathie

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Claudia Piepenbrock

aus Steinheim

Datum der Promotion: 02.03.2018

# Inhaltsverzeichnis

Abstrakt .....	1
1. Einleitung .....	3
Definition .....	3
Inzidenz .....	4
Pathophysiologie .....	5
Symptome.....	7
Diagnostik .....	8
Therapie.....	13
Prädiktive Faktoren und Risiken .....	15
Aufgabenstellung .....	15
2. Material und Methoden .....	17
Patientenkohorte.....	17
Operation.....	17
Klinische und radiologische Evaluation.....	19
Statistische Analyse.....	20
3. Ergebnisse .....	21
3.1 Gesamtkollektiv .....	21
Demografische Daten.....	21
Altersverteilung.....	21
Geschlechtsverteilung im Patientenkollektiv .....	21
Follow-Up .....	22
Zugangsweg .....	22
OP-Verfahren.....	23
Radiologische Daten .....	27
Klinische Daten .....	30
mJOAS .....	30
VAS .....	32
Odoms .....	32
Geschlechtsspezifische Unterschiede.....	33
3.2 Finale Lordose (Omegagruppen) .....	33
Demografische Daten.....	34
Altersverteilung.....	34
Geschlechtsverteilung .....	34
Follow Up.....	35
OP-Verfahren.....	36
Zugangswege.....	36

Radiologische Daten .....	37
Klinische Daten .....	39
mJOAS .....	39
VAS .....	40
Odoms .....	41
3.3 Korrekturwinkel (Deltagruppen) .....	42
Demographische Daten .....	42
Altersverteilung .....	42
Geschlechtsverteilung .....	43
Follow Up .....	43
OP-Verfahren .....	43
Zugangswege .....	43
Radiologische Daten .....	44
Klinische Daten .....	46
mJOAS .....	46
VAS .....	46
Odoms .....	47
4. Diskussion .....	49
Zentrale Aussage .....	49
Klinik .....	52
Methodik .....	54
Korrekturverlust .....	56
Demografie .....	56
Zugang und Operationsverfahren .....	57
Zusammenhang zwischen präoperativem Alignment und Klinik .....	58
Limitierungen .....	58
Zusammenfassung .....	60
5. Verzeichnisse .....	62
Literaturverzeichnis .....	62
Abbildungsverzeichnis .....	71
Tabellenverzeichnis .....	72
Abkürzungsverzeichnis .....	72
Eidesstattliche Versicherung .....	73
Lebenslauf .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Danksagung .....	74

### **Abstrakt**

**EINLEITUNG:** Zahlreiche Studien belegen die Wirksamkeit der operativen Therapie bei zervikaler spondylotischer Myelopathie (ZSM). Die unterschiedlichen Operationsverfahren fußen auf den Prinzipien der Dekompression des Spinalkanals, Stabilisierung der Wirbelsegmente und Korrektur zervikaler Fehlstellungen. Die wissenschaftliche Forschung richtete in der Vergangenheit ihren Fokus vornehmlich auf die Unterschiede zwischen den chirurgischen Techniken zur Dekompression und Stabilisierung. Erst in jüngerer Zeit wird untersucht, um wieviel eine Korrektur des zervikalen Alignements empfehlenswert und überhaupt für ein optimales postoperatives Ergebnis notwendig ist. Die bestehende aktuelle Datenlage ist noch underpowered und wird kontrovers diskutiert. Ziel dieser Analyse war es aufzuklären, ob Ausmaß des Korrekturwinkels und finales zervikales Alignment Einfluss auf das postoperative klinische Outcome bei Patienten mit ZSM haben.

**METHODIK:** Retrospektiv analysiert wurden prospektiv erworbene Daten von 102 Patienten, die zur Behandlung ihrer ZSM eine Operation erhielten. Prä- und postoperativ wurden der C2/7 Winkel nach Cobb, sowie der modifizierte Japanese Orthopedic Association Score (mJOAS) und die Schmerzangabe auf der Visuellen Analogen Skala (VAS) für Nackenschmerzen bestimmt. Der Operationserfolg wurde von den Patienten anhand des Odom's Scores bewertet.

**ERGEBNISSE:** Durch die Operation wurde das zervikale Alignment signifikant geändert; postoperativ bestanden keine kyphotischen Fehlhaltungen mehr. Es kam zu einer signifikanten Besserung von mJOAS und VAS, welche sich jedoch unabhängig vom Ausmaß der Korrektur und finalem zervikalen Alignment verhielt. Etwa 75% der Patienten werteten die Operation als Erfolg.

**SCHLUSSFOLGERUNG:** Sofern postoperativ keine kyphotische Fehlhaltung mehr bestand, hatten postoperatives Alignment und Korrekturwinkel nach den Ergebnissen dieser Arbeit keinen Einfluss auf das klinische Outcome.

## **Abstract**

**INTRODUCTION:** Numerous studies show the efficacy of surgical treatment in patients with cervical spondylotic myelopathy (CSM). The various surgical techniques are based upon the principles of decompression of the spinal canal, stabilisation of the vertebral segments, and correction of cervical malalignment. In the past, scientific research has focussed mainly on the differences between the surgical techniques for decompression and stabilisation. Only recently has it been investigated, how much correction of the cervical alignment is advisable and altogether necessary for an optimal postoperative result. The currently available data is underpowered and being disputed over controversially. The objective of this analysis was to determine, whether extent of correction or final cervical alignment influence the postoperative clinical outcome in patients with CSM.

**METHODS:** Prospectively acquired data of 102 patients who underwent surgery for CSM were retrospectively analysed. The C2/7 angle after Cobb, as well as the modified Japanese Orthopedic Association Score (mJOAS) and pain on the Visual Analogue Scale (VAS) for neck pain were measured pre- and postoperatively. Patients rated the success of the operation via Odom's Score.

**RESULTS:** Surgery changed the cervical alignment significantly; postoperatively there was no kyphotic malalignment anymore. There was a significant improvement in mJOAS and VAS scores, which was not correlated to the extent of correction or final cervical alignment. In 75% cases the surgery was rated as a success.

**CONCLUSION:** For as long as postoperative kyphotic malalignment was avoided, the postoperative alignment and extent of correction had no influence on clinical outcome considering the results of this work.

### 1. Einleitung

Die zervikale spondylotische Myelopathie (ZSM) ist eine häufige Ursache progressiven neurologischen Funktionsverlustes im mittleren Alter [1] [2]. Basierend auf stenosierenden degenerativen Veränderungen des Spinalkanals kommt es zu einer chronischen Schädigung des Myelons durch statische wie dynamische Kompression und begleitenden Perfusionsstörungen [1] [3]. Kyphotische Fehlstellungen der Halswirbelsäule tragen zu einer Aggravation der Erkrankung bei [1]. Ein Fortschreiten oder gar eine Besserung der Erkrankung kann durch unterschiedliche chirurgische Verfahren erreicht werden [1] [2] [3]. Deren kollektive Zielsetzung, analog zum pathophysiologischen Entstehungsmechanismus, ist die Entlastung des Halsmarks. Erreicht wird dies durch Abtragung der komprimierenden Strukturen am Spinalkanal, Stabilisierung der Wirbelsegmente und Wiederherstellung eines physiologischen sagittalen Alignements. Es existieren zahlreiche Studien, welche die Effektivität von Dekompression und Stabilisierung belegen [1]. Die Auswirkung des sagittalen Profils der Halswirbelsäule auf das postoperative Outcome ist in den letzten Jahren in den Fokus neuerer Untersuchungen gerückt und wird zurzeit kontrovers diskutiert [1]. Neben einer Vielzahl an Methoden zur Definition und Messung von zervikalem Malalignment ist nicht hinreichend geklärt, in welchem konkreten Ausmaß eine Korrektur vorgenommen werden sollte, und ob eine postoperative physiologische Halslordose zwingend erforderlich ist, um das bestmögliche klinische Resultat zu erhalten.

Ziel dieser Arbeit ist es, zu untersuchen, ob sich das postoperative klinische Ergebnis abhängig vom Grad der Korrektur des zervikalen Alignements oder vom finalen Lordosewinkel verhält.

#### Definition

Die zervikale spondylotische Myelopathie ist ein klinischer Symptomenkomplex bestehend aus fortschreitender Gangstörung, Verlust der Feinmotorik und Schmerzen [2] [3] [4] [5]. Er beruht auf der durch chronische Kompression hervorgerufenen Schädigung des Rückenmarks im Zervikalbereich [4] [6] [7]. Ursächlich hierfür sind degenerative Veränderungen, die zu einer statischen und funktionellen Einengung des Spinalkanals und der versorgenden Blutgefäße führen [3] [4]. Dazu gehören Spondylose, degenerative Bandscheibenerkrankungen, Facettengelenkshypertrophie und Ossifikation und Verdickung des Ligamentum flavum und des hinteren Längsbandes [1].

Da die Erkrankung pathogenetisch bedingt vor allem im fortgeschrittenen Lebensalter auftritt und mit einer Vielzahl differenzierter klinischer Ausprägungen einhergeht, wurde lange Zeit vermutet,

## 1. Einleitung

---

dass sie auf einer Störung des Nervensystems durch den Alterungsprozess beruhe. Von Stookey stammt 1928 die erste Beschreibung, bei der er die Kompression des Spinalkanals durch knorpelige Knoten degenerativ veränderter Bandscheiben als ursächlich für den myelopathischen Symptomenkomplex ansah [8]. Anfang der 50er Jahre veröffentlichte Arbeiten von Brain und Clarke/Robinson formten das heutige Verständnis des Zusammenhangs zwischen spondylootischer Kompression des Rückenmarks und der daraus resultierenden klinischen Ausprägung der manifesten zervikalen Myelopathie [9] [10] [11].

Die Erkrankung zeichnet sich durch eine über Jahre hinweg schleichende Progression aus. Es kann im Verlauf zu langen Intervallen ohne Fortschreiten, jedoch auch zu einer akuten Verschlechterung kommen [3] [4] [6] [12]. Während viele Patienten zunächst einem konservativen Therapieansatz zugänglich sind, lässt sich der Krankheitsverlauf des Einzelnen nicht mit Sicherheit vorhersagen [6]. Auch bei asymptomatischen Patienten mit einer zervikalen Stenose kann ein erhöhtes Risiko für die Entwicklung des Krankheitsbildes vorliegen [4] [12]. Eine systematische Review aus dem Jahr 2013 zeigte, dass sich der klinische Zustand von 20 bis 60% aller Patienten im Verlauf verschlechtern wird, wenn keine chirurgische Intervention erfolgt [6].

Ohne operative Therapie ist bei moderater oder schwerwiegender ZSM nicht mehr davon auszugehen, dass es zu einer klinischen Verbesserung kommen wird. Daher besteht die Operationsindikation bei gravierender oder lange bestehender Symptomatik [3] [12]. Die chirurgische Therapie versucht durch Dekompression und Stabilisierung die natürlichen anatomischen Gegebenheiten des Spinalkanals wiederherzustellen und das zervikale Rückenmark zu entlasten [5] [13]. Zahlreiche Verfahren sind dafür erprobt. Zur Korrektur einer kyphotischen Fehlstellung oder mono- bis oligosegmentaler Stenose werden von ventral kommende Operationsverfahren bevorzugt. Bei multisegmentaler Stenose kommen hingegen bevorzugt Verfahren von dorsal zur Anwendung [3].

### Inzidenz

In Industrienationen stellt die ZSM die häufigste Form der zervikalen Rückenmarksschädigung bei Erwachsenen dar und ist somit ein wichtiger Auslöser für vorzeitigen neurologischen Verfall [1] [2] [4] [14] [15] [16] [17] [18]. Sie bedingt durch Spastizität und neurologischen Funktionsverlust einen verminderten Aktivitätsgrad sowie eine herabgesetzte Lebensqualität im mittleren Lebensalter [2] [17] [18] [19]. Von der ZSM ist vor allem die erwerbstätige Altersgruppe der 50 bis 60-Jährigen betroffen [17] [20] [21]. Die Ratio zwischen Männern und Frauen beträgt in etwa 2:1 [21]. Die Stenosierung kann mono- oder multisegmental vorliegen, meist ist mehr als

## 1. Einleitung

---

ein Segment betroffen mit einer Prädominanz für die unteren Segmente [21] [22].

Es mangelt an belastbaren Daten für die Prävalenz und Inzidenz der ZSM weltweit [23] [24]. Für Nordamerika wird die Inzidenz der ZSM nach einem Literaturreview mit 41 und die Prävalenz mit 605 pro 1 Million geschätzt, zudem werden die mit ihr verbundenen stationären Aufnahmen mit 4,04/100.000 pro Personenjahre angegeben [1].

Insgesamt werden steigende Inzidenzraten beobachtet [15], ebenso scheinen die Operationszahlen anzuwachsen [1]. Die Zunahme an Inzidenz und Operationsraten der ZSM lässt sich zum einen aus dem demografischen Wandel ableiten, da aufgrund der alternden Bevölkerungsstruktur auch mit einer gesteigerten Inzidenz degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen gerechnet werden muss. Zudem ist durch die bessere medizinische Versorgung der gesundheitliche Status älterer Bevölkerungsgruppen, und mit ihm generelles Wohlergehen und Aktivitätsgrad angestiegen. Um dies zu erhalten, mag der Patient eher zu einer Operation tendieren [25].

Nicht zuletzt wirkt sich auch technischer und wissenschaftlicher Fortschritt auf die Steigerung von Inzidenz und Operationsraten der ZSM aus. Neurungen in der Bildgebung haben beispielsweise die Diagnosestellung erleichtert [5]. Durch Verbesserung der Studiendaten und Durchführung von Multicenter und prospektiven Studien konnten mehr Fälle von ZSM identifiziert werden. Auch ließen sich durch die Einführung neuer chirurgischer Techniken mehr Patienten für eine Operation als geeignet auswählen [26].

### Pathophysiologie

Pathogenetisch beruht die ZSM auf chronischer statischer Kompression, repetitiver dynamischer Schädigung und degenerativer Fehlstellung der Halswirbelsäule, welche ihrerseits zu Spannungs- und Durchblutungsstörungen des Myelons führen [1] [2].

Die Anatomie der Wirbelsäule erfährt durch den Alterungsprozess eine progrediente degenerative Modifikation, bezeichnet als arthrotischen oder spondylotischen Wandel [2] [27]. Er beinhaltet die Entwicklung osteophytärer Randbauten der Wirbelkörper, Bandscheibenprotrusion und Facettengelenksarthrose, aber auch ligamentäre Veränderungen, wie die Ossifikation des hinteren Längsbandes und Hypertrophie des Ligamentum flavum [28]. Bandscheibenprotrusionen ebenso wie Spondylose können zu einer direkten ventralen mechanischen Stenose führen, wohingegen die Verdickung des Ligamentum flavum und der Facettengelenke eine dorsale Verengung von Spinalkanal und Neuroforamina hervorrufen mögen.

Diese erworbenen Veränderungen führen einerseits zu einer statischen Einengung des Spinalkanals



## 1. Einleitung

---

und Kompression der darin enthaltenen Strukturen, andererseits bedingen sie auch eine dynamische Stenose und wiederholte Traumata des Myelons bei Bewegung [1] [29]. Wie anatomische Studien und MRT-Untersuchungen zeigten [30] [31], vermindert sich der Durchmesser des Spinalkanals bei Flexion und Extension. Spondylotische Anbauten verstärken eine Stenose bei Bewegung und beeinträchtigen die Mobilität des Rückenmarks zusätzlich [32] [33] [34].

Durch Zugkräfte bei Flexion wird das Myelon elongiert und über das hintere Längsband und den Wirbelkörper gezogen. Das Rückenmark verflacht, sodass Axone und Nervenwurzeln auseinandergezogen werden. Bei Extension hingegen wird das Rückenmark entspannt, es verkürzt und verdickt sich. Damit erhöht sich sein Durchmesser und relativer Platzbedarf im Spinalkanal. Bei Extension faltet sich zusätzlich das Ligamentum flavum und führt zu einer weiteren Einschränkung des spinalen Raumes [30].

Zur lokalen mechanischen Schädigung durch Druck-, Zug- und Scherkräfte addiert sich ein vaskulärer Schädigungsmechanismus [1] [3] [19]. Durchblutungs- und Abflussstörungen der rückenmarksversorgenden Gefäße werden durch Kompression der A. spinalis anterior und Torsion von Sulcusgefäßen hervorgerufen. Letztere versorgen die graue und mediale weiße Substanz, welche bereits zu Beginn der Erkrankung eine Schädigung erkennen lässt [35].

Makroanatomisch findet sich auf Höhe der Kompression ein verflachtes Rückenmark. Die graue Substanz erscheint ischämisch, es treten Nekrose und zystische Degeneration auf [36] [37] [38]. Mikroanatomisch kommt es zunächst zur Demyelinisierung der Vorderstränge, Atrophie der Vorderhornzellen und Verlust von Neuronen. Mit Progredienz der Erkrankung sind auch die Seiten- und Hinterstränge betroffen. Die absteigenden Seitenstränge zeigen unterhalb, die aufsteigenden Hinterstränge oberhalb des Kompressionspunktes eine Wallersche Degeneration. Auf zellulärer und molekularer Ebene kommt es durch die Schädigung zur Apoptose, Neuroinflammation und Durchblutungsstörungen [6] [39].

Durch die arthrotische Degeneration kann es zum Verlust der physiologischen Halslordose von 15 bis 25° und Fehlstellungen der zervikalen Wirbelsäule, wie Hypo- und Hyperlordose, aber auch Kyphose, kommen [40]. Vor allem die kyphotische Fehlstellung verstärkt den myelopathischen Schädigungsprozess, da hier das Myelon und die Nervenwurzeln vermehrt Zugkräften ausgesetzt sind, und es dadurch häufiger zur Minderperfusion des Myelons kommen kann [41]. Im Modell konnte gezeigt werden, dass zunehmendes kyphotisches Malalignment mit zunehmender Demyelinisierung, Atrophie, Verlust von Neuronen und Vorderhornzellen sowie Durchblutungsstörungen des ventralen Rückenmarks einhergeht [42].

## 1. Einleitung

---

Einfluss auf die Ausbildung einer ZSM haben genetische Prädisposition, Umwelt- und Arbeitseinflüsse [1] [3]. Als Risikofaktor für die Entwicklung einer ZSM gelten die angeborene oder erworbene Spinalkanalstenose [16] [19]. Dabei wird ein Spinalkanaldurchmesser von weniger als 10 bis 13 mm als prädisponierender Faktor angesehen [43]. In dynamischen MRT-Studien wurde gezeigt, dass bei Patienten mit einem Spinalkanaldurchmesser von weniger als 13 mm die segmentale Beweglichkeit erhöht war [44]. Genetisch bergen Störungen des MMP-2 und Kollagen IX ein erhöhtes Risiko für degenerative Bandscheibenerkrankungen; Störungen der Regulation von Kollagen VI und XI können eine erhöhte Ossifikation des hinteren Längsbandes bewirken. Kongenital bedingt wird das Auftreten der ZSM gehäuft beim Down und Klippel-Feil Syndrom beobachtet [1]. Übermäßige Bewegung und wiederholte Mikrotraumen begünstigen die degenerative Abnutzung der Halswirbelsäule [45] [46].

### Symptome

Die Symptomatik der ZSM bildet sich langsam progredient heraus, ohne dass spontane Remissionen eintreten [47]. Es gibt Anhaltspunkte, dass 5% aller Patientin mit asymptomatischer Spinalkanalkompression innerhalb eines Jahres symptomatisch werden [48]. Im Krankheitsverlauf kommt zu einer zunehmenden funktionellen neurologischen Deterioration [12] [47]. Etwa 75% der Patienten berichten von episodenhaften Verschlechterungen, gefolgt von Monaten oder Jahren der Stabilität [4].

Der klinische Symptomenkomplex kann unterschiedlich stark ausgeprägt sein [3]. Zuerst entsteht in der Regel eine Gangstörung, gefolgt vom Verlust der Feinmotorik der Hände und oftmals Schmerzen des Nackens und der oberen Extremitäten [5] [7] [21] [47].

Die Gangunsicherheit präsentiert sich in einem breiten, spastischen, ataktischen Gangbild [49] und findet sich bei Läsionen von C5 bis C8, die zu einem Syndrom der Spastizität und Verlust der Propriozeption der Beine führen [37]. Der neuerliche Gebrauch von Hilfsmitteln beim Gehen deutet auf ein Fortschreiten der Erkrankung hin [3].

Der Verlust der Feinmotorik äußert sich in Schwierigkeiten beim Zuknöpfen, Bedienen von Tastaturen oder Schlüsseln. Das Syndrom der „tauben, ungeschickten Hände“ wurde bei Patienten mit hoher kompressiver Myelopathie zwischen C3 und C5 beschrieben.

Motorfunktionsstörungen der oberen und unteren Extremitäten sowie Sensibilitätsstörungen der oberen Extremitäten finden sich häufiger als andere Funktionsstörungen und persistieren auch häufiger nach der Operation [21].

Nackenschmerzen und –steifheit mit Ausstrahlung in die Schultern können chronisch oder

episodisch auftreten mit längeren Zeitintervallen der Remission. Flexionsextensionstrauma, Schläge gegen den Kopf oder Nackenverletzungen beim Heben schwerer Gegenstände können akute Exazerbationen hervorrufen. Nackenschmerzen begleiten häufig eine radikuläre Symptomatik der oberen Extremitäten, können aber oftmals gänzlich fehlen [9] [10] [16].

Bei fortgeschrittener Erkrankung kann es zu Blasen- und Mastdarmstörungen kommen mit erhöhter Miktionsfrequenz und –dringlichkeit. Ein vollständiger Verlust der Blasen- und Mastdarmkontrolle ist eher selten [3] [37].

### Diagnostik

Die Diagnose der ZSM wird durch die klinische Untersuchung gestellt. Bildgebende und elektrophysiologische Verfahren dienen der Ergänzung und Ursachenabklärung. Notwendig ist weiterhin eine laborchemische Untersuchung. Zur Differenzialdiagnostik können Untersuchungen des zerebrospinalen Liquors und eine Restharnbestimmung herangezogen werden.

Durch die Spinalkanalstenose kommt es früh zu einer Schädigung der kortikospinalen und spinocerebellaren Bahnen [7]. Dadurch finden sich auf Höhe der ausgeprägtesten Enge Anzeichen für untere Motorneuronenschädigung mit erniedrigtem Muskeltonus, Kraftminderung, Muskelatrophie, Herabsetzung der Muskeleigenreflexe und Faszikulationen. Unterhalb der Enge zeigen sich Zeichen für obere Motoneuronenschädigung wie Spastik durch erhöhten Muskeltonus, Schwäche, erhöhte und pathologische Reflexe, streckende plantare Antwort und Muskelkloni. Unter den pathologischen Reflexen zeigte das Trömner Zeichen die höchste Sensitivität im Vergleich zu Hoffmann Zeichen und Babinski Reflex [50]. Das Romberg Zeichen gibt Aufschluss über einen Verlust der Propriozeption [3].

Myelopathische Syndrome können asymmetrisch auf einer Seite des Körpers auftreten (Brown-Sequard-Syndrom). Das Defizit kann vor allem die Motorfunktion mit erhaltener Sensibilität (vorderes Rückenmarkssyndrom) oder Schwäche der Hand mehr als Beinschwäche (zentrales Rückenmarkssyndrom) beeinflussen [37]. Die Beweglichkeit der HWS ist oftmals eingeschränkt [3].

Das Ausmaß der Symptome hängt ab von dem Ausmaß der Betroffenheit der Hinter-, dorsolateralen und ventrolateralen Bahnen, der Vorderhörner und der zervikalen Nervenwurzel des Myelons [51]. Daher schlugen Crandall und Batzdorf 1966 die Unterteilung in fünf klinische Symptome vor: Transversale Läsion, Motorsystem Syndrom, zentrales Rückenmarkssyndrom, Brown-Sequard Syndrom und Brachialgie [52]. Bei der Entscheidung des geeigneten therapeutischen Mittels spielen sie jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Man orientiert sich weitestgehend an dem Schweregrad der Symptome, der funktionellen Einschränkung und der Progression [4].

## 1. Einleitung

Zur Erfassung des neurologischen Status bei ZSM sind der modifizierte Japanese Orthopedic Association Score (mJOAS) für ZSM (Tabelle 1) und der Nurick Score (Tabelle 2) vielfach erprobt, wobei weitere Scoresysteme existieren [53] [54] [55] [56].

### mJOAS

Motor dysfunction		
<i>Upper extremities</i>	0	Unable to move hands
	1	Unable to eat with a spoon but able to move hands
	2	Unable to button shirt but able to eat with a spoon
	3	Able to button shirt with great difficulty
	4	Able to button shirt with slight difficulty
	5	No dysfunction
<i>Lower extremities</i>	0	Complete loss of motor & sensory function
	1	Sensory preservation without ability to move legs
	2	Able to move legs but unable to walk
	3	Able to walk on flat floor with a walking aid (cane or crutch)
	4	Able to walk up- &/or downstairs w/aid of a handrail
	5	Moderate-to-significant lack of stability but able to walk up- &/or downstairs without handrail
	6	Mild lack of stability but able to walk unaided with smooth reciprocation
	7	No dysfunction
Sensory dysfunction		
<i>Upper extremities</i>	0	Complete loss of hand sensation
	1	Severe sensory loss or pain
	2	Mild sensory loss
	3	No sensory loss
Sphincter dysfunction		
	0	Unable to micturate voluntarily
	1	Marked difficulty in micturition
	2	Mild-to-moderate difficulty in micturition
	3	Normal micturition

*Tabelle 1: Das modifizierte Japanese Orthopaedic Association Score System des neurologischen Funktionsstatus bei ZSM [53]*

### Nurick Scores

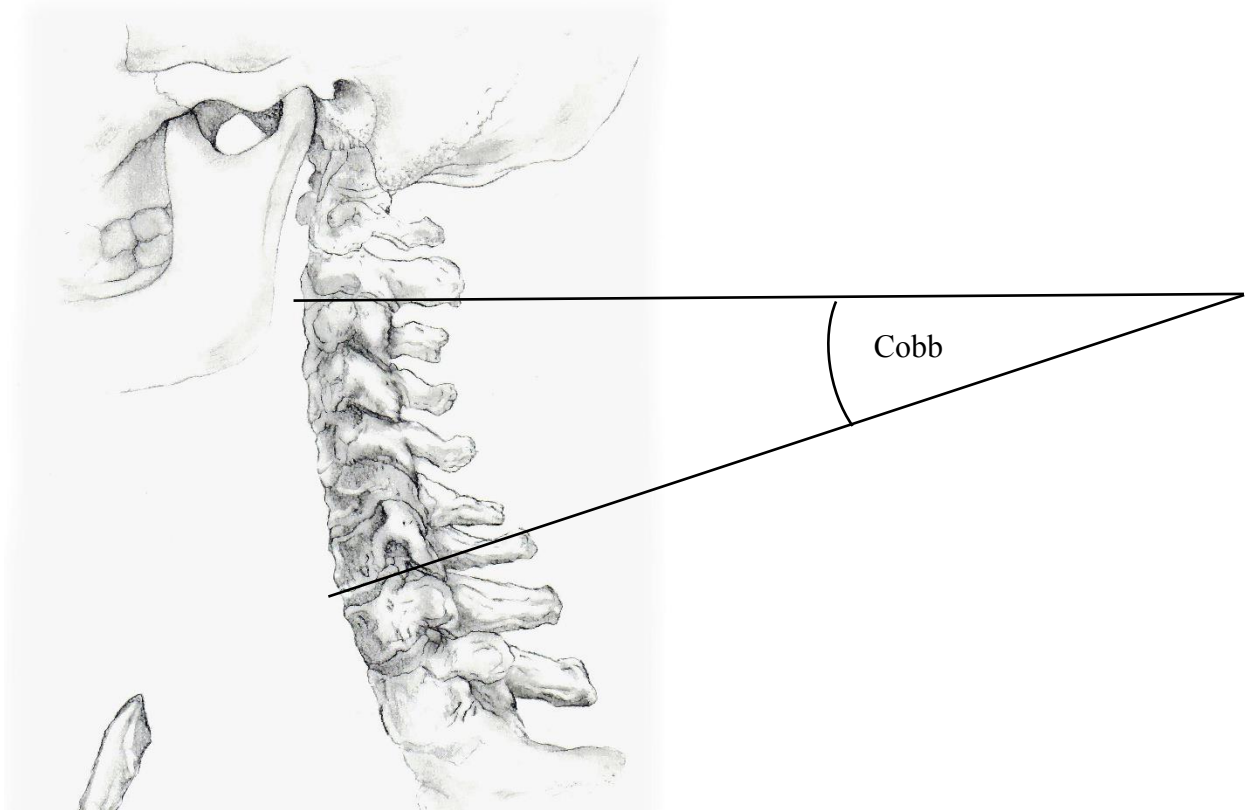
0	Signs or symptoms of root involvement but without evidence of spinal cord disease
1	Signs of spinal cord disease but no difficulty in walking
2	Slight difficulty in walking which did not prevent full-time employment
3	Difficulty in walking which prevented full-time employment or the ability to do all housework, but which was not so severe as to require someone else's help to walk
4	Able to walk only with someone else's help or with the aid of a frame
5	Chair bound or bedridden

*Tabelle 2: Klassifikation des klinischen Schweregrades der ZSM nach Nurick [55]*

Nativröntgenaufnahmen in vier Ebenen geben Aufschluss über grundlegende Schädigungen der Wirbelkörper und des Spinalkanals. Sie erlauben Aussagen über die Ausprägung spondylootischer Veränderungen, Fehlstellungen und die Weite des Spinalkanals.

Die normale Weite des Spinalkanals wurde mit 17-18mm für die mittlere HWS im sagittalen Röntgenbild angegeben. Eine absolute Stenose liegt ab  $<10\text{mm}$ , eine relative Stenose bei  $<13\text{mm}$  [57] [58] vor, wobei solche absoluten Werte nicht die Individualität des Patienten berücksichtigen. Aussagen über die Breite des Spinalkanals können daher in seitlichen Röntgenaufnahmen auch über die Torg-Pavlov Ratio gefällt werden, indem die Breite des Spinalkanals durch die Breite des Wirbelkörpers dividiert wird. Eine normale Ratio wird mit 1.0 angegeben. Ab  $<0.8$  handelt es sich um einen kongenital engen Spinalkanal [59], der das Auftreten einer zervikalen Myelopathie begünstigt.

In seitlichen Aufnahmen kann zudem das zervikale Aligement und Abweichungen von der physiologischen Halslordose festgestellt werden. Das gebräuchlichste Maß für das zervikale Aligement ist der Winkel nach Cobb (Abbildung 1). Er wird gemessen als Winkel zwischen der Grundplatte des Wirbelkörpers C2 und der Grundplatte C7 und beträgt physiologischerweise 15 bis  $25^\circ$  [60].



*Abbildung 1: Schematische Darstellung des C2/7 Winkels nach Cobb [60] (mit freundlicher Genehmigung durch den Künstler D. Tanygin)*

Das sagittale zervikale Alignment hat Einfluss auf die Auswahl des geeigneten Operationsverfahrens und die Planung einer möglichen Korrektur. Die Auswirkungen der sagittalen Ausrichtung auf das postoperative Outcome ist Gegenstand neuerer Studien [61] [62]. Funktionsaufnahmen dienen der Feststellung einer möglichen Instabilität der Wirbelsäule, die aufgrund spondylootischer Versteifung vermehrt auftritt [37].

Bei den bildgebenden Verfahren zur Diagnostik der ZSM hat das MRT der HWS den höchsten Stellenwert [47]. Als nichtinvasives Verfahren ohne Strahlenbelastung zeigt es sowohl Stenosierungen des Spinalkanals als auch die Schädigung des Myelons, welche in T2-gewichteten Aufnahmen als hyperintense Signalanhebung imponiert, an. Zusätzlich lassen sich Differenzialdiagnosen wie spinale Tumore erkennen und die umgebenden Weichteile multiplanar betrachten. Die radiologischen Veränderungen im MRT korrelieren nicht sicher mit den klinischen Symptomen der ZSM oder dem Grad der Regeneration nach der Operation [61] [63] [64] [65]. Es wird diskutiert, dass eine ausgeprägte hyperintense Signalanhebung in T2-gewichteten MRT-Aufnahmen auf ein frühes und möglicherweise reversibles Stadium der ZSM hindeutet, indem sie Ödem und Gliose wiedergibt, indessen hypointense Signalveränderungen in T1-gewichteten Aufnahmen zystische

## 1. Einleitung

---

Degeneration, Myelomalazie und Nekrose reflektieren und somit ein spätes irreversibles Stadium ausdrücken [66]. Dies spiegelt sich in den Untersuchungen anderer Studien wieder, bei denen aufgrund einer präoperativ erhöhten Aufnahme von  $^{18}\text{F}$ -FDG auf Höhe der Stenose im  $^{18}\text{F}$ -FDG-PET mit einem postoperativ besseren neurologischen Status auf eine frühe immunreaktive Antwort und einen noch reversiblen Schaden geschlossen wurde [65] [66]. Andere Studien kamen jedoch nicht zu demselben Ergebnis [67] [68].

Ist kein MRT möglich, so besteht alternativ die Möglichkeit der Myelografie mit Postmyelo-CT, was eine höhere Spezifität für Weichteilläsionen und Spinalkanalstenose bietet als das MRT [7]. Aufgrund der Invasivität wird dieser diagnostische Weg jedoch nur in Einzelfällen eingeschlagen. CT-Aufnahmen besitzen eine größere Aussagekraft für knöcherne Veränderungen, wie Ossifikation des hinteren Längsbandes, verknöcherte Bandscheibenvorfälle, Facettengelenkshypertrophie und Ankylose der Uncovertebralgelenke als das MRT und weisen weniger Bewegungsartefakte auf. Zudem lassen CT Aufnahmen mit Kontrastmittel die Beurteilung des Verlaufs der A. vertebralis zu und geben Aufschluss über das Vorliegen möglicher anatomischer Anomalien [69] [70].

Sowohl im axialen MRT als auch im CT lässt sich die Kompressionsratio berechnen. Die Kompressionsratio wird definiert als der schmalste anterioposteriore Durchmesser dividiert durch den breitesten Durchmesser des Myelons. Eine Transversalfläche von  $<40\text{mm}^2$  oder eine Ratio von  $<0,4$  korreliert stark mit klinischem und histopathologischem Nachweis von Myelopathie [3].

Elektrophysiologische Untersuchungen wie SEP und MEP sind bei der Diagnostik der ZSM bei eindeutigem klinischen und radiologischem Befund nicht zwingend erforderlich. Durch die steigende Kompression des Rückenmarks kommt es zuerst zu einer Verzögerung des somatosensorischen Potenzials. Die Verzögerung der motorisch evozierten Potenziale mag eintreten, noch bevor es im MRT zu pathologischen Veränderungen kommt [71]. Bei einem unklaren Befund dient die elektrophysiologische Diagnostik daher zur Objektivierung und Quantifizierung der neurologischen Schädigung [72]. Sie gibt Auskunft über die segmentale Schädigung und hat einen differenzialdiagnostischen Wert.

Ergänzende Untersuchung zur Beurteilung der Blasenfunktion bei entsprechenden Beschwerden ist die Restharnsonografie.

Laborchemische Untersuchungen bei entsprechenden Risikogruppen können Mangelkrankungen wie Vitamin-B12 Mangel aufdecken oder ein entzündliches Geschehen wie Borreliose.

Zum Ausschluss neurovaskulärer Erkrankungen kann ein kranielles MRT herangezogen werden.

### Therapie

Das adäquate Management der ZSM wird kontrovers diskutiert. Vorschläge zur Unterteilung nach Schweregraden und Behandlungsalgorithmen sind Gegenstand aktueller Studien [18] [73].

Einige Autoren empfehlen aufgrund der zumeist langsamen Progression der Erkrankung zunächst ein konservatives Prozedere, bestehend aus medikamentöser, physikalischer und physiotherapeutische Therapie bei jungen Patienten mit milden Zeichen der ZSM [16] [37] [74] [75]. Genügend Evidenz für ein nachhaltiges Benefit gibt es jedoch nicht [16] [67] [76] [77] [78]. Bei konservativ behandelten Patienten konnte insgesamt ein Progress der Erkrankung beobachtet werden [40]. Zudem muss die Möglichkeit eines abrupten Fortschreitens berücksichtigt werden [12] [79] [80]. In einer prospektiven Studie wies die konservativ behandelte Kohorte im Vergleich zu den operativ versorgten Studiengruppe einen größeren neurologischen Funktionsverlust auf [81].

Innerhalb von 3-7 Jahren erhalten etwa 4-40% der Patienten mit ZSM bei ausgereizter konservativer Therapie eine operative Versorgung [6]. Die Indikation für eine zeitnahe chirurgische Versorgung besteht bei ausgeprägter klinischer Symptomatik, Beeinträchtigung des autonomen Nervensystems und rascher Progredienz [3] [82]. Durch Dekompression, Stabilisierung und Erhalt oder Wiederherstellung der physiologischen Halslordose kann das Fortschreiten der Erkrankung unabhängig vom Schweregrad zuverlässig verhindert, der neurologische Funktionsverlust gemindert und die Lebensqualität verbessert werden [26] [33] [40] [83] [84] [85]. Die operative Versorgung stellt ein effektives und sicheres therapeutisches Mittel dar [86].

Zur chirurgischen Behandlung der ZSM sind zahlreiche operative Verfahren validiert. Das passende Verfahren wird nach Art der Stenose, Anzahl der betroffenen Segmente, sagittalem Profil und eventuell vorhandener Instabilität ausgewählt [13] [26] [87] [88]. Die Wahl des geeigneten Operationsverfahrens bleibt kontrovers, da bisher nicht der eindeutige Vorteil eines Verfahrens gezeigt werden konnte [40].

Es kann sowohl ein vorderer als auch hinterer oder kombinierter Zugangsweg gewählt werden [18] [26]. Ein vorderer Zugangsweg wird üblicherweise bei Patienten mit wenig betroffenen Segmenten und einer fixierten Kyphose, wohingegen ein hinterer Zugangsweg bei multisegmentaler Erkrankung und lordotischem Setting favorisiert [3] [89]. Die Studienlage zeigte ein unschlüssiges Bild bezüglich der Superiorität eines Zugangsweges [90] [91]. Vordere Zugangswege zeigten sich etwas besser hinsichtlich Outcome und Alignment [83] bei erhöhtem Risiko für Komplikationen und Reoperation [89] [92]. Hintere Zugänge zeigten eine erhöhte Morbidität [93], wobei diese vor allem bei fortgeschrittener Erkrankung gewählt werden.

Anerkannte Operationsverfahren sind die vordere zervikale Diskektomie und Fusion (ACDF), vordere zervikale Korporektomie und Fusion (ACCF), Laminoplastie und Laminektomie mit Fusion



(LF). Wie mehrere große Studien zeigten unterscheiden sie sich in ihren Resultaten nicht [94] [95] [96] [97].

Der vordere Zugang mit zervikaler Diskektomie und Fusion (ACDF), wie ursprünglich beschrieben von Smith/Robinson und Cloward [98] [99], wird bei kurzstreckigen Spinalkanalstenosen von ein bis zwei Segmenten verwendet [3]. Das Bandscheibenfach wird entleert und die Wirbelsegmente über ein Interponat fusioniert. Er wird bevorzugt bei Vorliegen von ventralen Osteophyten, medianen und beidseitigen lateralen Bandscheibenvorfällen und Ossifikation des hinteren Längsbandes. Bei mehrsegmentaler Myelopathie wird es weniger oft angewandt aufgrund eines höheren Risikos für Non-Fusion bei zahlreichen Oberflächen [100].

Die vordere zervikale Korporrektomie und Fusion (ACCF) wird bei mehrsegmentalen Stenosen angewandt [37] [101]. Sie erlaubt eine umfangreichere Dekompression als die ACDF und besitzt durch verminderte Anzahl an Oberflächen weniger Gefahr für Non-Fusion [102]. Nachteilig sind im Vergleich zur ACDF etwas erhöhte Komplikationsraten und die geringere Möglichkeit zur Lordoskorrektur [103]. Eine Metaanalyse, die ACDF mit ACCF verglich, konnte nicht die Überlegenheit eines Verfahrens etablieren, wobei ACDF mit weniger Blutverlust, Operationszeit und Liegezeit einherging und ein besseres postoperatives Alignment auswies [104] [105].

Anteriore Verfahren lassen die Korrektur kyphotischer Fehlhaltungen und Instabilität zu. Zur Fusion stehen Cages aus Titan oder PEEK zur Verfügung, ggf. in Kombination mit einer Verplattung. Der hintere Zugang mit Laminektomie (Resektion der Wirbelbögen) und Fusion oder Laminoplastie (Spaltung der Wirbelbögen) wird bevorzugt gewählt bei einer mehrsegmentalen Kompression des Myelons durch dorsale Strukturen wie dem Lig. flavum, bei Facettengelenkshypertrophie oder bei einem kongenital engem Spinalkanal [3] [106] [107]. Er lässt eine gute Rekonstruktion des zervikalen Alignements zu. Die Stabilisierung erfolgt bei der Laminektomie mittels eines Schrauben-Stab-Systems, wohingegen bei der Laminoplastie die segmentale Beweglichkeit erhalten bleibt. In einer prospektiven Studie wurde hinsichtlich der neurologischen Erholung und Besserung der Lebensqualität kein Unterschied zwischen diesen beiden posterioren Verfahren festgestellt [108]. Laminektomie und Fusion zeigte bei seinen Langzeitergebnissen einen besseren Erhalt des zervikalen Alignements [109] [110] [111]. Posteriore Verfahren werden bei einer Kyphose  $>13^\circ$ , ausgeprägten Nackenschmerzen oder Instabilität vermieden [28].

Eine Kombination der ventralen Fusion mit dorsaler Laminoplastie/Laminektomie ist möglich, dies findet bei kombinierten dorsalen und ventralen Stenosen und schweren Kyphosen [112], sowie schlechter Knochenqualität und einem hohen Grad an Instabilität Anwendung [113].

Aktuell wird untersucht, ob die Gabe von Riluzole, und die damit verbundene Verbesserung der postoperativen Perfusion, eine positive Auswirkung auf das Operationsergebnis hat [114].

### Prädiktive Faktoren und Risiken

Dauer und Schweregrad der Symptome, Vorhandensein von somatischen und psychiatrischen Komorbiditäten, sowie Rauchen beeinflussen die postoperative neurologische Erholung [83] [115] [116]. Eine kurze Dauer der Symptome und geringe neurologische Dysfunktion vor der Operation korrelieren mit einem guten postoperativen Ergebnis, da hier vermutlich die Gewebeschäden noch reversibel sind [37] [65] [83] [117] [118]. Als positive prädiktive Faktoren wurden jüngeres Alter, monosegmentale Stenose und breiter Spinalkanal identifiziert [119] [120].

Präoperative Risikofaktoren stellen höheres Alter, Komorbiditäten wie Diabetes mellitus und Ossifikation des hinteren Längsbandes dar [86]. Intraoperativ führen lange Operationszeit und kombinierte Zugangswege zu einem erhöhten Risiko für perioperative Komplikationen [86] [83].

Komplikationen traten in 6,5% bis 16,6% der operativ versorgten Fälle auf [90]. Sie beinhalten Blutverlust, Infektion, Nervenschaden, Duraleck oder -fistel wie bei allen spinalen Operationen. Eingebrautes Material kann dislozieren, brechen oder nicht fusionieren und somit zu einer Pseudarthrose führen [91] [121] [122]. Fusionen bergen das Risiko der postarthrodetischen Anschlusssegmentdegeneration und die Entwicklung einer Anschlusssegmenterkrankung, wenn sich dadurch erneut klinische Symptome ergeben [123] [124]. Fehlings et al. gaben das Risiko für perioperative Komplikationen mit 15,6% und Langzeitkomplikationen mit 4,4% an [95]. Vordere Zugänge bergen das Risiko für eine Rekurrensläsion oder Verletzung von Ösophagus, N. laryngealis superior oder A. vertebralis [125] [126] [127] [128]. Postoperativ können Horner Syndrom und Dysphagie auftreten [13] [129] [130].

Laminoplastie führte postoperativ in einigen Studien im Vergleich mit den anderen Verfahren zu vermehrten Nackenschmerzen [13] [131] [132] und zeigte ein erhöhtes Risiko für frühzeitige Restenosierung [133]. Bloße Laminektomien wurden aufgrund erhöhtem Risiko für eine postoperative kyphotische Fehlhaltung (Schwanenhalsdeformität) und Instabilität um eine Fusion ergänzt oder zugunsten der Laminoplastie verlassen [5] [134]. Die Gefahr der Nervenwurzelschädigungen, vor allem der Wurzel C5, ist bei hinterer Dekompression im Vergleich zur vorderen Dekompression erhöht [135] [136] [137] [138].

### Aufgabenstellung

Das traditionelle Credo der operativen Therapie der ZSM fußt auf drei Prinzipien: der Dekompression, der Stabilisierung und dem Erhalt oder Wiederherstellung der physiologischen Halslordose. Für die Effektivität der Dekompression und Stabilisierung existieren ausreichend Langzeitergebnisse und belastbare Evidenz [26] [33] [40] [83] [84] [85].

## 1. Einleitung

---

In den Fokus neuerer Studien rückte der Einfluss des sagittalen Alignements auf die Schwere der Erkrankung und die postoperative Erholung [40] [41] [61] [84] [139] [140] [141], da dem zervikalen Alignment Einfluss auf Funktionalität und Lebensqualität zugeschrieben werden [60] [62] [142] [143].

Bislang mangelt es jedoch an konkreten Direktiven für die chirurgische Korrektur des sagittalen zervikalen Profils. Weder das Ausmaß der Korrektur noch der ideale finale Lordosewinkel konnten definiert werden [60] [61], da deren Korrelation mit dem postoperativen klinischen Outcome nicht hinreichend gezeigt wurde.

Falls ein Zusammenhang bestehen sollte, wäre eine standardisierte, evidenzbasierte Vorgabe wertvoll, um der demographisch bedingt wachsenden Patientenzahl ein möglichst gutes postoperatives Ergebnis und den Erhalt ihrer neurologischen Funktionalität, einhergehend mit persönlicher Zufriedenheit und Möglichkeit zur Partizipation an der Gesellschaft, zu gewährleisten. Außerdem gestattete sie dem Chirurgen die kritische Abwägung der Indikationsstellung verschiedener Operationsverfahren. Möglicherweise könnte ein gewisser Korrekturverlust in Kauf genommen oder eine Fehlstellung nicht übermäßig verändert werden, wenn man zuverlässig davon ausgehen könnte, dass dies keine negativen Auswirkungen auf das postoperative Ergebnis habe. Ziel dieser Arbeit ist es deshalb zu untersuchen, ob sich das postoperative klinische Ergebnis abhängig zum Grad der Korrektur des zervikalen Alignements oder dem finalen Lordosewinkel verhält.

## 2. Material und Methoden

### Patientenkohorte

Analysiert wurden die Daten der klinischen Routine von 102 Patienten, die zwischen 2003 und 2014 zur Behandlung ihrer ZSM eine Operation erhielten.

Die Patienten wurden am Vivantes-Auguste-Viktoria-Klinikum und im Sana Gesundheitszentrum in Neuruppin bzw. in Sana Sommerfeld behandelt sowie primär an folgenden Kliniken von Neurochirurgen operiert:

- 83 Patienten an der Charité,
- 8 Patienten an der Universitätsklinik Erlangen,
- 6 Patienten am Sana-Klinikum Sommerfeld,
- 5 Patienten am Vivantes Auguste-Viktoria-Klinikum.

Die Patientendaten wurden in einer prospektiv geführten, pseudonymisierten Datenbank zur Qualitätskontrolle verzeichnet. Die Diagnose einer zervikalen Myelopathie wurde klinisch gestellt und durch ein bildmorphologisches Korrelat lediglich gesichert. Die Patienten litten u.a. an Missempfindungen der Extremitäten, feinmotorischen Störungen der Hände und Gangstörungen sowie teils Paresen. Diagnostische Minimalkriterien zur Diagnosestellung gab es nicht. Der klinische Zustand der Patienten variierte in seinem Schweregrad teils erheblich. Bei allen Patienten waren konservative Therapieversuche refraktär geblieben. Eine respektive Spinalkanalstenose wurde im MRT oder einer Myelographie in allen Fällen bestätigt. Die Operationen wurden durch Fachärzte für Neurochirurgie durchgeführt. Analysiert wurden nur Daten von Patienten, die mindestens zur routinemäßigen 1-Jahres-Kontrolle erschienen waren.

Ein Votum der zuständigen Ethikkommission war nicht notwendig, da es sich um eine retrospektive Datenanalyse von Daten der klinischen Routine handelt, die zum Zwecke der Qualitätskontrolle erhoben worden waren. Die Ethikkommission der Berliner Ärztekammer bestätigte schriftlich, dass für diese Analyse kein Votum der Ethikkommission notwendig sei, sofern die Anonymität der analysierten Patienten adäquat gesichert sei.

### Operation

Die Operation wurde durchgeführt, um bei therapierefraktärer ZSM das Halsrückenmark zu entlasten und die zervikale Lordose zu erhalten oder wiederherzustellen. Alle Patienten erhielten eine Dekompression und Instrumentalisierung der zervikalen Wirbelsäulenanteile. Die Laminektomie mit Fusion war das einzige Verfahren mit dorsalem Zugangsweg.

## 2. Material und Methoden

---

Die Operationen der Halswirbelsäule von anterior erfolgten auf dem Rücken unter Verwendung eines OP-Mikroskopes. Beim dorsalen Zugang wurde in Bauchlage ohne Mikroskop dekomprimiert (Laminektomie). Keine Operation wurde in sitzender Position durchgeführt. Ein Neuromonitoring wurde in keinem Fall verwendet. Eine spezifische Lagerungsprobe wurde nicht durchgeführt. Die Patienten wurden unter Vermeidung der Reklination fiber-optisch intubiert.

Unterschiedliche Faktoren bestimmten, ob ein vorderer oder hinterer Zugangsweg (anterior vs. posterior) sowie eine mono- oder mehrsegmentale Operation (Single- vs. Multi-Level) durchgeführt wurde. Zu diesen Faktoren zählten das Ausmaß und die Ausrichtung der Rückenmarkskompression, das Ausmaß der Signalalteration des Rückenmarks im MRT sowie das segmentale und zervikale Alignment.

Im Allgemeinen wurden Pathologien, die von vorn ausgingen von vorn operiert, Pathologien, die von hinten ausgingen, von hinten operiert. Bei Kyphosen wurde eher von anterior operiert. Waren mehr als 3 Segmente betroffen, hat man bei erhaltener Lordose eher von dorsal langstreckig dekomprimiert und instrumentiert. Da es sich aber um keine prospektive Studie mit definierten Vorgehensweisen handelt, können hierzu keine klaren Angaben gemacht werden. Letztlich hing das genaue operative Vorgehen vom Ermessen des Operateurs ab.

Folgende Operationen wurden in entsprechender Zahl durchgeführt:

- Single-Level anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (ACDF Single-Level) (n=24)
- Multi-Level anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (ACDF Multi-Level) (n=17)
- Anteriore zervikale Korpektomie und Fusion (ACCF) (n=36)
- Laminektomie und Fusion mit Instrumentation der Massae laterales (LF) (n=25)

Bei den Operationen von dorsal wurden Schrauben-Stab-Systeme aus Titan verwendet. Bei den anterioren Zugängen wurden folgende Materialien verwendet:

- Titan für Wirbelkörperersatz und Cages in 50 Fällen
- Peek-Cages 15 in Fällen
- Autologer Knochenspan in 6 Fällen
- Polymethylmethacrylat (PMMA) in 6 Fällen

Das postoperative Therapiekonzept war für das Patientenkollektiv gleich. Nach körperlicher Schonung für 6-12 Wochen begann im Anschluss eine physiotherapeutische Beübung. Eine zervikale Orthese wurde nicht angelegt.

## 2. Material und Methoden

---

### Klinische und radiologische Evaluation

Im Rahmen der Qualitätskontrolle wurde bei allen Patienten, die eine Operation der Halswirbelsäule bei ZSM erhalten sollten, präoperativ der klinische und radiologische Status bestimmt. Direkt postoperativ erfolgte eine radiologische Feststellung des Operationsergebnisses inklusive des sagittalen Alignements. Das Follow-Up fand während der ambulanten Sprechstunde im Verlauf statt, hier wurden in Nativröntgenbildern erneut das zervikale Alignement sowie der postoperative klinische Status erfasst. Soweit die Patienten dies wahrnahmen, wurde das zervikale Alignement auch in weiteren Follow-Ups vermessen.

Zur Erfassung des neurologischen Status der Patienten wurde der mJOAS verwendet: es können maximal 17 Punkte (Normalstatus) bis zu 0 Punkte (völliger Funktionsverlust) erreicht werden (Tabelle 1). Weiterhin erfolgte die klinische Bemessung des Therapieerfolges über den Vergleich der Schmerzangabe auf der visuellen Analogskala (VAS) für Nackenschmerzen vor und nach dem Eingriff mit 0 gleich keinen Schmerzen und 10 gleich dem Schmerzmaximum [144]. Die Patienten bewerteten anhand der Odom's Kriterien [145] das Operationsergebnis mit „excellent“, „good“, „fair“ oder „poor“. Die Operation wurde bei Angabe von „excellent“ oder „good“ als Erfolg gewertet.

Zur radiologischen Untersuchung wurden Nativröntgenaufnahmen der HWS in 2 Ebenen sowie Funktionsaufnahmen herangezogen. An den seitlichen Röntgenaufnahmen wurde der zervikale Winkel der Wirbelsäule zwischen C2 und C7 nach Cobb (Abbildung 1) ermittelt, bei dem der Winkel zwischen der Parallele der Grundplatte von C2 und der Grundplatte von C7 gemessen wird [146]. Positive Werte zeigten ein lordotisches, negative Werte ein kyphotisches Alignement.

Die Messungen wurden auf digitalen Röntgenbildern vorgenommen und von zwei unabhängigen Untersuchern durchgeführt. Die integrierte Software gab die Winkel bis zu einer Genauigkeit von respektive 0,1 Grad an (Impax FM, AGFA Healthcare, Mortsel, Belgien). Der C2/7 Winkel wurde präoperativ bei allen untersuchten Patientendaten bestimmt. Er lag direkt postoperativ für 86 Patienten, nach 12 Monaten für 67 Patienten und nach 24 Monaten für 52 Patienten vor.

Zur Vergleichbarkeit der Daten bildeten wir mit C2/7 last, dem jeweils im letzten postoperativen Follow-Up gemessenen Winkel, den finalen Lordosewinkel Omega.

Zur Beurteilung des klinischen Outcomes hinsichtlich des finalen Lordosewinkels wurde das Patientenkollektiv in vier finale Lordosegruppen (= Omegagruppen) unterteilt. In die Omegagruppe

## 2. Material und Methoden

---

I gingen Patienten mit einer kleinen finalen Lordose von  $0-7^\circ$  ( $n=26$ ) und in Omegagruppe II Patienten mit einer ebenfalls geringen finalen Lordose von  $8-14^\circ$  ( $n=24$ ) ein. Patienten der Omegagruppen III ( $15-21^\circ$ ) und IV ( $\geq 22^\circ$ ) zeigten eine Halslordose, welche den physiologischen Normwerten entsprach.

Um untersuchen zu können, inwiefern das Ausmaß der Korrektur (= Deltawinkel) einen Einfluss auf das klinische Outcome der Patienten hat, erfolgte eine zweite Gruppenbildung. Aus der Differenz des finalen Omegawinkels zum präoperativem C2/7 Winkel wurde der Korrekturwinkel Delta gebildet. Das Patientenkollektiv wurde in Deltagruppe I mit einem Korrekturverlust ( $\text{Delta} < 0^\circ$ ), Deltagruppe II mit einer leichten Korrektur ( $\text{Delta} = 0-7^\circ$ ) sowie Deltagruppe III mit einer starken Korrektur ( $\text{Delta} \geq 8^\circ$ ) unterteilt.

### Statistische Analyse

Die statistische Analyse erfolgte mittels IBM SPSS Statistics 24 und beinhaltete den t-Test, Mann-Whitney-U-Test, Varianzanalyse, Kruskal Wallis' ANOVA, Wilcoxon Test, Shapiro-Wilk-Test und Kolmogorov-Smirnov Test. Ein Ergebnis mit einem p-Wert  $< 0.05$  wurde als signifikant gewertet.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1 Gesamtkollektiv

Das untersuchte Gesamtkollektiv bestand aus 102 Patienten, die aufgrund ihrer therapierefraktären ZSM eine Operation erhalten haben. Insgesamt wurden 209 Segmente bei 102 Patienten operiert.

#### Demografische Daten

##### Altersverteilung

Das Alter zum Zeitpunkt der Operation betrug bei der untersuchten Patientenkohorte im Mittel  $62,61 \pm 9,18$  Jahre, die Altersspanne reichte von 36 bis 85 Jahren. Das Alter im Gesamtkollektiv erschien nach grafischer und interferenzstatistischer Betrachtung normalverteilt (Abbildung 2).

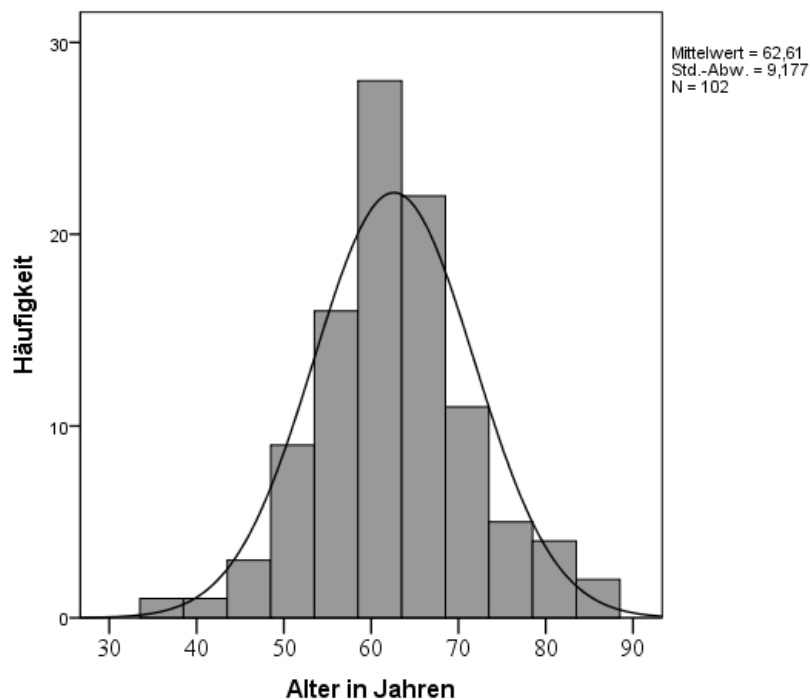


Abbildung 2: Altersverteilung im Gesamtkollektiv

##### Geschlechtsverteilung im Patientenkollektiv

In der untersuchten Patientenkohorte waren 58 Personen männlich (57%) und 44 Personen weiblich (43%), nach dem  $\chi^2$ -Test bestand kein signifikanter Unterschied in der Geschlechtsverteilung ( $p=0,166$ ).



### 3. Ergebnisse

#### Follow-Up

Die Zeit bis zum Follow-Up besaß im Patientenkollektiv eine sehr große Spannweite: die mittlere Follow-Up Zeit betrug  $85,48 \pm 56,05$  Monate nach der Operation mit einem Minimum von 11 Monaten und einem Maximum von 139 Monaten.

#### Zugangsweg

In den meisten Fällen (76%) wurde ein vorderer Zugangsweg bei der Operation gewählt, was einen signifikanten Unterschied darstellte ( $p < 0,001$ ). Wie antizipiert, unterschied sich der Zugangsweg abhängig vom präoperativem C2/7 Winkel ( $p = 0,034$ ). Es fand sich kein Unterschied zwischen vorderem und hinterem Zugang beim finalen Lordosewinkel ( $p = 0,163$ ), wie im nachfolgenden Boxplot veranschaulicht (Abbildung 3). Allerdings stellte sich ein deutlicher Unterschied im Ausmaß der Korrektur zwischen vorderem und hinterem Zugang heraus ( $p < 0,001$ ). Patienten gewannen über den vorderen Zugang durchschnittlich  $6,01 \pm 13,70$  Grad zur Lordose und verloren über den hinteren Zugang  $-4,46 \pm 7,25$  Grad. Die Patientengruppen des vorderen und hinteren Zugangs unterschieden sich nicht hinsichtlich mJOAS, VAS oder Odom's Score oder dem Alter.

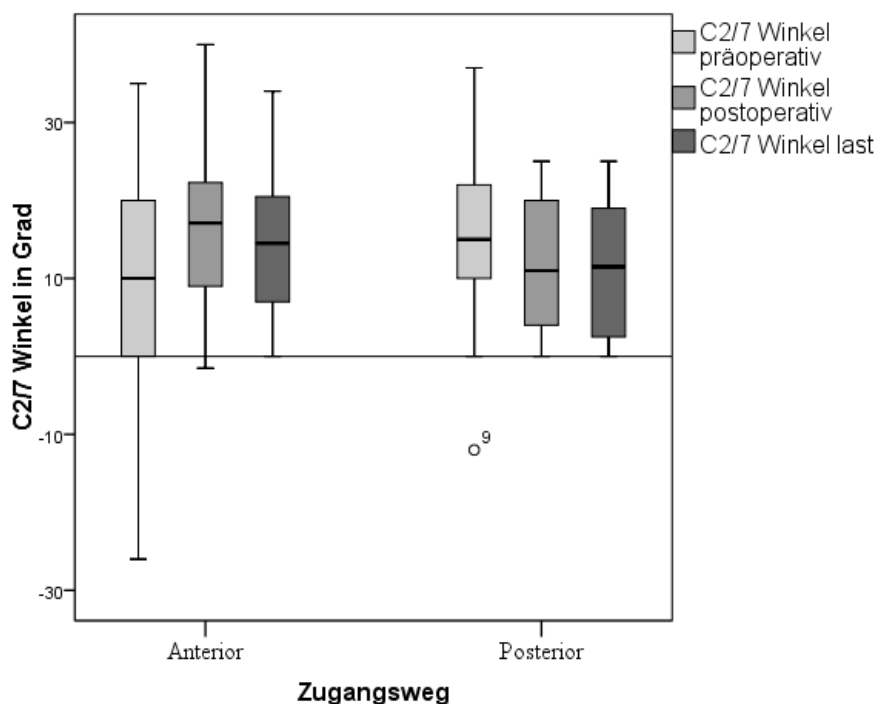


Abbildung 3: C2/7 Winkel nach Zugangsweg im Gesamtkollektiv

### 3. Ergebnisse

#### OP-Verfahren

Das folgende Diagramm gibt eine Übersicht über die gewählten OP-Verfahren im Gesamtkollektiv (Abbildung 4).

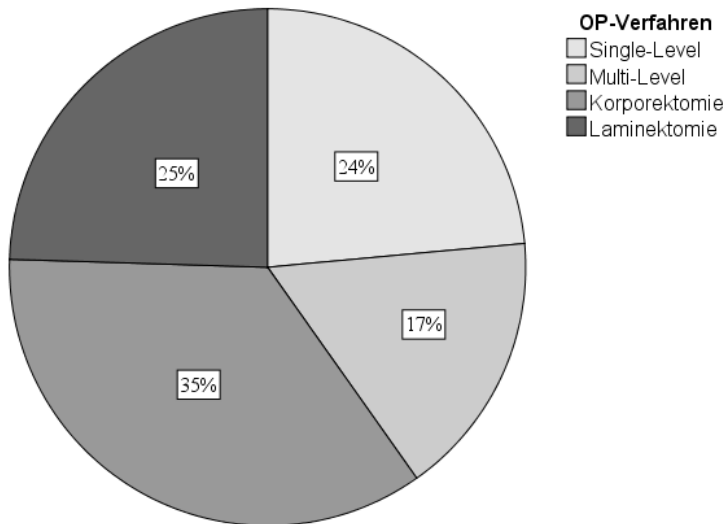


Abbildung 4: Verteilung der OP-Verfahren im Gesamtkollektiv (Bemerkung: Patienten, die eine Laminektomie erhielten wurden allesamt auch mit einem Schrauben-Stab-System stabilisiert)

Die Zeit bis zum Follow-Up ( $p < 0,001$ ) unterschied sich in den OP-Gruppen (Abbildung 5).

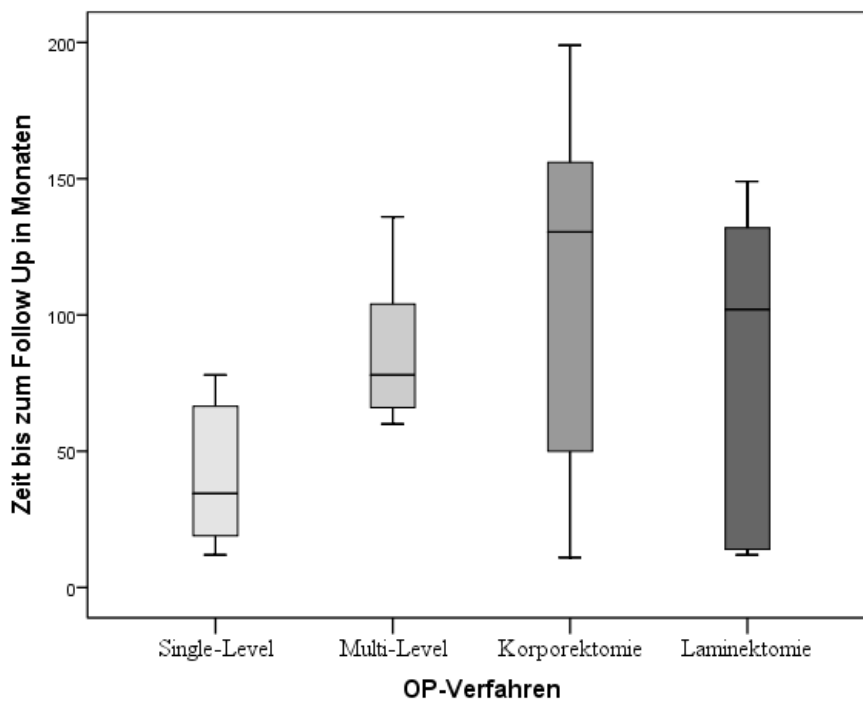


Abbildung 5: Zeit bis zum Follow-Up nach OP-Verfahren im Gesamtkollektiv

### 3. Ergebnisse

Die Operationsmethoden waren wie erwartet ungleich verteilt ( $p < 0,001$ ) und unterschieden sich in ihren prä- und postoperativen C2/7 Winkeln ( $p = 0,045$  und  $p = 0,024$ ) signifikant, jedoch nicht mehr im finalen Lordosewinkel ( $p = 0,471$ ) (Abbildung 6).

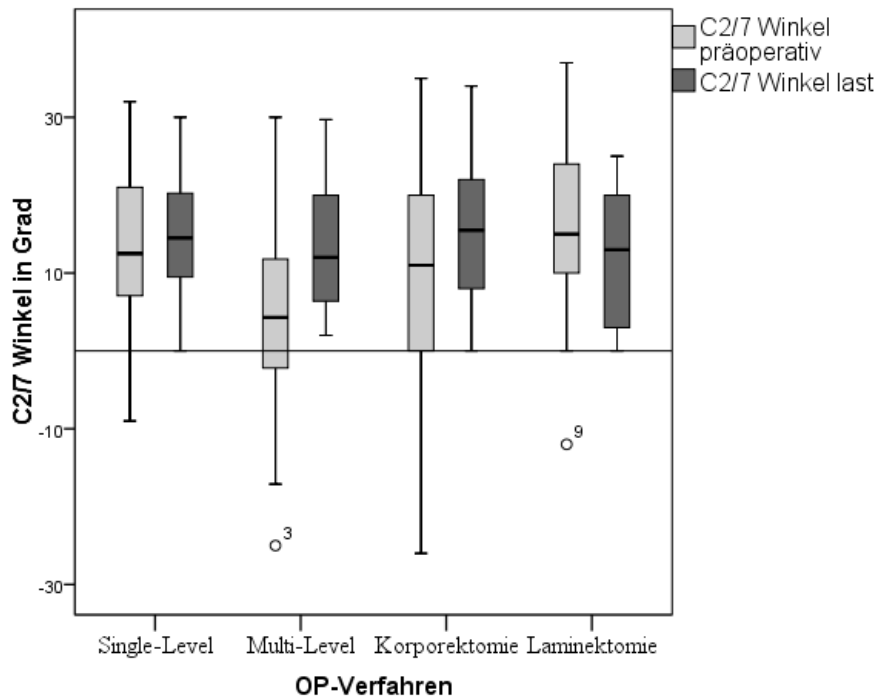


Abbildung 6: C2/7 Winkel nach OP-Verfahren im Gesamtkollektiv

Im Korrekturwinkel unterschieden sich die Operationsarten signifikant ( $p < 0,001$ ): die Single-Level-Operation erwirkte meist eine Korrektur um wenige Grad, die Multi-Level-Operation einen Lordosegewinn, ebenso wie die Korporektomie - jedoch mit der größten positiven und negativen Spannweite. Die Laminektomie führte oft zu einem Korrekturverlust (Abbildung 7).

### 3. Ergebnisse

---

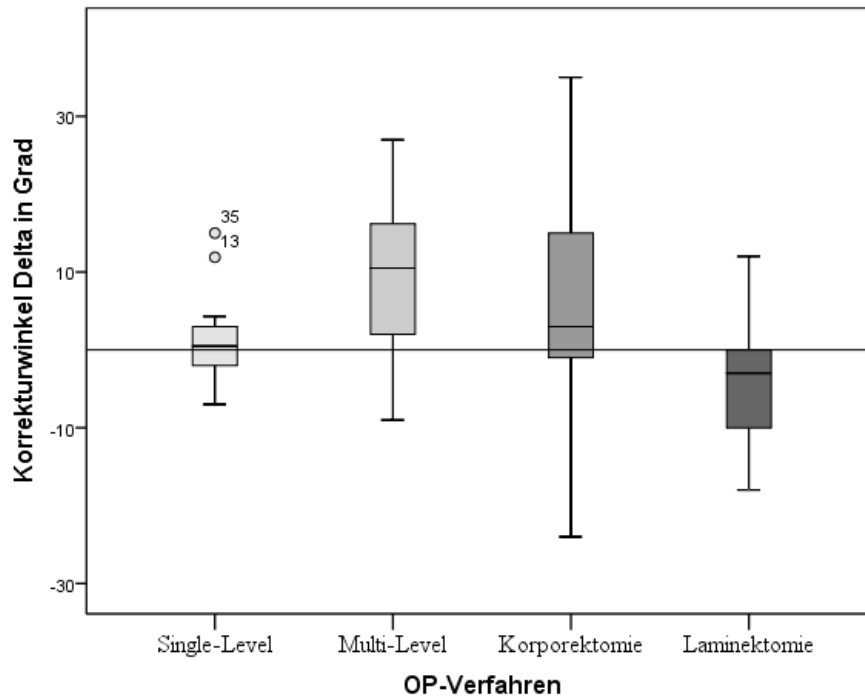


Abbildung 7: Deltawinkel nach Operationsverfahren im Gesamtkollektiv

Hinsichtlich des mJOAS gab es weder prä- noch postoperativ oder in der Besserung signifikante Unterschiede zwischen den Operationsverfahren ( $p=0,592$ ;  $p=0,959$ ;  $p=0,150$ ). In der Angabe präoperativer Schmerzen unterschieden sich die OP-Gruppen signifikant ( $p=0,033$ ), mit geringerer präoperativer Schmerzangabe bei Single-Level Operation (Abbildung 8). Postoperativ oder im Ausmaß der Schmerzreduktion unterschieden sich die Gruppen nicht ( $p=0,413$ ;  $p=0,444$ ).

### 3. Ergebnisse

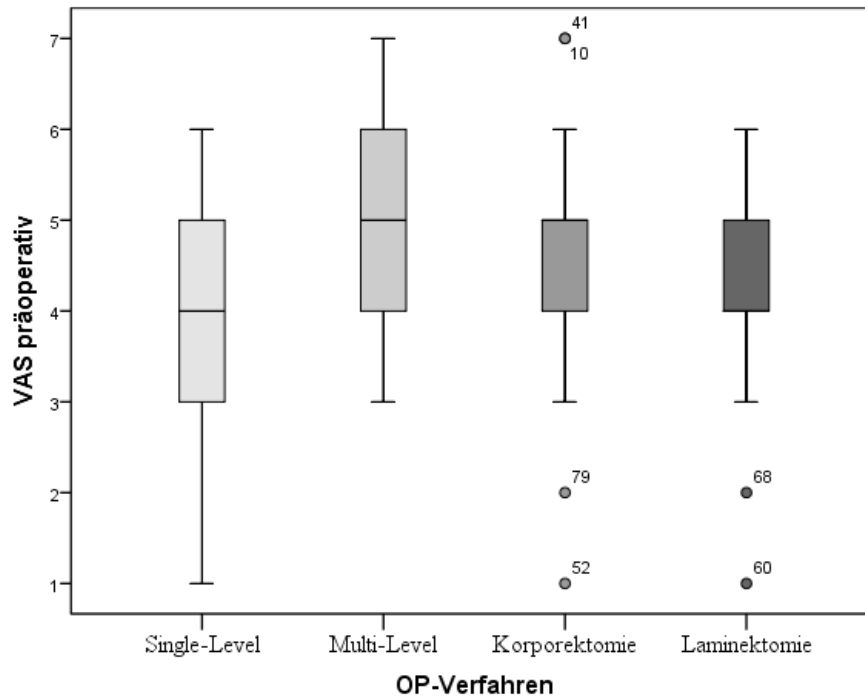


Abbildung 8: Präoperative Schmerzen nach Operationsmethode im Gesamtkollektiv

Mit 41% beurteilten überdurchschnittlich viele Patienten in der Multi-Level Gruppe das Operationsergebnis lediglich mit „Fair“, sodass hier nur 53% der Patienten die Therapie als Erfolg werteten im Vergleich zu 71% der Patienten in der Single-Level, 80% der in der Korporektomie und 84% der Laminektomie-Gruppe (Abbildung 9).

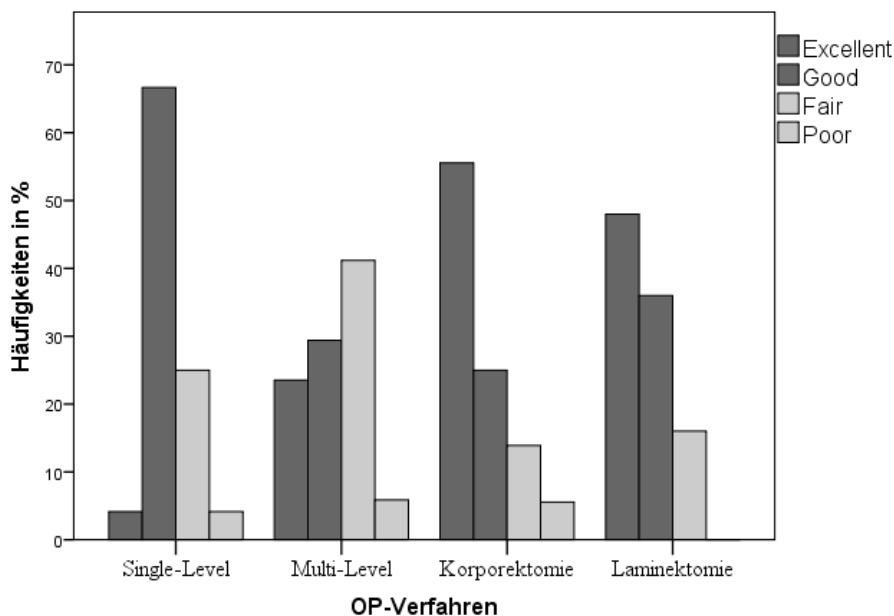


Abbildung 9: Odom's Score nach OP-Verfahren im Gesamtkollektiv

### 3. Ergebnisse

---

#### Komplikationen und Re-Operationen

Bei den 102 operierten Patienten wurden folgende Komplikationen registriert:

- Epidurale Nachblutung nach Laminektomie und Fixateur mit erfolgter Revision (n=2).
- Pseudarthrose und zusätzliche Fixation von dorsal nach Wirbelkörperersatz in 4 Fällen.
- Schraubenlockerung ohne operative Konsequenz nach Wirbelkörperersatz in 1 Fall.
- Schraubenlockerung und zusätzliche dorsale Fixation nach multisegmentaler ACDF in 1 Fall.

#### Radiologische Daten

Die nachfolgende Tabelle listet die C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv auf (Tabelle 3). Präoperativ fand sich ein Minimum von -50 und ein Maximum von 37 Grad. Bei 18 Patienten bestand eine zervikale Kyphose. In der letzten postoperativen Untersuchung (n=102) reichte die Spannweite des zervikalen Alignements von 0 bis 34°, damit lag bei keinem Patienten mehr eine kyphotische Fehlstellung vor (Abbildung 10).

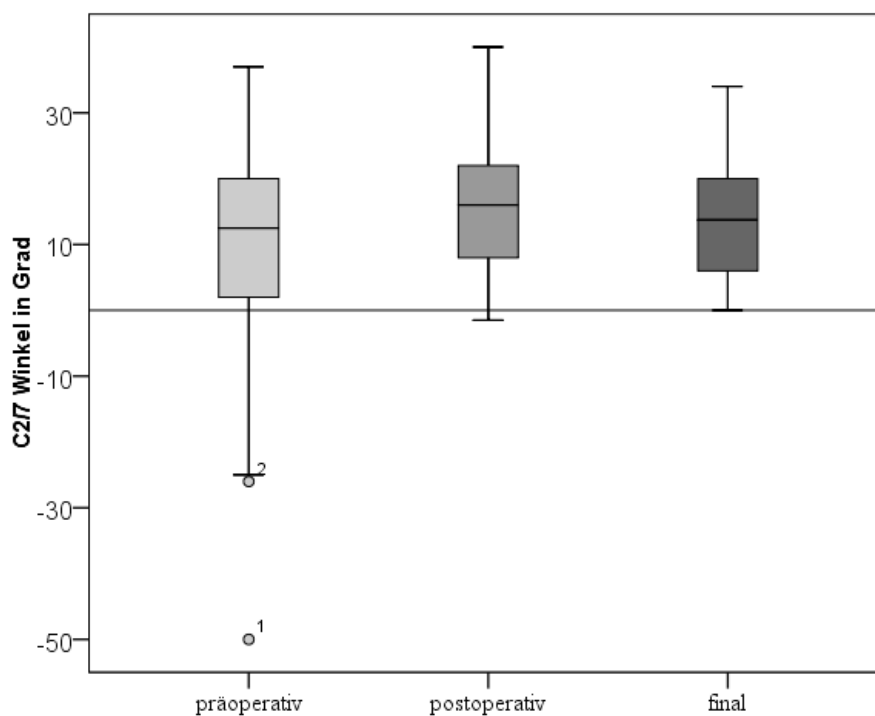


Abbildung 10: C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv

Im Vergleich von direkt postoperativ zum letztmalig gemessenen C2/7 Winkel kam es zu einem Korrekturverlust von  $1,94 \pm 3,61$  Grad (Tabelle 3).

### 3. Ergebnisse

	präoperativ	postoperativ	final	Deltawinkel	Korrekturdifferenz post- zu prä-OP	Korrekturdifferenz final zu post-OP
n gültig	102	86	102	102	86	86
n fehlend	0	16	0	0	16	16
Mittelwert	<b>10,45°</b>	<b>15,32°</b>	<b>13,89°</b>	<b>3,45°</b>	<b>5,30°</b>	<b>-1,94°</b>
STABW	14,92°	9,07°	8,51°	13,20°	14,12°	3,61°

*Tabelle 3: C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv*

Durch die Operation wurde der C2/7 Winkel signifikant verändert von prä- zu postoperativ ( $p=0,002$ ) als auch präoperativ zu final ( $p=0,035$ ). Im Vergleich von postoperativem zu finalem C2/7 Winkel kam es nach dem Wilcoxon-Test zu einem signifikanten Korrekturverlust ( $p<0,001$ ).

Teilte man den präoperativen C2/7 Winkel in vier Gruppen ein mit:

- Gruppe I ( $<0^\circ$ ): präoperative Kyphose ( $n=21$ ),
- Gruppe II ( $0-10^\circ$ ): präoperative starke Hypolordose ( $n=24$ ),
- Gruppe III ( $10-20^\circ$ ): präoperative schwache Hypolordose oder Normalstellung ( $n=35$ ) und
- Gruppe IV ( $>20^\circ$ ): präoperative Normal- bis Hyperlordose ( $n=22$ ),

so konnte man die nachstehenden Beobachtungen machen:

Die Zeit bis zum Follow-Up unterschied sich zwischen den Gruppen signifikant ( $p=0,022$ ), wobei Patienten in Gruppe I durchschnittlich die längste Zeit bis zum letzten Follow-Up aufwiesen. Die Zeitspanne war jedoch auch in den anderen Gruppen breit gefächert (Abbildung 11).

### 3. Ergebnisse

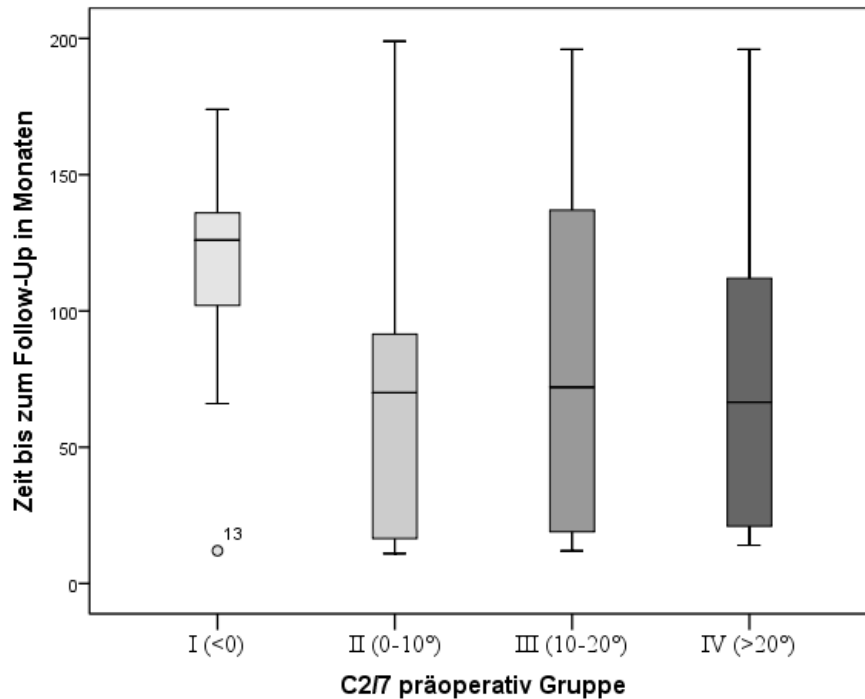


Abbildung 11: Zeit bis zum Follow-Up nach präoperativem C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv

Die Geschlechtsverteilung in den Gruppen unterschied sich signifikant ( $p=0,039$ ) und sah mit 71% prozentual deutlich mehr Männer in Gruppe I (präoperative Kyphose) als im Gesamtkollektiv. Dafür fanden sich in Gruppe II mit 33% deutlich weniger Männer (Abbildung 12).

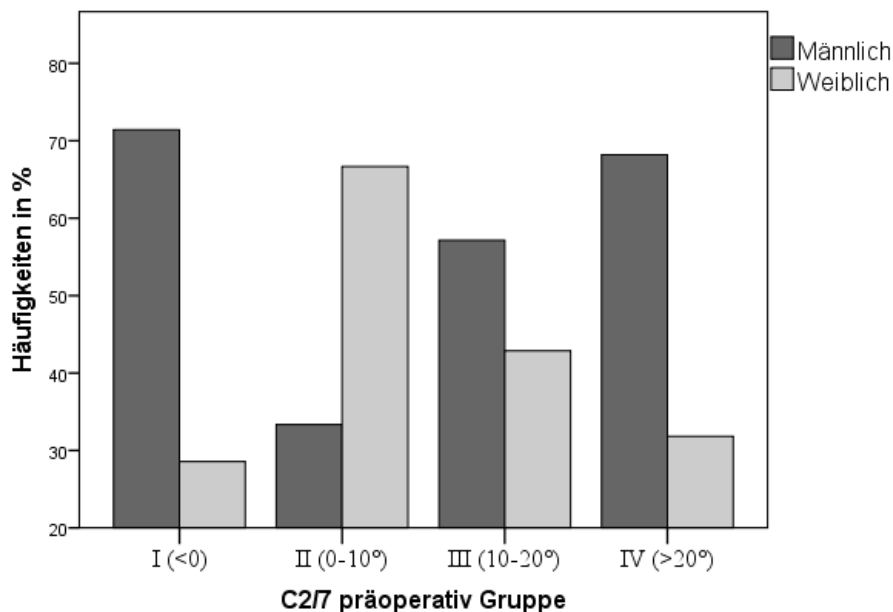


Abbildung 12: Geschlechtsverteilung nach präoperativem C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv



### 3. Ergebnisse

---

Hinsichtlich des präoperativen C2/7 Winkels gab es einen signifikanten Unterschied bei der Angabe präoperativer Schmerzen ( $p=0,028$ ), die in Gruppe III geringer ausgeprägt waren (Abbildung 13). Postoperativ oder im Ausmaß der Schmerzänderung unterschieden sich die Gruppen nicht. Sie unterschieden sich auch nicht hinsichtlich ihrer mJOAS oder Odom's Scores.

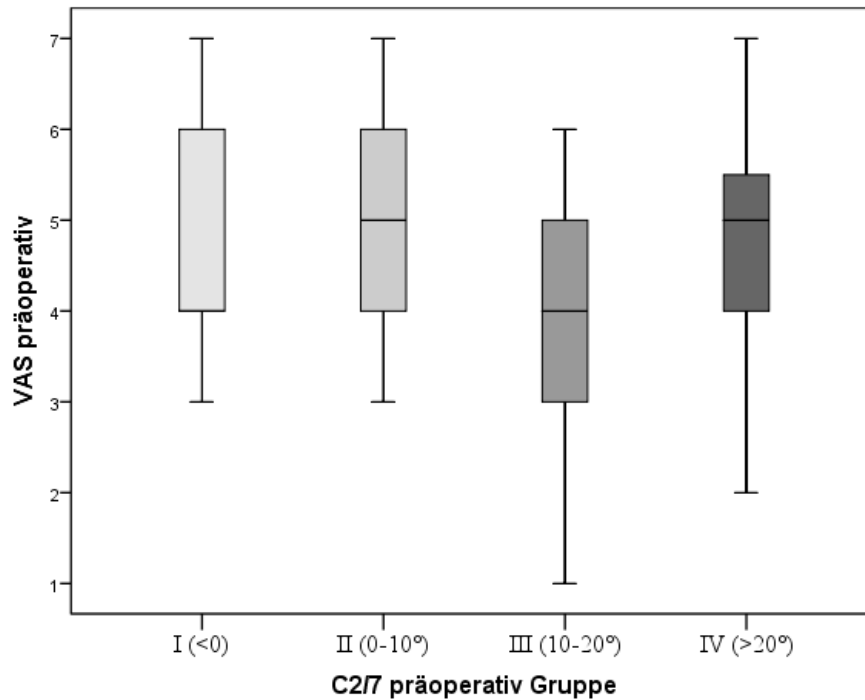


Abbildung 13: Präoperative Schmerzen nach präoperativem C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv

#### Klinische Daten

##### mJOAS

Der neurologische Status der Patienten wurde durch die Operation signifikant verbessert, dies zeigte der Wilcoxon-Test mit  $p<0.000$ . Präoperativ erreichten die Patienten im Durchschnitt  $12,38 \pm 2,55$  Punkte im mJOAS, postoperativ  $14,47 \pm 2,37$  Punkte was einer Verbesserung im Mittel um  $2,03 \pm 1,32$  Punkte entspricht.

Der präoperative mJOAS wurde in vier mJOAS Gruppen unterteilt mit Gruppe I  $<10$  ( $n=26$ ), II  $10-12$  ( $n=20$ ), III  $12-14$  ( $n=29$ ) und IV  $>14$  ( $n=23$ ). In diesen Gruppen wurde der postoperative mJOAS betrachtet. Im Boxplot ist ersichtlich, dass Patienten mit einem anfänglich niedrigen mJOAS (Gruppe I) auch postoperativ eine deutliche Verbesserung aufweisen konnten. Insgesamt zeigt sich aber, dass je höher der präoperative mJOAS war, desto höhere mJOAS-Werte wurden auch postoperativ erreicht (Abbildung 14).

### 3. Ergebnisse

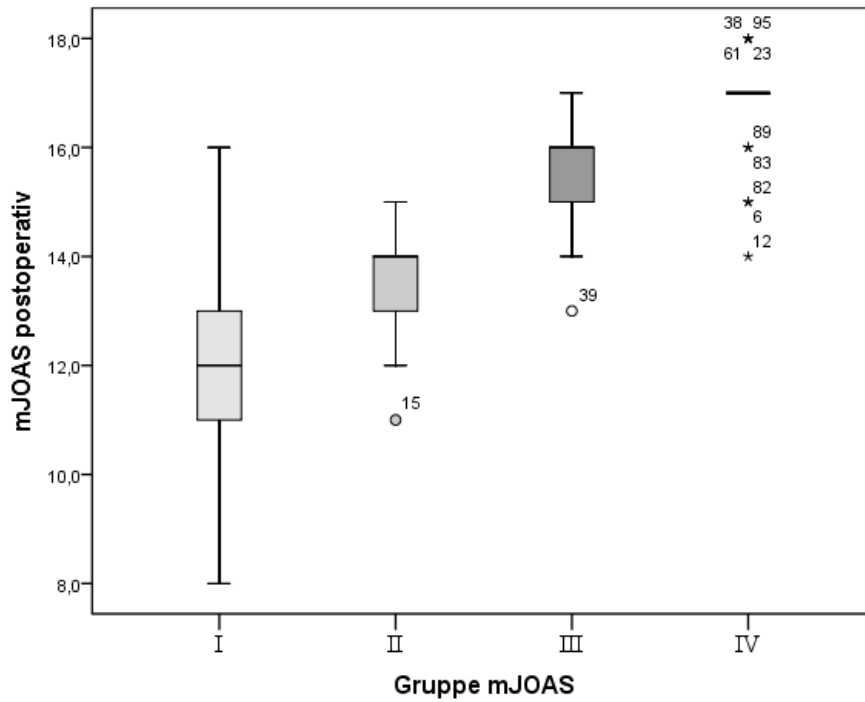


Abbildung 14: Verhältnis von mJOAS prä- und postoperativ im Gesamtkollektiv

In der nachfolgenden Abbildung ist ein etwa linearer Zusammenhang zwischen präoperativem und postoperativem mJOAS ersichtlich (Abbildung 15).

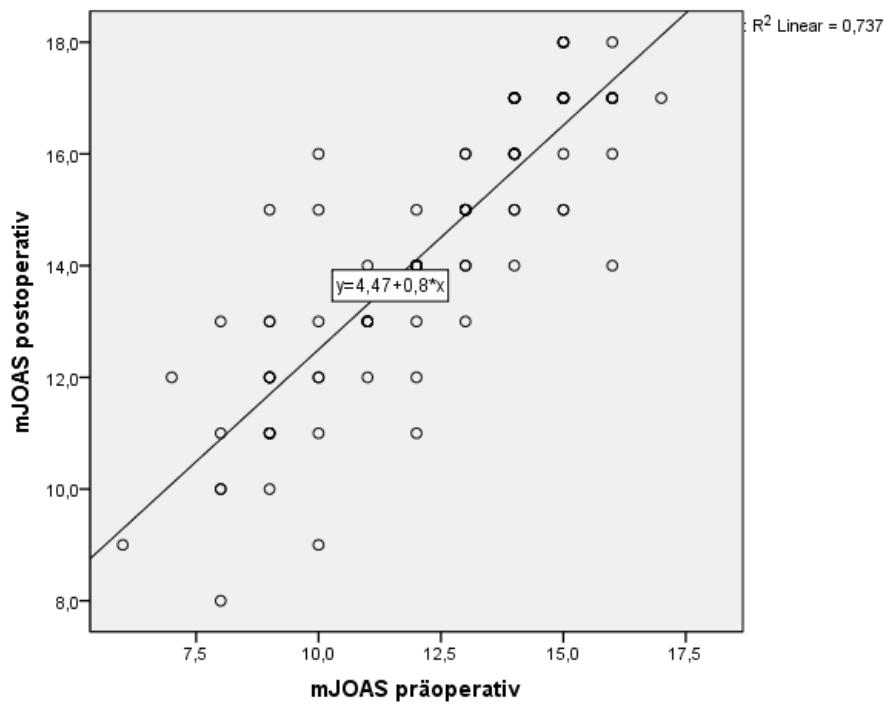


Abbildung 15: Zusammenhang zwischen prä- und postoperativem mJOAS im Gesamtkollektiv

### 3. Ergebnisse

#### VAS

Auch hier ließ sich durch die Operation eine signifikante Minderung der Schmerzen beobachten mit  $p < 0.000$ . Auf der VAS für Nackenschmerzen gaben die Patienten im Durchschnitt  $4,45 \pm 1,39$  Punkte an. Postoperativ konnten die Schmerzen im Schnitt um  $1,14 \pm 1,70$  Punkte reduziert werden und lagen bei  $3,34 \pm 1,63$  Punkten. Es ergab sich kein linearer Zusammenhang zwischen prä- und postoperativen Nackenschmerzen.

Teilte man die präoperativen Schmerzen in vier VAS Gruppen ein mit Gruppe I  $< 4$  ( $n=20$ ), II von 4-5 ( $n=29$ ), III ab 5-6 ( $n=22$ ) und IV ab 6 ( $n=22$ ), so konnte man signifikante Unterschiede für die Verteilung von mJOAS präoperativ ( $p=0,039$ ) und in der Veränderung des neurologischen Status finden ( $p=0,006$ ). Im finalen mJOAS unterschieden sich die Gruppen nicht mehr (Abbildung 16).

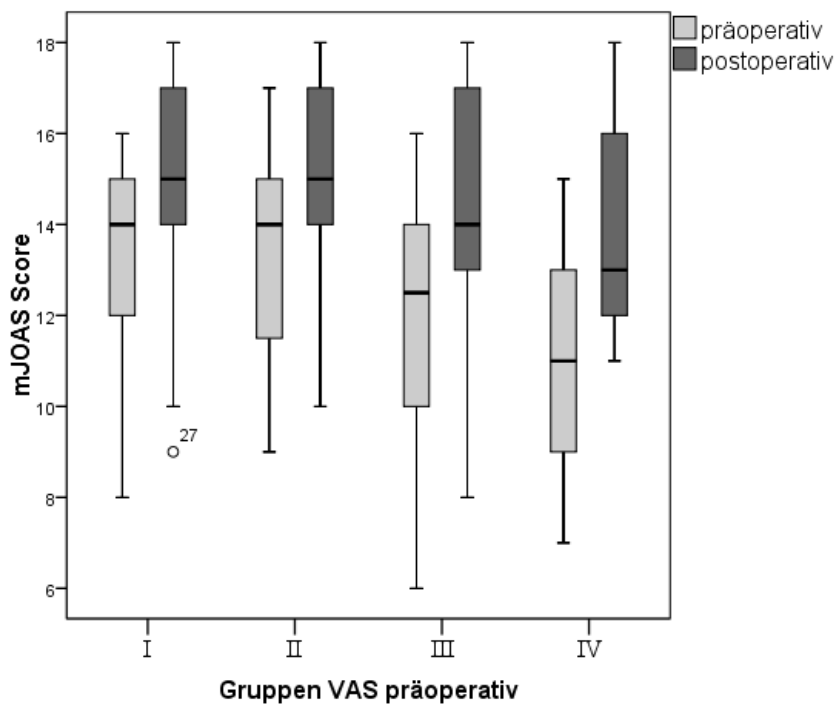


Abbildung 16: neurologischer Status prä- und postoperativ nach präoperativer Schmerzangabe im Gesamtkollektiv

#### Odoms

Die Patienten bewerteten die Operation in 75% der Fälle als Erfolg (Abbildung 17). Die Bewertung des Operationserfolges unterschied sich signifikant im Patientenkollektiv ( $p < 0,001$ ).

### 3. Ergebnisse

---

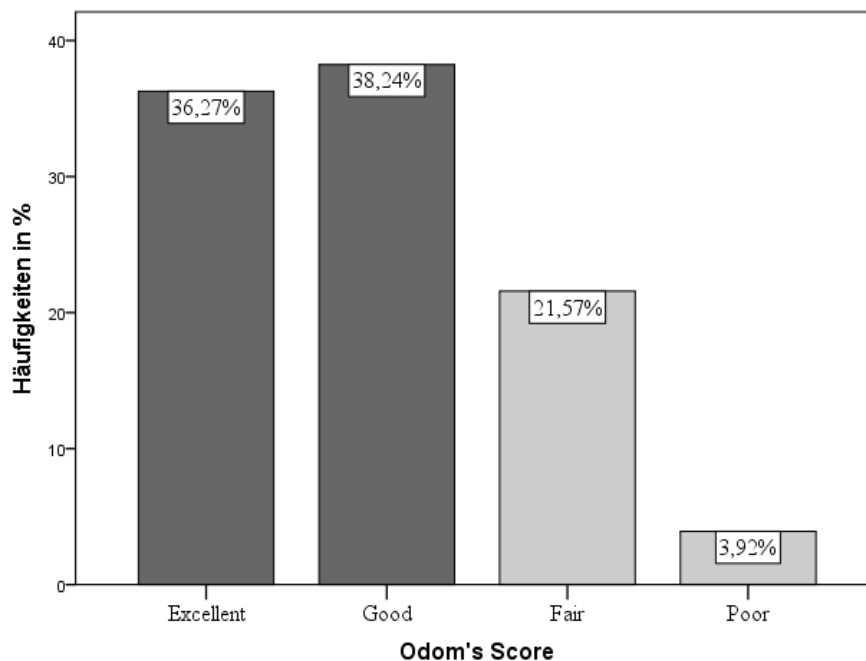


Abbildung 17: Odom's Score im Gesamtkollektiv

#### Geschlechtsspezifische Unterschiede

Männer waren im Mittel zum Zeitpunkt der Operation  $61,69 \pm 8,37$  und Frauen  $63,82 \pm 10,11$  Jahre alt, was keinen signifikanten Unterschied darstellte ( $p=0,248$ ). Bei Männern wurde signifikant häufiger der hintere Zugangsweg gewählt ( $p=0,026$ ).

Männer und Frauen unterschieden sich insgesamt nicht signifikant hinsichtlich ihres prä- oder postoperativ gemessenen C2/7 Winkels ( $p=0,633$ ;  $p=0,119$ ) oder dem finalen C2/7 Winkels ( $p=0,119$ ). Frauen wurden jedoch durchschnittlich stärker korrigiert als Männer ( $p=0,046$ ). Der postoperative Korrekturverlust war bei beiden Gruppen gleich ausgeprägt ( $p=0,249$ ).

Männer und Frauen unterschieden sich nicht signifikant in ihrem prä- oder postoperativem neurologischen Status. Auch die postoperative neurologische Funktionserholung barg keine statistisch relevanten Unterschiede ( $p=0,279$ ,  $p=0,608$ ,  $p=0,417$ ).

Die Geschlechter unterschieden sich nicht signifikant in der Angabe von Nackenschmerzen prä- und postoperativ ( $p=0,632$ ,  $p=0,744$ ) oder in dem Ausmaß der Schmerzänderung ( $p=0,400$ ). Die Bewertung des Operationserfolges unterschied sich nicht signifikant ( $p=0,243$ ).

#### 3.2 Finale Lordose (Omegagruppen)

Um zu beurteilen, ob der finale Halslordosewinkel, bezeichnet als Omegawinkel, einen Einfluss auf das klinische Outcome des untersuchten Patientenkollektivs hatte, wurden die 102 Patienten

### 3. Ergebnisse

in vier Gruppen (Omegagruppen) nach ihrem letzten postoperativ gemessenen C2/7 Winkel unterteilt. Die Einteilung erfolgte wie in der Tabelle abgebildet (Tabelle 4). Omegagruppe I bezeichnet eine Streckstellung oder starke Hypolordose, Omegagruppe II eine milde Hypolordose, Omegagruppe III eine physiologische finale Lordose und Omegagruppe IV eine physiologische bis Hyperlordose.

			Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Prozente
Omegagruppe	I	0-7°	26	25,5	25,5	25,5
	II	8-14°	24	23,5	23,5	49,0
	III	15-21°	32	31,4	31,4	80,4
	IV	≥ 22°	20	19,6	19,6	100,0
	Gesamt		102	100,0	100,0	

*Tabelle 4: Einteilung der Omegagruppen*

Die Anzahl der Patienten unterschied sich nach dem  $\chi^2$ -Test in den Omegagruppen nicht signifikant ( $p=0,401$ ). Die Omegagruppen wurden bezüglich demografischer, radiologischer und klinischer Daten miteinander verglichen.

#### Demografische Daten

##### *Altersverteilung*

Das Durchschnittsalter lag in Omegagruppe I bei  $63,54 \pm 8,27$  Jahren (Min 43, Max 78), Omegagruppe II bei  $63,08 \pm 10,31$  Jahren (Min 44, Max 85), in Omegagruppe III bei  $62,72 \pm 9,30$  Jahren (Min 36, Max 84) und in Omegagruppe IV bei  $60,65 \pm 9,08$  Jahren (Min 45, Max 81). Die Omegagruppen unterschieden sich hinsichtlich ihres Durchschnittsalters nicht signifikant ( $p=0,509$ ).

##### *Geschlechtsverteilung*

Die Geschlechtsverteilung ist in der unten beigefügten Tabelle abgebildet (Abbildung 18), sie unterschied sich signifikant ( $p=0,019$ ). In Omegagruppe I mit starker finaler Hypolordose dominiert deutlich der männliche Anteil, wohingegen in der nachfolgenden Omegagruppe II der weibliche Anteil stärker ausgeprägt ist.

### 3. Ergebnisse

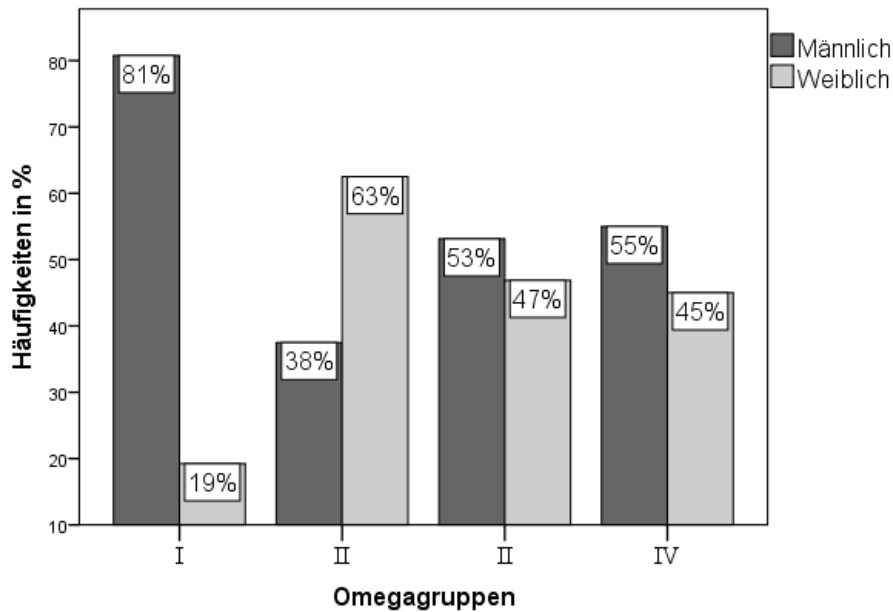


Abbildung 18: Geschlechtsverteilung in den Omegagruppen

#### Follow Up

Im Mittel erfolgte das letzte Follow Up in Omegagruppe I nach  $104,00 \pm 48,97$  Monaten, in Omegagruppe II nach  $66,13 \pm 56,70$  Monaten, in Omegagruppe III nach  $70,72 \pm 49,56$  Monaten und in Omegagruppe IV nach  $108,25 \pm 61,56$  Monaten ( $p=0,009$ ), (Abbildung 19).

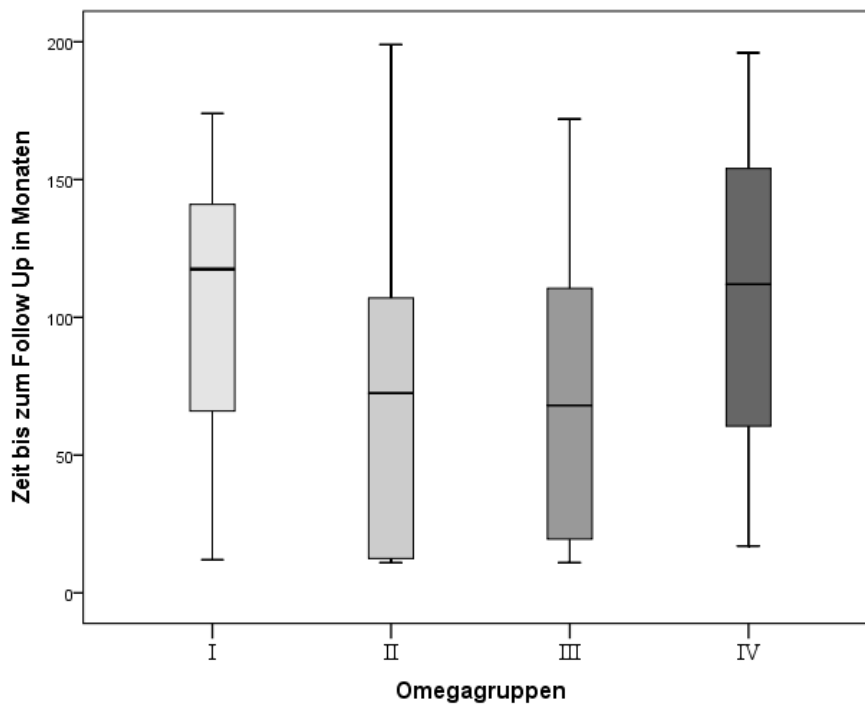


Abbildung 19: Zeit bis zum Follow-Up in den Omegagruppen

### 3. Ergebnisse

---

#### OP-Verfahren

Die gewählten OP-Verfahren sind für die Omegagruppen I bis IV in dem nachfolgenden Diagramm veranschaulicht (Abbildung 20). In Omegagruppe IV wurde kam vor allem die Korporektomie zur Anwendung.

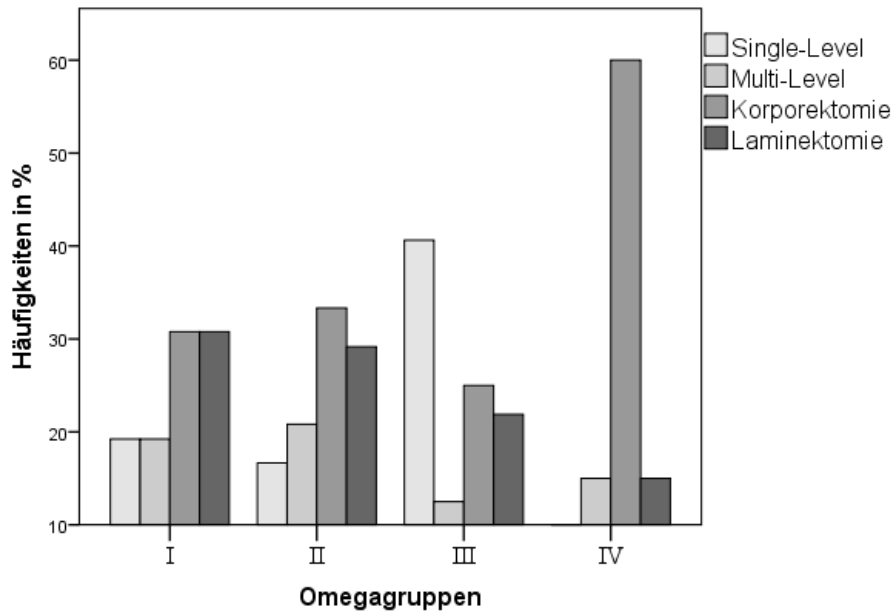


Abbildung 20: Verteilung der OP-Verfahren in den Omegagruppen

#### Zugangswege

Die Art des gewählten Zugangsweges in den Omegagruppen I-IV ist in dem folgenden Diagramm ersichtlich (Abbildung 21), sie unterschieden sich nicht signifikant voneinander ( $p=0,587$ ).

### 3. Ergebnisse

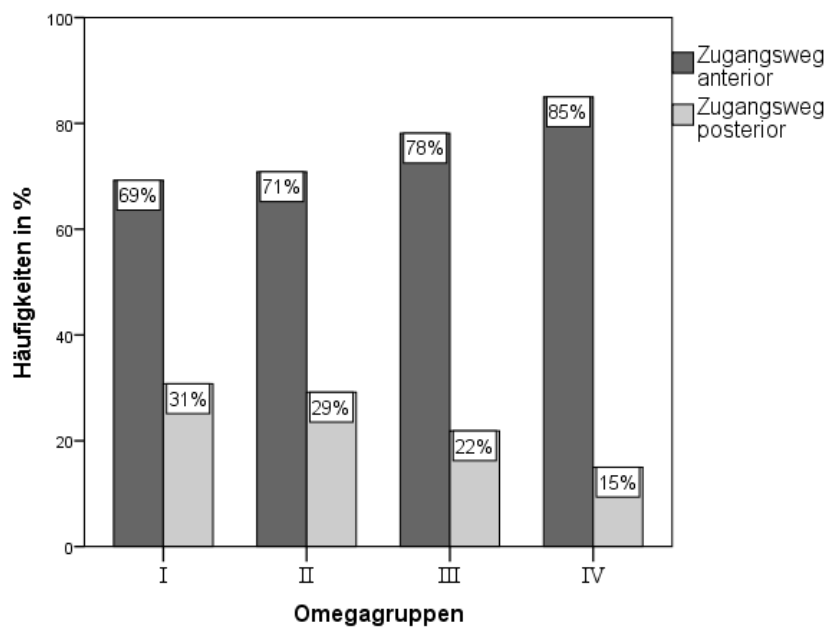


Abbildung 21: Verteilung der Zugangswege in den Omegagruppen

#### Radiologische Daten

Die prä- und postoperativen C2/7 Winkel sowie der finale Lordosewinkel in den Omegagruppen I-IV ist in der folgenden Übersicht aufgeführt (Tabelle 5).

Omegagruppe	I	II	III	IV	p-Werte
C2/7 präoperativ	-0,20 ± 13,74	9,86 ± 9,00	14,56 ± 12,16	18,42 ± 18,57	p<0,001
C2/7 postoperativ	5,06 ± 3,69	13,27 ± 5,87	19,26 ± 2,83	27,12 ± 5,22	p<0,001
C2/7 last (Omegawinkel)	2,95 ± 2,37	10,76 ± 2,06	17,63 ± 2,49	25,90 ± 3,36	p<0,001

Tabelle 5: C2/7 Winkel in den Omegagruppen

Die Omegagruppen unterschieden sich signifikant in präoperativem C2/7 Winkel ( $p<0,001$ ) und in ihrem postoperativem C2/7 Winkel ( $p<0,001$ ) und natürlich in ihrem Omega-Winkel ( $p<0,001$ ). Vergleichend ist der präoperative und der finale C2/7 Winkel in dem folgenden Bloxplot dargestellt (Abbildung 22).



### 3. Ergebnisse

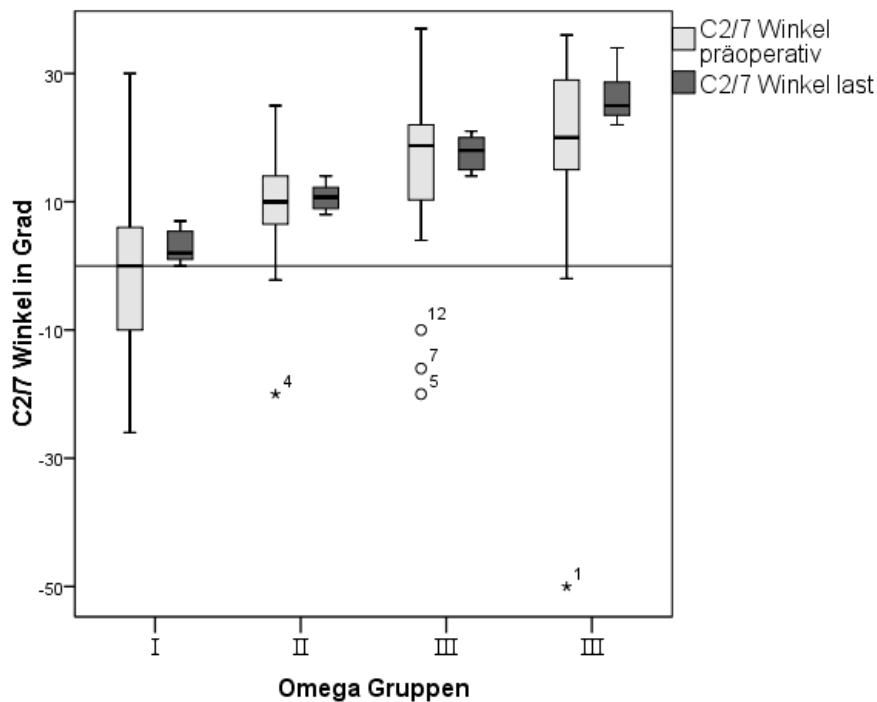


Abbildung 22: Vergleich prä- zu finalelem C2/7 Winkel in den Omegagruppen

Patienten in Omegagruppe IV hatten den größten durchschnittlichen Korrekturwinkel Delta mit  $7,48 \pm 18,24$  Grad, was in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt ist (Tabelle 6).

Omegagruppen		n	Mittelwert	STABW	Minimum	Maximum
Postoperative Alignmentänderung	I	24	5,13°	13,82°	-18,0°	34,0°
	II	22	3,35°	9,64°	-15,0°	32,0°
	III	23	4,39°	12,95°	-17,0°	38,0°
	IV	17	9,29°	20,22°	-11,0°	75,0°
	Gesamt	86	5,30°	14,12°	-18,0°	75,0°
Postoperativer Korrekturverlust	I	24	-1,86°	2,13°	-6,0°	1,1°
	II	22	-2,65°	5,83°	-18,0°	11,9°
	III	23	-1,49°	2,48°	-6,0°	4,0°
	IV	17	-1,77°	2,97°	-10,0°	3,0°
	Gesamt	86	-1,94°	3,61°	-18,0°	11,9°
Korrekturwinkel Delta	I	26	3,16°	13,60°	-24,0°	33,0°
	II	24	0,90°	9,03°	-16,5°	28,0°
	III	32	3,07°	11,77°	-17,0°	35,0°
	IV	20	7,48°	18,24°	-11,0°	75,0°
	Gesamt	102	3,45°	13,20°	-24,0°	75,0°

Tabelle 6: Korrekturunterschiede in den Omegagruppen

### 3. Ergebnisse

Durch die Operation wurde in allen Omegagruppen das sagittale Profil durchschnittlich zur Lordose hin korrigiert, es bestand in dessen Ausmaß kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $p=0,807$ ). Zwischen dem postoperativen und dem finalen Lordosewinkel kam es in allen Omegagruppen zu einem untereinander nicht signifikanten Korrekturverlust ( $p=0,906$ ). Die Omegagruppen unterschieden sich hinsichtlich ihres Korrekturwinkels Delta nicht signifikant voneinander ( $p=0,644$ ) (Abbildung 23).

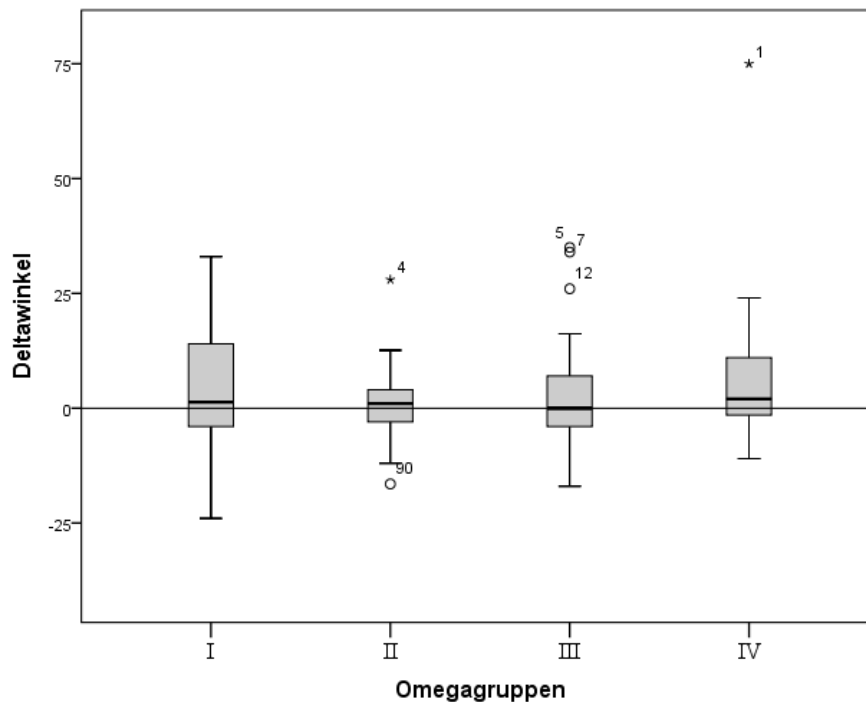


Abbildung 23: Deltawinkel in den Omegagruppen

#### Klinische Daten

##### mJOAS

Der neurologische Status in Omegagruppe I bemessen nach mJOAS besserte sich um  $1,92 \pm 1,02$  Punkte von  $12,58 \pm 2,47$  Punkten auf  $14,50 \pm 2,78$  Punkte. Bei Omegagruppe II belief sich die Änderung von präoperativ  $12,48 \pm 2,71$  auf postoperativ  $14,46 \pm 2,32$  um  $1,96 \pm 1,40$  Punkte. In Omegagruppe III konnte der neurologische Status im Schnitt um  $1,93 \pm 1,41$  Punkte von präoperativ  $12,50 \pm 2,71$  Punkten auf postoperativ  $14,59 \pm 2,28$  Punkte verbessert werden. Omegagruppe IV zeigte eine Verbesserung um  $2,42 \pm 1,47$  Punkte von präoperativ  $11,79 \pm 2,28$  Punkten auf postoperativ  $14,21 \pm 2,15$  Punkte.

### 3. Ergebnisse

---

Es fanden sich in den präoperativen mJOAS unter den Omegagruppen keine signifikanten Unterschiede ( $p=0,646$ ), auch im postoperativen Vergleich oder dem Ausmaß der neurologischen Erholung war kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Omegagruppen festzustellen ( $p=0,892$ ;  $p=0,650$ ).

Durch die Operation konnte in allen Omegagruppen eine hochsignifikante Verbesserung des neurologischen Status erzielt werden (jeweils  $p<0,001$ ).

#### VAS

In Omegagruppe I gaben die Patienten im Mittel präoperativ  $4,67 \pm 1,34$  Punkte auf der VAS für Nackenschmerzen an. Postoperativ lag der Wert bei  $3,27 \pm 1,73$  Punkten, womit eine durchschnittliche Reduktion von  $1,33 \pm 1,93$  Punkten erreicht wurde. Bei Omegagruppe II lag der Mittelwert für präoperative Nackenschmerzen bei  $4,30 \pm 1,36$  Punkten. Er konnte um  $1,48 \pm 1,70$  Punkte reduziert werden auf durchschnittlich  $2,92 \pm 1,82$  Punkte. Omegagruppe III zeigte eine Schmerzreduktion um  $0,78 \pm 1,42$  Punkte von  $4,19 \pm 1,36$  Punkten präoperativ auf  $3,52 \pm 1,53$  Punkte postoperativ. Von präoperativ  $4,74 \pm 1,52$  Punkten konnten in Omegagruppe IV die Schmerzen um  $1,00 \pm 1,76$  Punkte auf  $3,65 \pm 1,42$  Punkte postoperativ gesenkt werden.

Die Angabe von Schmerzen gemessen an der VAS für Nackenschmerzen zeigte unter den Omegagruppen I-IV nach dem Kruskal-Wallis-Test keine signifikanten Unterschiede weder prä- noch postoperativ oder der Schmerzreduktion an ( $p=0,378$ ;  $p=0,337$ ;  $p=0,448$ ).

Eine signifikante Reduktion der prä- zu postoperativen Schmerzen war innerhalb aller Omegagruppen festzustellen ( $p=0,001$  für Omegagruppe I,  $p=0,001$  für Omegagruppe II,  $p=0,010$  für Omegagruppe III und  $p=0,008$  für Omegagruppe IV). Damit wurden die Schmerzen in allen Omegagruppen durch die Operation gemindert (Abbildung 24).

### 3. Ergebnisse

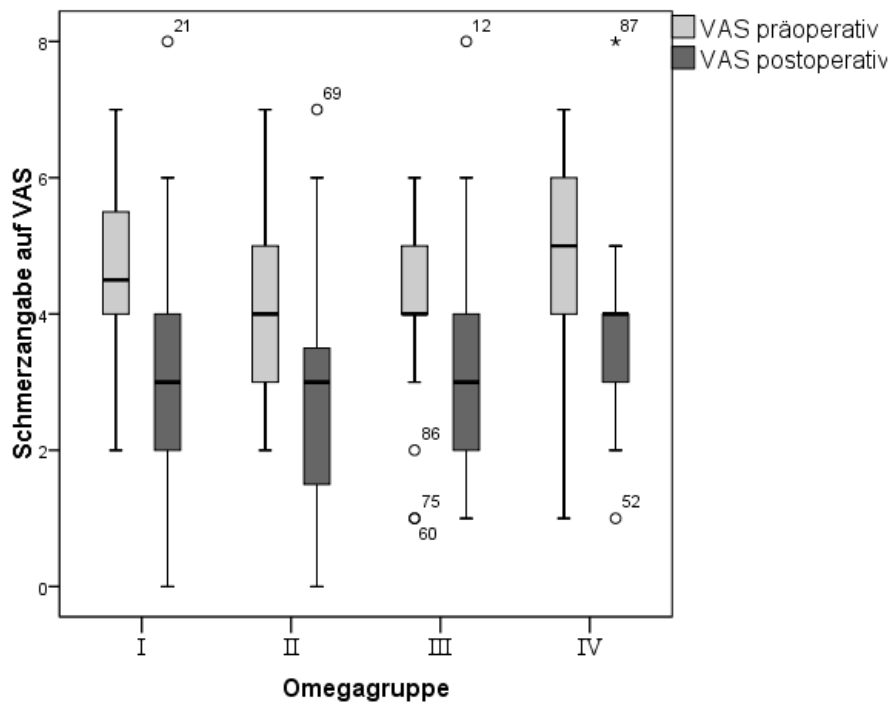


Abbildung 24 Vergleich prä- und postoperative Schmerzen in den Omegagruppen

#### Odoms

Hinsichtlich der Bewertung des Operationserfolges ergab sich bei den Omegagruppen die folgende Verteilung (Abbildung 25).

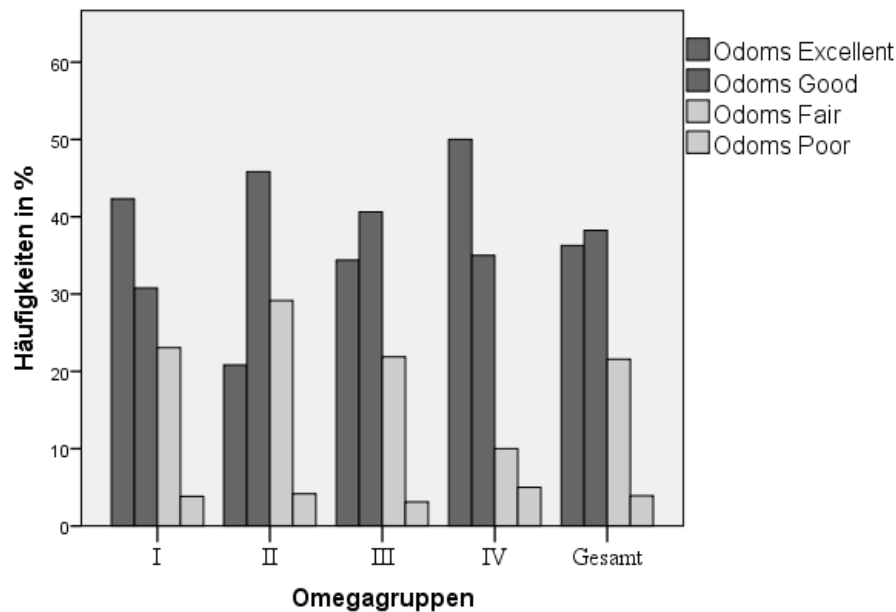


Abbildung 25: Odom's Scores in den Omegagruppen

### 3. Ergebnisse

---

#### 3.3 Korrekturwinkel (Deltagruppen)

Wir führten eine weitere Gruppeneinteilung bei unserem Patientenkollektiv durch: die 102 Patienten wurden in drei Gruppen abhängig von ihrem Korrekturwinkel, genannt Delta, getrennt. Der Deltawinkel errechnete sich aus der Differenz zwischen dem letztem postoperativen C2/7 Winkel (=C2/7 last) und dem präoperativen C2/7 Winkel (=C2/7 prä) und gab das Ausmaß der Korrektur in Grad an.

Abhängig davon, ob es zu einer Reduktion der Kyphose oder Augmentation der Lordose kam, ergab sich ein positiver Deltawert. Ein negativer Deltawert ergab sich durch die Abnahme einer bestehenden Lordose. Theoretisch wäre ein negativer Deltawert auch durch die Zunahme einer Kyphose möglich gewesen. In unserem Patientengut ließ sich jedoch kein negativer Deltawert beobachten.

In die Deltagruppe I gingen alle Patienten mit einem Korrekturverlust ein:  $\Delta < 0^\circ$  (n=38). Deltagruppe II bildeten Patienten mit einer mäßigen Korrektur von  $0-7^\circ$  (n=38). Patienten mit einer hochgradigen Korrektur  $>8^\circ$  (n=26) wurden der Deltagruppe III zugeteilt.

Die Häufigkeitsverteilung unter den Deltagruppen unterschied sich nach dem  $\chi^2$ -Test nicht signifikant (p=0,244).

		Häufigkeit	Prozent	
Deltagruppe	I	$<0^\circ$	38	37
	II	$0-7^\circ$	38	37
	III	$\geq 8^\circ$	26	26
	Gesamt		102	100

Tabelle 7: Verteilung Deltagruppen

#### Demographische Daten

##### Altersverteilung

Das Durchschnittsalter lag in Deltagruppe I bei  $61,58 \pm 7,50$  Jahren (Min 45, Max 78), Deltagruppe II bei  $64,16 \pm 10,91$  Jahren (Min 36, Max 85) und in Deltagruppe III bei  $61,85 \pm 8,66$  Jahren (Min 43, Max 79). Das Alter war in allen Deltagruppen nach Schiefe, Kurtosis, Shapiro-Wilk Test und Betrachtung von Histogramm, normalverteiltem Q-Q-Diagramm und Boxplot annähernd normalverteilt. Die Altersverteilung in den Deltagruppen I, II und III unterschied sich nicht signifikant (p=0,423).

### 3. Ergebnisse

#### Geschlechtsverteilung

Die Geschlechtsverteilung unterschied sich nach dem  $\chi^2$ -Test in den Deltagruppen nicht signifikant ( $p=0,064$ ).

#### Follow Up

Im Mittel erfolgte das letzte Follow Up in Deltagruppe I nach  $75,63 \pm 57,24$  Monaten, in Deltagruppe II nach  $81,82 \pm 55,09$  Monaten und in Deltagruppe III nach  $105,23 \pm 52,69$  Monaten. Die Zeit bis zum Follow Up war nicht in allen Deltagruppen annähernd normalverteilt. Nach dem Kruskal Wallis Test ergab sich mit  $p=0,103$  keine signifikante Häufigkeitsverteilung.

#### OP-Verfahren

Die Aufteilung der OP-Verfahren in den Deltagruppen I bis III ergibt sich aus dem nachfolgenden Diagramm (Abbildung 26).

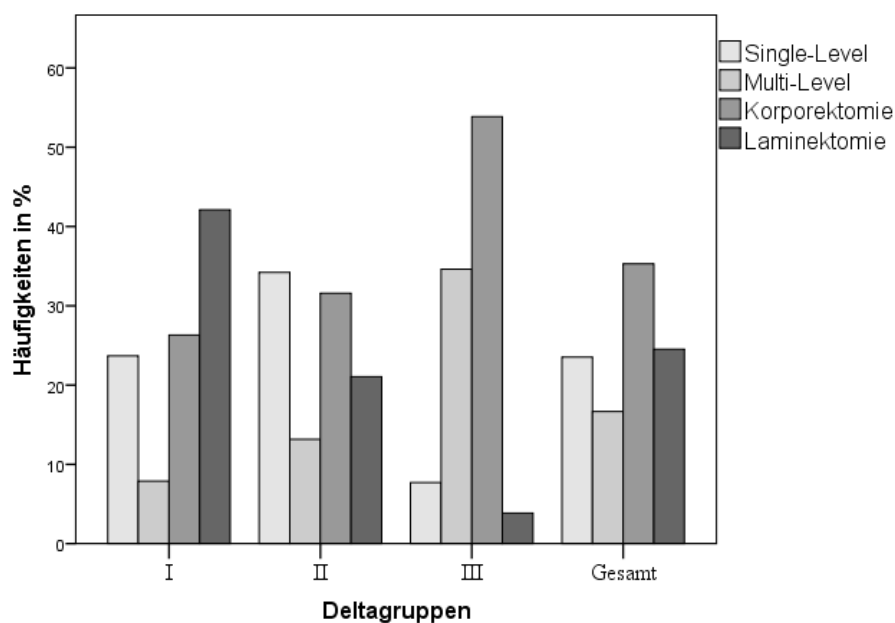


Abbildung 26: Verteilung der OP-Verfahren in den Deltagruppen

#### Zugangswege

Ob ein vorderer oder hinterer Zugangsweg gewählt wurde, unterschied sich in den Deltagruppen I-III signifikant ( $p=0,002$ ). Je höher der Korrekturwinkel war, desto eher war ein vorderer Zugangsweg gewählt worden, wie auch in dem Diagramm ersichtlich ist (Abbildung 27).

### 3. Ergebnisse

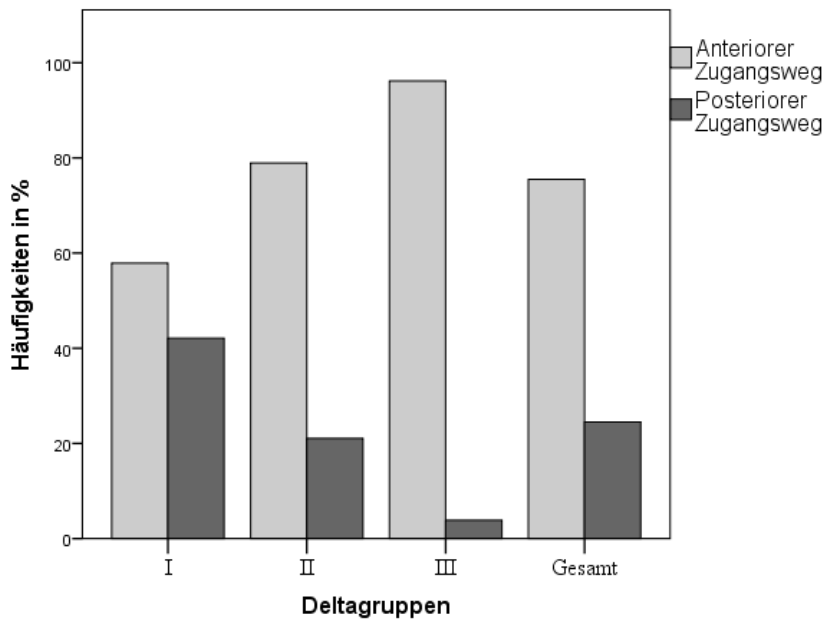


Abbildung 27: Verteilung der Zugangswege in den Deltagruppen

#### Radiologische Daten

Die prä- und postoperativen C2/7 Winkel sowie der finale Lordosewinkel in den Deltagruppen I-III ist in der folgenden Übersicht aufgeführt (Tabelle 8). Die Deltagruppen unterschieden sich wie erwartet in ihrem präoperativen C2/7 Winkel ( $p < 0,001$ ), jedoch nicht mehr in ihren postoperativen und finalen C2/7 Winkeln ( $p = 0,497$ ,  $p = 0,918$ ).

Deltagruppen	I	II	III	p-Werte
C2/7 präoperativ	21,30 ± 8,43	11,50 ± 7,49	-6,96 ± 14,68	$p < 0,001$
C2/7 postoperativ	16,29 ± 8,68	15,43 ± 7,99	13,71 ± 10,90	$p = 0,497$
C2/7 last (Omegawinkel)	14,42 ± 8,69	13,70 ± 7,99	13,41 ± 9,27	$p = 0,918$

Tabelle 8: C2/7 Winkel in den Deltagruppen

Durch die Operation kam es in allen Deltagruppen zu einer signifikanten Veränderung des präoperativen C2/7 Winkels respektive zum postoperativen und finalen C2/7 Winkel ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ). Den Vergleich von präoperativem zum finalen C2/7 Winkel zwischen den Deltagruppen und die Korrektur zu einem physiologischen Alignment hin veranschaulicht das untenstehende Diagramm (Abbildung 28).

### 3. Ergebnisse

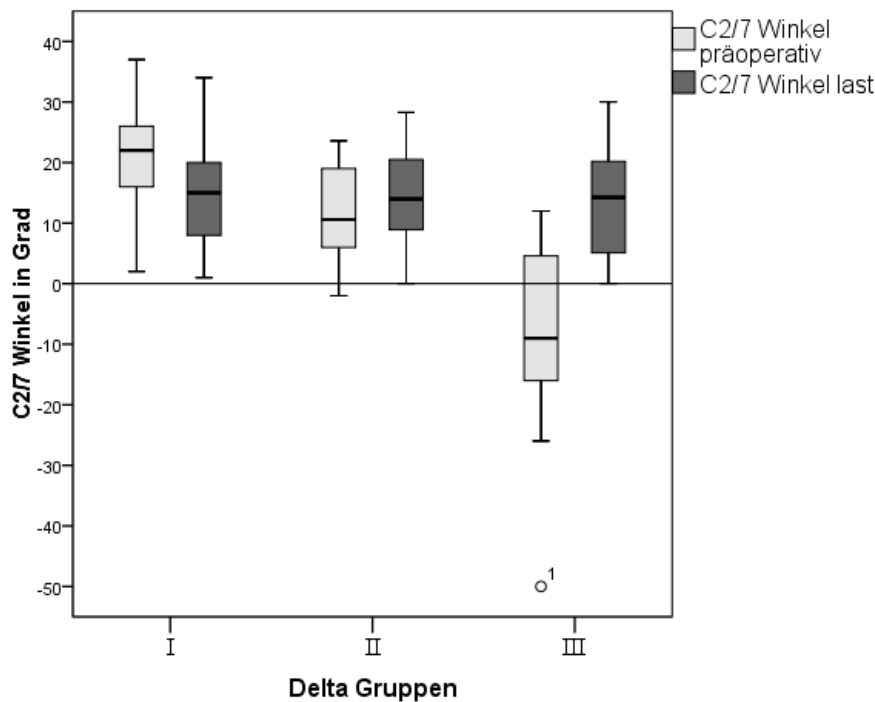


Abbildung 28: Vergleich prä- zu finalem C2/7 Winkel in den Deltagruppen

Die Deltagruppen unterschieden sich erwartungsgemäß signifikant im Ausmaß der postoperativen und finalen Korrektur ( $p < 0,001$ ;  $p < 0,001$ ). Der postoperative Korrekturverlust war nach dem Kruskal-Wallis-Test zwischen den Deltagruppen nicht signifikant ( $p = 0,733$ ) (Tabelle 9).

Deltagruppen		n	Mittelwert	STABW	Minimum	Maximum
Postoperative Alignementänderung	I	35	-4,61°	6,27°	-18,0°	6,0°
	II	28	3,51°	3,85°	-3,0°	12,0°
	III	23	22,55	14,83°	0,7°	75,0°
	Gesamt	86	5,30°	14,12°	-18,0°	75,0°
Postoperativer Korrekturverlust	I	35	-2,60°	3,98°	-18,0°	2,0°
	II	28	-1,53°	2,39°	-6,5°	3,0°
	III	23	-1,45°	4,22°	-10,0°	11,9°
	Gesamt	86	-1,94°	3,61°	-18,0°	11,9°
Korrekturwinkel Delta	I	38	-6,88°	5,83°	-24,0°	-1,0°
	II	38	2,20°	2,05°	0,0°	7,0°
	III	26	20,37°	13,61°	9,0°	75,0°
	Gesamt	102	3,45°	13,20°	-24,0°	75,0°

Tabelle 9: Korrekturunterschiede in den Deltagruppen



### 3. Ergebnisse

#### Klinische Daten

##### mJOAS

Der neurologische Status in Deltagruppe I bemessen nach mJOAS besserte sich um  $1,86 \pm 1,19$  Punkte von  $12,43 \pm 2,57$  Punkten auf  $14,45 \pm 2,45$  Punkte. Bei Deltagruppe II belief sich die Änderung von präoperativ  $12,14 \pm 2,72$  auf postoperativ  $14,30 \pm 2,60$  um  $2,16 \pm 1,04$  Punkte. In Deltagruppe III konnte der neurologische Status im Schnitt um  $2,08 \pm 1,79$  Punkte von präoperativ  $12,65 \pm 2,31$  Punkten auf postoperativ  $14,73 \pm 1,95$  Punkten verbessert werden.

Prä- und postoperativ unterschieden sich die Deltagruppen I-III untereinander nicht signifikant in ihrem neurologischen Status ( $p=0,815$ ;  $p=0,908$ ). Auch im Ausmaß der neurologischen Erholung waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Deltagruppen festzustellen ( $p=0,509$ ).

Durch die Operation kam es zu einer hochsignifikanten Verbesserung des neurologischen Status gemessen am mJOAS mit  $p<0,001$  je für Deltagruppe I, II und III (Abbildung 29).

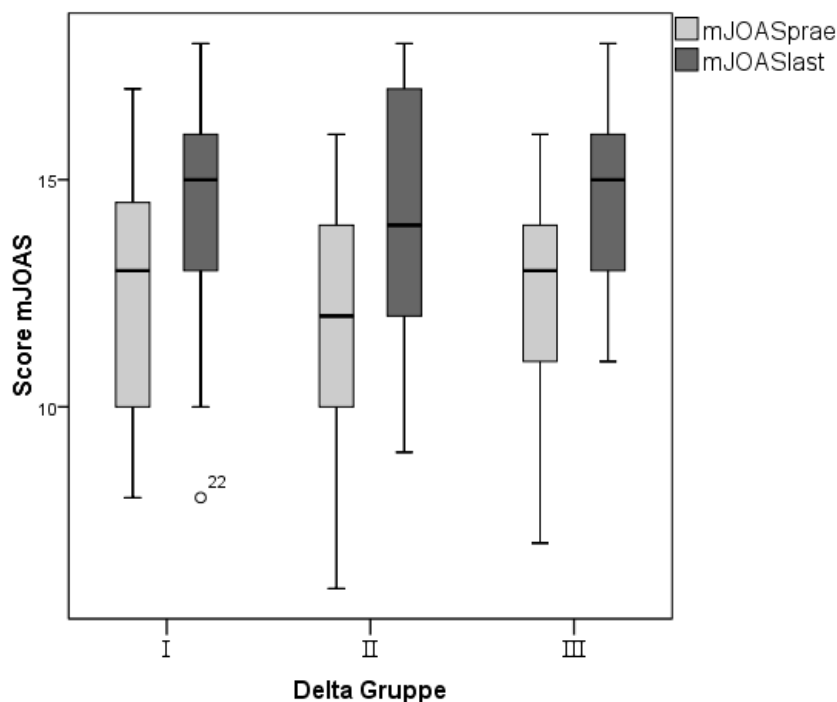


Abbildung 29: Vergleich prä- zu postoperativem mJOAS in den Deltagruppen

##### VAS

In Deltagruppe I gaben die Patienten im Mittel präoperativ  $4,27 \pm 1,24$  Punkte auf der VAS für Nackenschmerzen an. Postoperativ lag der Wert bei  $3,35 \pm 1,36$  Punkten. Somit konnte eine durchschnittliche Reduktion von  $0,91 \pm 0,95$  Punkten festgestellt werden. Bei Deltagruppe II lag der

### 3. Ergebnisse

Mittelwert für präoperative Nackenschmerzen gemessen mit der VAS bei  $4,35 \pm 1,45$  Punkten. Er konnte um  $1,27 \pm 2,08$  Punkte reduziert werden auf durchschnittlich  $3,16 \pm 1,69$  Punkte. Delta-Gruppe III zeigte eine Schmerzreduktion um  $1,24 \pm 1,94$  Punkte von  $4,84 \pm 1,46$  Punkten präoperativ auf  $3,58 \pm 1,92$  Punkte postoperativ.

Die präoperative Angabe von Schmerzen gemessen an der VAS für Nackenschmerzen zeigte unter den Deltagruppen I bis III keine signifikanten Unterschiede nach dem Kruskal-Wallis-Test mit VAS präoperativ  $p=0,257$ . Dasselbe gilt für die Angabe postoperativer Schmerzen mit VAS postoperativ  $p=0,563$  oder das Ausmaß der Schmerzreduktion mit  $p=0,531$ . Durch die Operation kam es zu einer signifikanten Reduktion der Schmerzsymptomatik in allen drei Deltagruppen ( $p<0,001$ ,  $p<0,001$ ,  $p=0,010$ ).

Das nachfolgende Diagramm zeigt die Veränderung von präoperativen zu postoperativen Nackenschmerzen für die Deltagruppen I bis III (Abbildung 30).

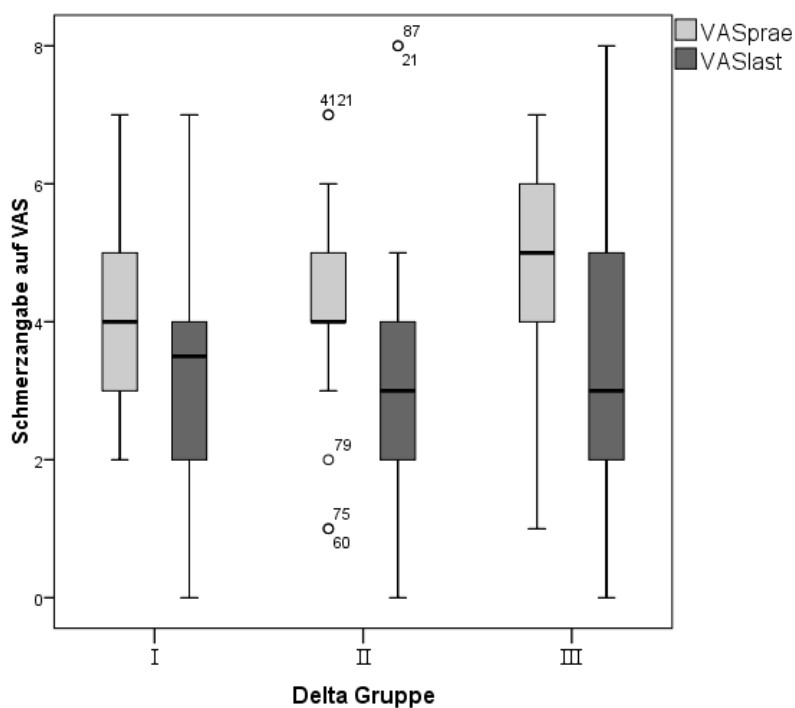


Abbildung 30: Vergleich von prä- zu postoperativen Schmerzen in den Deltagruppen

#### Odoms

Hinsichtlich der Bewertung des Operationserfolges ergab sich bei den Deltagruppen die folgende Verteilung und fiel in allen Deltagruppen in etwa gleich aus (Abbildung 31).

3. Ergebnisse

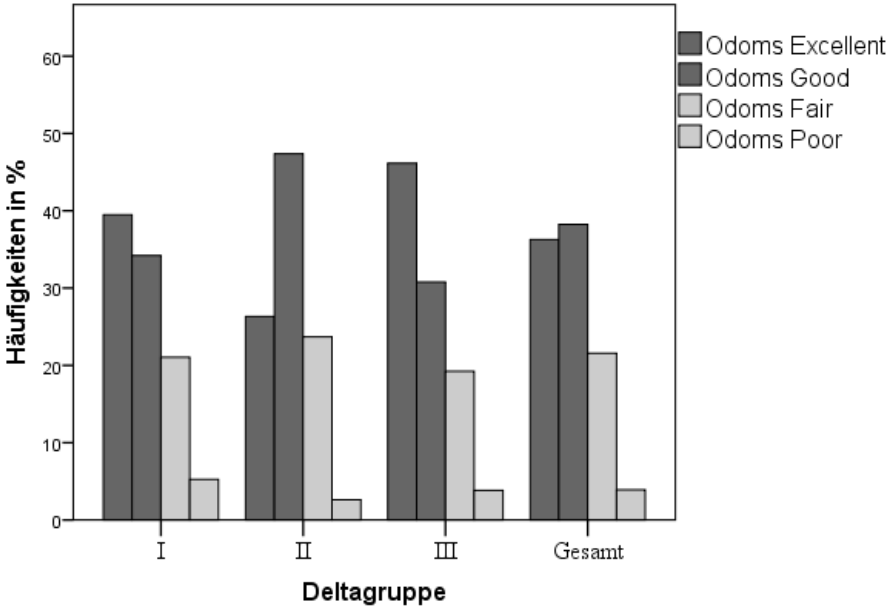


Abbildung 31: Odom's Scores in den Deltagruppen

### 4. Diskussion

#### Zentrale Aussage

Die durchgeführte retrospektive Analyse prospektiv erhaltener Daten von 102 Patienten mit ZSM zeigte, dass durch chirurgische Rückenmarksdekompression und Wirbelsegmentstabilisierung postoperativ eine deutliche klinische Verbesserung bewirkt werden konnte, diese jedoch unabhängig vom Ausmaß der Korrektur und dem finalen sagittalen zervikalen Profil war.

Patienten mit einem Lordoseverlust profitierten ebenso stark von der Operation wie Patienten, denen eine mäßige oder gar erhebliche Korrektur zur Lordose hin zuteilwurde. Auch mit einem finalen Halslordosewinkel unterhalb des physiologischen Referenzbereiches unterschieden sich die untersuchten Patienten in ihrem Therapieerfolg nicht von Patienten mit der angestrebten C2/7 Inklination von 15-25 Grad. Präoperativ konnte durchschnittlich kein Unterschied zwischen den Gruppen hinsichtlich der klinischen Parameter festgestellt werden, was sich mit den Ergebnissen weiterer Studien deckt [147].

Wie in einer Studie von Shamji 2016 treffend formuliert, kreist die aktuelle Diskussion nicht darum, ob eine Operation durchgeführt werden soll oder nicht, sondern vielmehr, wie das spezifische chirurgische Management auszusehen hat [40] [67] [83].

Diese Arbeit bestätigt wie vielfach bewiesen die Effektivität der chirurgischen Dekompression und Stabilisierung [148] [149] [150]. Alle Operationsverfahren zeigten vergleichbare gute klinische Resultate [94] [105] [139] [151].

Eine Diskrepanz in der aktuellen Literatur existiert hinsichtlich des Einflusses des zervikalen Alignments auf das postoperative Outcome.

Die prä- wie postoperativen Werte für mJOAS und VAS sowie die Differenz dieser Parameter unterschieden sich in den Delta- und Omegagruppen in dieser Untersuchung nicht signifikant. Auf der Grundlage dieser Daten erscheinen daher Korrekturwinkel und finaler Lordosewinkel kein Faktor für ein positives klinisches Outcome zu sein. Andere Studien kamen ebenfalls zu diesem Ergebnis:

Eine Studie, die den Effekt von Alignment auf das klinische Outcome bei 50 Patienten mit Ossifikation des hinteren Längsbandes und subsequenter Laminoplastie untersuchte, befand die postoperative Besserung von VAS und JOA ohne Relation zum Alignment [147].

Zu demselben Resultat kam eine Studie mit 33 Patienten, die auf den Korrekturverlust bei ACDF bei Erkrankung oder Fraktur fokussierte. Auch hier kam es zu einer Besserung von VAS und JOA,

die Patienten bewerteten die Operation größtenteils als Erfolg. Es konnte jedoch keine Beziehung zwischen Outcome und Veränderung des zervikalen Alignements festgestellt werden. Ebenso wenig war ein Lordoseverlust mit einem schlechteren klinischen Outcome vergesellschaftet [152]. Patienten mit einer hochgradigen Kyphose können oft kaum zu einer physiologischen Lordose hin korrigiert werden und profitieren trotzdem substantiell von der Operation [151]. In einer Monocenterstudie mit prospektiven Daten von 124 Patienten und der Evaluation von mJOAS, NDI und Nurick besserten sich Patienten mit einer präoperativen Kyphose neurologisch weniger als Patienten mit einer präoperativen Lordose. Dies war unabhängig davon, ob das Alignment bei der Operation korrigiert wurde [40]. Nach diesen Studien führt das Realignement zu keinem späteren klinischen Vorteil und sollte mit Vorsicht durchgeführt werden, da eine ausgeprägte Korrektur ab 20° ein erhöhtes Risiko für die Inzidenz von C5-Paresen besitzt [135]. Es mag jedoch andere biomechanische Gründe, wie die Vermeidung einer Anschlussinstabilität nach Fusion, geben [40] [153].

Auf der anderen Seite existieren durchaus Studien, die eine Beziehung zwischen Alignment und klinischem Status sehen.

In einer Studie mit prospektiv erhobenen Daten wurde gezeigt, dass bei Patienten mit ZSM ein präoperatives globales sagittales Malalignment und größere SVA assoziiert waren mit größerer präoperativer neurologischer Dysfunktion [142]. Eine retrospektive Auswertung prospektiv im Rahmen der multizentrischen AO Spine North America CSM Studie erworbener Daten zeigte bei 56 Patienten eine Korrelation zwischen präoperativem mJOAS und SVA [61]. Eine narrative Review von 2013 stellte fest, dass die C2/7 SVA Einfluss auf den klinischen Status und den Schweregrad der zervikalen Myelopathie hat, sodass zu einer Korrektur von Kyphose und Halslordose geraten wird [60]. Ein weiteres narratives Review empfiehlt ebenfalls die Korrektur des sagittalen Profils, speziell bei Kyphose, und verweist zudem auf die Wichtigkeit der Betrachtung des globalen Alignements zum besseren Verständnis der regionalen Pathologien [41]. Zu demselben Schluss kam ein zusätzliches narratives Review [154]. Dabei ist wichtig hervorzuheben, dass sich die soeben genannten Studien auf die Auswirkung des präoperativen Alignements auf den Schweregrad der Erkrankung beziehen.

Eine Studie mit 100 Patienten, die den Zusammenhang von prä- und postoperativem zervikalem Alignment mit Funktionalität, Schmerzen und Lebensqualität vergleicht, kam zu dem Resultat, dass eine postoperative Lordose von mindestens 6° einen klinisch relevanten Unterschied in der Schmerzangabe erwirkte [140]. Auch in dieser Arbeit, bei der postoperativ fast alle Patienten ein lordotisches Alignment aufwiesen, kam es zu einer signifikanten Schmerzreduktion, welche

jedoch unabhängig vom Grad der postoperativen Lordose war.

Bei der Untersuchung von 57 Patienten nach ACDF wurde eine Korrelation von neurologischer Erholung gemessen am JOA und Verbesserung des Cobb Winkels festgestellt [141]. Dies deckt sich insofern auch mit dem Ergebnis dieser Analyse, als dass auch hier eine Annäherung an die physiologische Halslordose versucht und eine anschließende Besserung des neurologischen Status beobachtet wurde. Jedoch verhielt sich diese Besserung unabhängig zu Ausmaß der Korrektur und finalem Cobb Winkel.

Eine weitere Studie, die postoperatives Malalignment mit klinischem Outcome an 113 Patienten untersuchte, zeigte eine positive Korrelation von C2/7 SVA zu NDI, jedoch nicht von VAS oder SF-36 [84].

In diesen Studien wurde gezeigt, dass Kyphose und vergrößerte C2/7 SVA eine schlechtere Klinik bedingen [41] [60] und dass sich eine postoperative Halslordose positiv auf die Schmerzsymptomatik [140] und eine kleinere C2/7 SVA auf den mJOAS [61] oder NDI [84] auswirken. Es gilt zu beachten, dass diese Studien gleichzeitig weitere HRQL Parameter untersuchten, bei denen jeweils keine Korrelation festgestellt wurde. Weiterhin gelten einige der gefundenen Beziehungen zwischen Alignment und Klinik für präoperative Verhältnisse [61] [142]. Auch in dieser Untersuchung gaben Patienten mit einem präinterventionell annähernd physiologischem Lordoseprofil vor der Operation signifikant weniger Schmerzen an.

Insgesamt erscheint die Datenlage zurzeit damit zu inkonsistent und zu underpowered, um begründet zu postulieren, dass die Wiederherstellung einer physiologischen Halslordose ein besseres klinisches Outcome bedinge. Auch die Aussage, dass die Wiederherstellung einer physiologischen Halslordose keinen Einfluss auf das klinische Outcome habe, kann nicht hinreichend begründet werden.

Weitere Studien sind daher notwendig, um mit Gewissheit zu klären, ob die Wiederherstellung oder der Erhalt der physiologischen Halslordose bei der Operation vernachlässigt werden kann.

Eine Ausnahme bildet die kyphotische Fehlhaltung. Zwar wiesen in dieser Arbeit postoperativ fast alle Patienten ein lordotisches, wenige ein neutrales Halsprofil auf. Damit lassen sich anhand dieser Daten keine Vergleiche zwischen postoperativem lordotischen und kyphotischen Alignment bezüglich ihrer klinischen Resultate vornehmen. Es bestehen in der Literatur jedoch zahlreiche Hinweise dafür, dass eine postoperative Kyphose vermieden werden sollte. Zum einen nähme sie durch den altersbedingten Fortschritt der arthrotischen Degeneration weiter zu und damit vergrößere sich auch der Schaden an den neuronalen Strukturen [41] [42]. In einer retrospektiven Studie mit Langzeitergebnissen von 130 Patienten wurde bei der Verwendung eines

Implantats, das zu vermehrter postoperativer Kyphose führte, auch vermehrt Schmerzen verzeichnet [139]. Bei kyphotischen Patienten beobachtete man in einer prospektiven Studie (n=124), dass der Schweregrad an Myelopathie mit vergrößerter C2/7 SVA korrelierte; bei lordotischen Patienten traf dies nicht zu [142]. Auch bedingte eine präoperative Kyphose schlechtere postoperative Ergebnisse [40] [155]. Die Schlussfolgerung, dass postoperativ keine Kyphose mehr bestehen und die Korrektur der Kyphose ein chirurgisches Ziel darstellen sollte, deckt sich mit den Forderungen zahlreicher Studien [13] [60] [154] [156] und dieser Untersuchung.

### Klinik

Üblicherweise konnte ein Fortschreiten der Erkrankung nicht beobachtet und der präoperative Status durch die Operation sogar verbessert werden, wobei Residuen nach dem Eingriff verblieben. Nackenschmerzen und neurologische Einschränkungen persistierten im selben Ausmaß bei Patienten mit einem postoperativen physiologischen zervikalen Alignment wie bei denjenigen ohne. Dies kann sich aus der degenerativ bedingten Pathogenese der Erkrankung mit Vorschädigung der globalen vertebralen Strukturen erklären. Vorbestehende spondylotische Umwandlungen der gesamten Wirbelsäule, muskuläre Dysbalance und der kontinuierlich fortschreitende natürliche Alterungsprozess können, auch hinsichtlich der breiten Zeitspanne bis zum Follow-Up, zu einem Andauern der Symptome führen. Im Alter häufig vorliegende vaskuläre und metabolische Vorerkrankungen oder soziale Faktoren können die Regenerationskapazität des Gewebes limitieren, weshalb eine Erfragung der Komorbiditäten und Dauer der Symptome in Zukunft helfen könnten, ein homogeneres Patientengut zu akquirieren. Das Erholungspotential der betroffenen neuronalen Strukturen ist weiterhin dahingehend limitiert, als dass der Schädigungsmechanismus üblicherweise über Jahre fortlaufend ist und die entzündlichen mikroanatomischen Veränderungen oftmals nicht mehr reversibel sind.

Dies spiegelte sich auch in unserer Patientenkohorte wieder: in einem annähernd linearen Zusammenhang konnten Patienten mit einem präoperativ weniger stark reduzierten mJOAS postoperativ eine höhere neurologische Funktionalität erreichen, als Patienten mit einem präoperativ bereits niedrigerem mJOAS. Damit stellt ein hoher präoperativer mJOAS einen positiven prädiktiven Faktor für einen hohen Therapieerfolg, wie auch andere Studien fanden [157] [158]. Mehr Studien höheren Evidenzgrades sind sicherlich erforderlich, um zu klären, ob entgegen des gegenwärtigen Konsensus aufgrund der progredienten Natur der Erkrankung auch bei jungen Patienten mit milder ZSM die operative Therapie der konservativen vorgezogen werden sollte [15] [40].

## 4. Diskussion

---

Auch wenn nicht annähernd normale Werte mehr erreicht wurden, so profitierten jedoch auch Patienten mit einem präoperativ niedrigem mJOAS von der Operation. Dies deckt sich mit den Ergebnissen weiterer Studien [68] [159]. Daher stellt die Operation auch im fortgeschrittenen Stadium der Erkrankung ein geeignetes therapeutisches Mittel dar. Zur Bewertung des neurologischen Status bei ZSM scheinen die verschiedenen Score Methoden durchaus geeignet, diesen zu erfassen und gute Korrelationen zueinander zu besitzen [56] [73] [160] [161]. Daher wird vorgeschlagen all diese Parameter zu erheben um möglichst alle Teilbereiche zu erfassen, bis ein einziges allgemeingültiges Scoresystem erarbeitet wurde [56].

Eine standardisierte Erfassung des Schweregrades der Myelopathie existiert bisher nicht. In einer kürzlich erschienen Studie wird die Bewertung der Schweregrade der ZSM nach dem mJOAS vorgeschlagen in milde ZSM (15 bis 17), moderat (12 bis 14) und schwer (0 bis 11) [73]. Da mehrfach in Studien [65] [83] [116] [117] und auch in dieser Arbeit gezeigt werden konnte, dass das postoperative Outcome in Korrelation mit dem präoperativen mJOAS steht, erscheint dies sinnvoll. Zudem wäre ein wichtiger Schritt zur Schaffung allgemeingültiger Leitlinien für das Management der ZSM gemacht.

Bei der Angabe von Nackenschmerzen konnte kein ähnlich klarer Zusammenhang gezeigt werden. Hier kann diskutiert werden, dass dieser Parameter auf einer subjektiven Selbsteinschätzung beruht, die durchaus auch durch andere Faktoren wie körperlicher Exazerbation, Medikamenteneinnahme oder Stimmung beeinflusst werden und somit anfällig für Störungen ist. Auch wurden postoperative Komplikationen, die zu prolongierter Morbidität geführt haben mögen, in diesem Datensatz nicht erfasst. Nicht zuletzt war auch der Zeitpunkt der Erhebung des postoperativen VAS Scores nicht bei allen Patienten gleichgesetzt, sodass es zu einer Verzerrung der postoperativen Angaben gekommen sein kann. Nichtsdestotrotz erfuhren im Allgemeinen die Patienten durch die Operation eine signifikante Linderung ihrer Schmerzsymptomatik.

Es bewerteten 75% aller Patienten die Operation als Erfolg. Damit war eine deutliche Mehrheit mit der Therapie sehr zufrieden. Dies traf für Patienten mit einer postoperativen physiologischen Halslordose ebenso zu wie für Patienten mit einem geringen finalen C2/7 Winkel oder gar Steilstellung der HWS. Auch der absolute Korrekturwinkel hatte, selbst bei Patienten mit einem Lordoseverlust durch die Operation, keinen Einfluss auf die vorwiegend positive Bewertung der Operation. Das sagittale Profil, solange keine Kyphose vorliegt, scheint damit nicht mit dem postoperativen Outcome assoziiert zu sein.



### Methodik

Neben Unklarheit bezüglich des Ausmaßes der idealen Korrektur wird auch die Methodik zur Erfassung des zervikalen Alignments kontrovers diskutiert [60]. Sagittales zervikales Alignment wird üblicherweise durch den C2-C7 Winkel nach Cobb bemessen. Des Weiteren können Jackson physiologische Stresslinien oder die Harrison Methode verwandt werden [146]. Neuere Studien verwenden oft die C2-C7 sagittale vertikale Achse (C2/7 SVA), definiert als die Entfernung von der Falllinie der Mitte von C2 und der vertikalen dorsosuperioren Ecke von C7 [41]. Die C2/7 SVA beträgt bei asymptomatischen Patienten  $16.8 \pm 11.2$  mm [162]. Darüber hinaus wird in einigen Studien der Thoracic inlet angle (TIA) betrachtet. Zunächst wird der T1-Slope bestimmt, der definiert ist als der Winkel zwischen der Linie, die parallel zur Deckplatte von T1 und der Horizontalen von T1 verläuft [41]. Weiterhin der Neck tilt, der Winkel zwischen der Linie von der mittleren Deckplatte von T1 zu einer Vertikalen, die vom mittleren kranialen Anteil des Sternums ausgeht. Der Thoracic inlet angle addiert sich aus T1-Slope und Neck tilt, wie in Abbildung 33 dargestellt [163]. Es existiert eine Reihe weiterer Messmethoden des zervikalen Alignments, ohne dass die Superiorität eines Verfahrens anerkannt wäre [84] [164] [165].

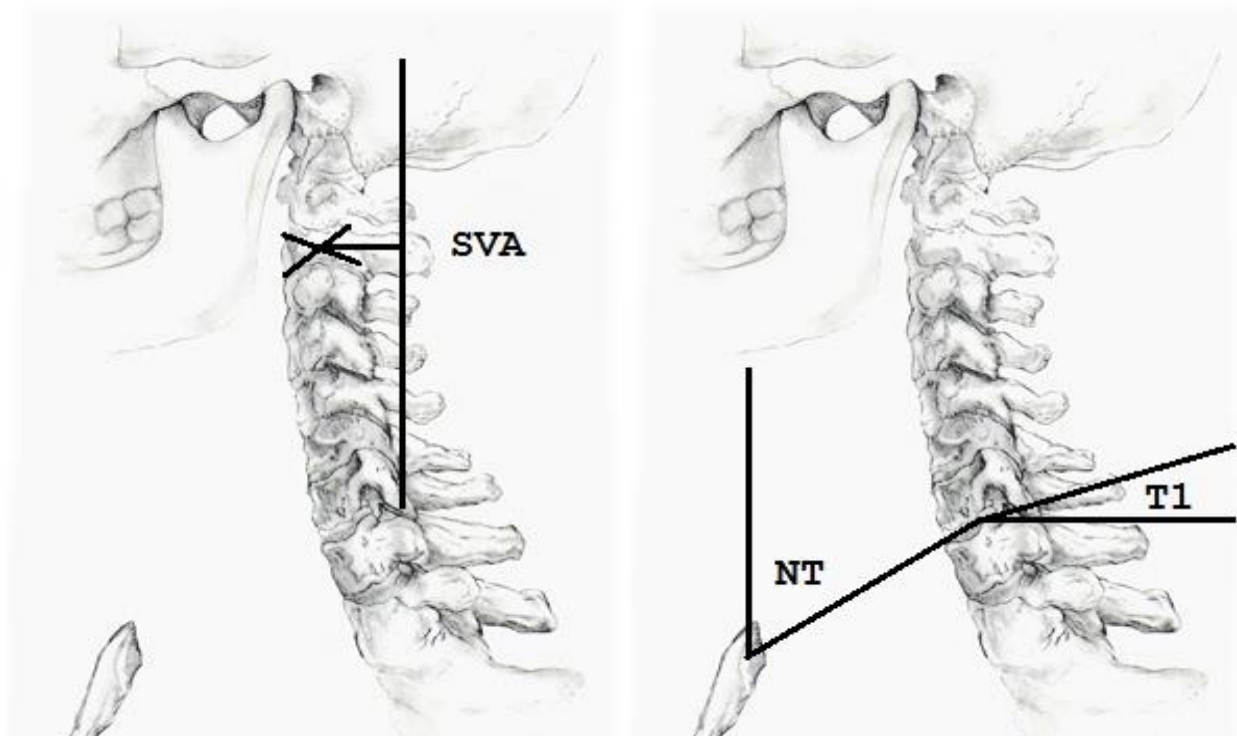
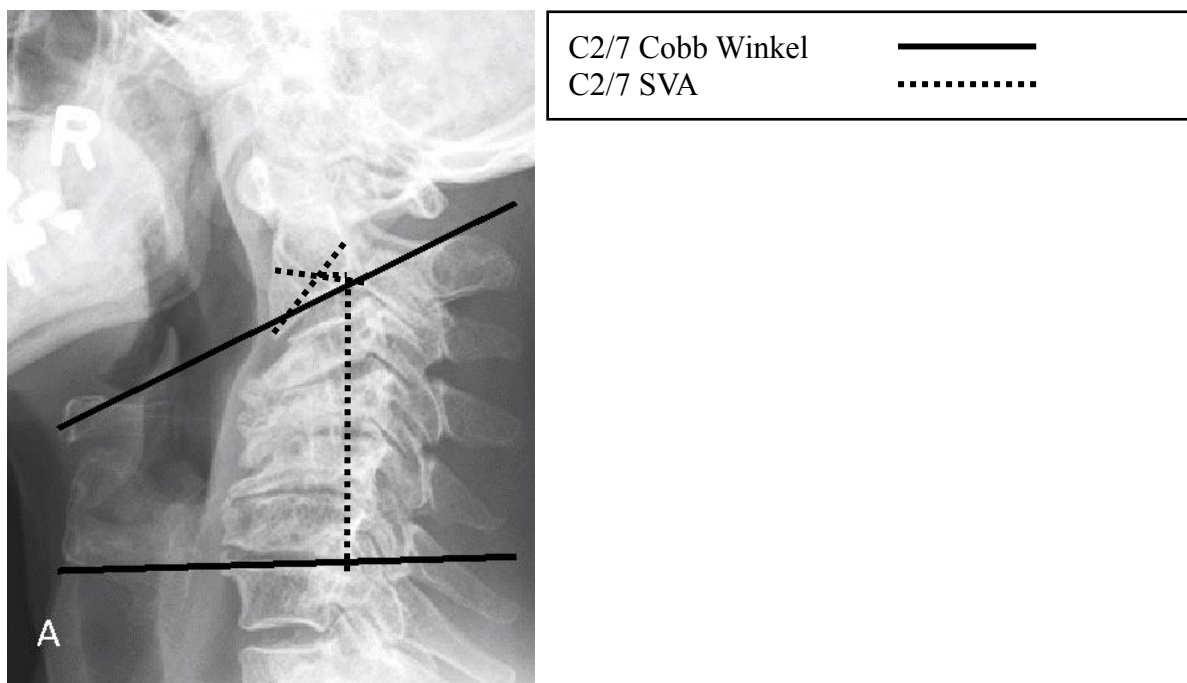


Abbildung 32: Schematische Darstellung von C2/7 SVA und Thoracic inlet angle [41] [163](mit freundlicher Genehmigung des Künstlers D. Tanygin)

## 4. Diskussion

---

Wie die Vielzahl an existenten komplizierten Messmethoden suggeriert, verbleibt die geeignete Erfassung und Definition zervikaler Imbalance ein komplexes Problem [84] [166]. Hochgradige zervikale Deformität muss ebenso auf globale Balance fokussieren und ist Gegenstand der aktuellen Untersuchungen [60] [154] [164] [167] [168]. In dieser Analyse wurde der C2/7 Cobb-Winkel verwendet, da er eine erprobte und leicht zu bestimmende Messmethode darstellt. Die C2/7 SVA besitzt den Nachteil, dass auch bei Patienten mit hochgradiger kyphotischer Fehlstellung beispielsweise nicht zwangsläufig eine Verschiebung der C2 Falllinie um mehr als 15mm aus dem Normalbereich [162] hinaus ersichtlich ist und offensichtliche kyphotische Fehlhaltungen damit eventuell nicht zuverlässig erfasst werden können wie in dem nachfolgenden Röntgenbild dargestellt (Abbildung 33).



*Abbildung 33: Vergleich C2/7 Cobb Winkel und C2/7 SVA*

Die optimale Lordose zu ermitteln, scheint eine weitaus komplexere Aufgabe zu sein, als dass sie nach den aktuellen Forschungsergebnissen und mit den derzeitigen Methoden angemessen beantwortet werden kann. Die bisherigen radiologischen Verfahren zur Erfassung des spinalen Alignments, ob lokal oder global, können die spezifisch existierenden Unterschiede hinsichtlich muskulärer Veranlagung, Schmerzempfinden, neurologischer De- und Regeneration, ganz abgesehen von multiplen sozialen Faktoren, nicht erfassen. Nicht nur die Voraussetzungen, auch die individuellen Erwartungen müssen bei der Operationsplanung berücksichtigt werden.

### Korrekturverlust

In Deltagruppe I kam es zu einem Verlust der vorbestehenden zervikalen Lordose durch die Operation. Patienten in dieser Gruppe hatten einen vergleichsweise großen präoperativen C2/7 Winkel und wurden daher bevorzugt von posterior operiert. Möglicherweise kommt der Korrekturverlust durch eine Problematik bei der Positionierung des Kopfes und die Implantatwahl zustande. Ähnliches zeigten auch andere Studien [147]. Daher sollte bei Patienten mit großer Lordose genauer auf die korrekte Positionierung und das Alignment geachtet werden.

Der Verlust von lordotischer Korrektur in allen Gruppen im Vergleich von postoperativ bis zum letzten Follow-Up kann durch Nachsinterungsvorgänge erklärt werden. Er wurde weder durch den finalen Lordosewinkel noch das Ausmaß der Korrektur beeinflusst.

### Demografie

Das Alter des Auftretens für ZSM war bei Männern und Frauen gleich. Der Altersdurchschnitt des Patientenkollektivs entsprach dem in der Literatur üblichen und erklärt sich durch die degenerative Art der Erkrankung [20] [21]. Auch die große Altersspanne lässt sich in anderen Studien wiederfinden [152]. Mehr Angaben zu Prädisposition und sozialen Faktoren könnten das Auftreten von ZSM in den Patienten jungen Alters erklären.

Männer sind von der ZSM häufiger betroffen als Frauen, wie von den meisten Studien beschrieben [21] [169]. In unserem Patientenkollektiv ließ sich dieser Trend insofern beobachten, als dass mehr Männer als Frauen operiert wurden. Eine Dysbalance zeigte sich darin, dass prozentual mehr Männer als Frauen in der Gruppe der präoperativen Kyphose aufzufinden waren. Dadurch, dass in der Gruppe der präoperativen starken Hypolordose wiederum der Anteil an Frauen deutlich größer war, kam es insgesamt wohl wieder zu einem Ausgleich, sodass sie sich durchschnittlich Männer und Frauen in ihren präoperativen C2/7 Winkeln nicht unterschieden.

Frauen wurden im Durchschnitt stärker korrigiert als Männer. Auch wurde bei Frauen prozentual häufiger der vordere Zugangsweg gewählt als bei Männern. Durch diesen Zugangsweg lässt sich eine stärkere Korrektur vornehmen. Man mag annehmen, dass Frauen aufgrund des favorisierten Zugangsweges von vorne im Schnitt eine größere Korrektur erhielten. Warum bei Frauen häufiger ein anteriorer Zugangsweg gewählt wurde, lässt sich aus den vorliegenden Daten nicht erklären. Die erfassten Grundvoraussetzungen (präoperativer C2/7 Winkel und Alter) unterschieden sich nicht. Frauen klagten nicht über stärkere Schmerzen und auch der neurologische Status war annähernd gleich. Präoperative Angaben zu Art der Stenose, Anzahl der betroffenen Segmente und

vorhandener Instabilität könnten hier behilflich sein, den Sachverhalt zu klären. Männer und Frauen unterschieden sich nicht in ihrer neurologischen Erholung.

### Zugang und Operationsverfahren

Der deutlich favorisierte Zugangsweg von anterior im Gesamtkollektiv erklärt sich daraus, dass dieser Zugang gewählt wurde, wenn weniger als drei oder mehr Segmente betroffen waren und die häufigsten Raumforderungen, Bandscheibenvorfälle, von vorne besser zu entfernen sind. Ein gewählter posteriorer Zugang lässt indirekt auf eine fortgeschrittene oder schwere Erkrankung schließen, worauf auch der Unterschied im präoperativen C2/7 Winkel hindeutet. Weitere präoperative Informationen bezüglich der Anzahl der betroffenen Segmente und Richtung der komprimierenden Elemente wären hier interessant, lagen in dieser retrospektiven Studie jedoch nicht vor. Unabhängig vom gewählten Zugangsweg konnten gleiche finale Lordosewinkel und gleiche postoperative klinische Resultate erreicht werden.

Dasselbe lässt sich für die Operationsverfahren sagen. In dieser Untersuchung konnte bezüglich der klinischen Besserung nicht die Superiorität eines Operationsverfahrens bewiesen werden. Zu demselben Ergebnis kamen zahlreiche andere Studien [148] [149] [150] [151]. Wie der Vergleich von Delta- und Omegagruppen zeigt, konnte der zervikale C2/7 Winkel durch die Operation in allen Gruppen zu einem physiologischen Winkel hin verbessert werden. Die Operation änderte signifikant das zervikale Alignment und die klinischen Scores in allen Gruppen, wobei kein Verfahren oder Zugangsweg hinsichtlich der postoperativen Besserung einen signifikanten Unterschied zum anderen zeigte. Die Auswahl des Operationsverfahrens muss auf die individuell vorliegende Pathologie abgestimmt werden [40].

Dass die Schmerzen präoperativ bei der Single-Level ACDF am wenigsten ausgeprägt waren, mag daran liegen, dass dieses Verfahren vorwiegend bei einem noch milde ausgeprägten Erkrankungsbild gewählt wird. Obwohl die postoperativen Schmerzen und der postoperative mJOAS keine Unterschiede in den Verfahrensgruppen mehr aufwiesen, bewerteten nur 53% der Patienten in der Multi-Level ACDF Gruppe die Operation als Erfolg. Dies unterscheidet sich von der durchschnittlichen Bewertung des Therapieerfolges und sollte weiter erforscht werden. Möglicherweise bestanden bei dieser umfangreicheren Operation, welche bei fortgeschrittener ZSM angewandt wird, postoperativ anderweitige Beschwerden, die nicht in den VAS oder mJOAS eingingen. Einen signifikanten Unterschied gab es bei der Zeit bis zum Follow-Up: bei Single-Level ACDF vergingen zumeist weniger Monaten als bei Multi-Level ACDF. Möglicherweise

## 4. Diskussion

---

kann auch dies durch die längerfristige Inanspruchnahme von postoperativen Kontrollen bei Patienten mit präoperativ fortgeschrittenem Krankheitsbild erklärt werden. Die Spannweite der Zeit bis zum letzten Follow-Up ist in allen Gruppen sehr groß ausgeprägt.

### Zusammenhang zwischen präoperativem Alinement und Klinik

Betrachtet man das präoperative Alignment, so findet man eine große Spannbreite reichend von einem Minimum bei -50 und einem Maximum von +37 Grad. Dies bildet eine sehr heterogene Patientenkohorte, bei der ein gewisser Anteil eine kyphotische und das andere Extrem sogar eine hyperlordotische Ausgangslage besaß. Patienten mit einer präoperativen Kyphose waren durch einen deutlichen höheren männlichen Anteil und die längste Zeit bis zum letzten Follow-Up charakterisiert. Patienten mit einer präoperativen Hypolordose zeigten dagegen einen deutlich erhöhten weiblichen Anteil. Dies spiegelt sich noch in der Aufteilung nach finalem Lordosewinkel wider, bei der deutlich mehr Männer als Frauen in Gruppe I und mehr Frauen als Männer in Gruppe II vertreten sind.

Bei einem präoperativ beinahe „normalen“ Lordosewinkel zwischen 10 bis 20° gaben die Patienten präoperativ signifikant weniger Schmerzen an. Postoperativ fand sich kein Unterschied mehr in der Schmerzangabe oder der Bewertung des Operationserfolges. In ihrem mJOAS unterschieden sich die Patienten abhängig von ihrem präoperativen sagittalen Profil weder prä- noch postoperativ. Dies mag ein Hinweis dahingehend sein, dass das sagittale Profil keinen direkten Einfluss auf den neurologischen Status hat oder weitaus kompliziertere Coping-Mechanismen für eine zervikale Fehlstellung vorhanden sind. Prospektive Studien mit größeren Patientengruppen für präoperative Kyphose, Hypolordose, physiologische Lordose und Hyperlordose könnten zur Klärung dieses Sachverhaltes beitragen.

Zu beachten ist weiterhin, dass es einen signifikanten Unterschied bezüglich der präoperativen Verteilung des mJOAS abhängig von der präoperativen Schmerzhaftigkeit gab. Je höher die präoperativen Schmerzen, desto geringer der präoperative mJOAS. Hier sollte weiter erforscht werden, ob deshalb starke Schmerzen bestanden, da die Erkrankung bereits weit fortgeschritten und damit auch der neurologische Status eingeschränkt war, oder ob die ausgeprägten Schmerzen die Ausführung des mJOAS beeinträchtigen.

### Limitierungen

Die Auswertung erfolgte an prospektiv erhaltenen Daten, es handelte sich insgesamt jedoch um eine retrospektive Analyse. Damit ist diese Untersuchung den Limitierungen retrospektiver

## 4. Diskussion

---

Studien unterworfen. Die erarbeiteten Ergebnisse können die Hypothesen vorausgegangener Untersuchungen bekräftigen, sind aber nicht beweisend. Prospektive, randomisierte Multicenter-Studien mit großen Patientenzahlen werden benötigt, um den Sachverhalt hinreichend zu klären. Es mag zum Confounder gekommen sein, beispielsweise konnte der Impact der Erkrankungsdauer oder Vorerkrankungen nicht untersucht werden, da dies nicht hinreichend in den untersuchten Datensätzen dokumentiert war, das klinische Outcome aber multifaktoriell beeinflusst wird [170]. Aufgrund der großen Spannweite bis zum letzten Follow-Up kann ein Recall Bias aufgetreten sein. Zusätzlich erschweren die unterschiedlich langen Zeiträume bis zum Follow-Up die Vergleichbarkeit der postoperativen Angaben. Es kann zu bedeutenden klinischen und radiologischen Veränderungen in der Zeit bis zum letzten Follow-Up gekommen sein, welche nicht bei den Patienten erfasst wurden, die ein nur ein relativ zeitnahes Follow-Up erhielten. Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns ließ sich diese Fehlerquelle nicht vermeiden. Prospektive Studien mit festen Follow-Up Zeiten sind zu empfehlen, um diese Fehlerquelle zu minimieren. Eine weitere Quelle für Bias mag die Durchführung der Operation von verschiedenen Wirbelsäulenchirurgen bilden, da diese sich womöglich hinsichtlich persönlicher Vorlieben, Indikationsstellung für bestimmte Operationsverfahren etc. unterscheiden. Die Indikationsstellung richtete sich nach den allgemein anerkannten Parametern, ein verbindendes Protokoll wurde jedoch nicht befolgt. Die Indikation zur Single- oder Multi-Level Operation hing nicht nur vom Ausmaß der Rückenmarkskompression, sondern auch am zervikalen Alignment ab: eine bedeutende segmentale Kyphose wurde über einen Multi-Level vorderen Zugang korrigiert. Die Indikation für eine anteriore oder posteriore Operation hing ebenfalls von verschiedenen Faktoren ab: die Richtung der Rückenmarkskompression und die präoperative Kyphose. Daher beinhaltete die posteriore Gruppe nur Patienten mit einer präoperativen Lordose.

Weiterhin ist die Grundgesamtheit aller Patienten in der Datenbank nicht erfasst, sondern lediglich Patienten, die auch zu Nachkontrollen ins Vivantes Auguste-Viktoria-Klinikum und in die Sana-Einrichtungen kamen. Die primären Operationen waren teils an anderen Kliniken erfolgt, und viele der untersuchten Patienten stellten sich bei ihrem primären Operateur im Verlauf vor. Das stellt einen möglichen Bias mit potentieller Positiv- oder Negativselektion dar.

Die Komplikationen sind nur unzureichend erfasst und beinhalten lediglich erfolgte Re-Operationen oder radiologische Auffälligkeiten, wie z.B. Schraubenlockerung. Nicht erfasst sind bekannte Komplikationen anteriorer und dorsaler Zugänge, wie z.B. Recurrens-Parese oder Muskelatrophie.

Bei allen eingeschlossenen Patienten war bereits die Indikation zur Operation gestellt worden. Damit handelt es sich um eine heterogene Studienkohorte mit einem bereits fortgeschrittenen Krankheitsverlauf oder akuter Verschlechterung. Aussagen für Patienten mit beginnender ZSM lassen sich daher nicht machen.

Das verwendete Vergleichsinstrument für das zervikale Alignment, der Winkel nach Cobb, erlaubt nur Aussagen zur lokalen Ausrichtung und berücksichtigt nicht das globale Alignment. Valide Parameter zur Bewertung des globalen Alignements ausfindig zu machen ist Gegenstand aktueller Studien [171].

Eine analytische Ursache für Bias kann in der Gruppeneinteilung liegen. Für lordotische Patienten bestehen keine typischen Gruppeneinteilungen, sodass zur statistischen Vergleichbarkeit die Patientenkohorte in gleichstarke Gruppen aufgeteilt wurde. Die kyphotische Patientengruppe mag durch ihre relativ geringe Personenstärke underpowered gewesen sein.

### Zusammenfassung

Dekompression des Rückenmarks, Stabilisierung und ein lordotisches zervikales Profil vermeiden das Fortschreiten der ZSM zuverlässig und bewirken eine neurologische Erholung. Postoperatives Alignment und Ausmaß der Korrektur hatten nach den Ergebnissen dieser Arbeit keinen Einfluss auf das klinische Outcome. Eine Wiederherstellung einer physiologischen Halslordose wäre damit nicht zwingend erforderlich, wobei andere Gründe dafürsprechen mögen. Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand existiert keine Formel bezüglich des idealen Ausmaßes der Korrektur des zervikalen Alignements und des finalen Lordosewinkels. Die zervikale Kyphose bei ZSM sollte operativ eliminiert werden, um ein Fortbestehen oder eine Aggravation der Erkrankung zu verhindern. Die Messung und Definition zervikaler Fehlstellungen sind nicht abschließend geklärt. Vermutlich reicht die radiologische Betrachtung des Alignements nicht aus und kann die individuelle Faktorenverstrickung nicht hinreichend abbilden. Zur Erfassung der klinischen Parameter existieren zahlreiche erprobte Score Systeme, deren Standardisierung der Vorteil der besseren Vergleichbarkeit innewohnt. Aufgrund der progressiven Natur der Erkrankung und besserer operativer Ergebnisse bei präoperativ guter neurologischer Funktion sollte das therapeutische Konzept vor allem junger Patienten mit ZSM kritisch überdacht werden. Insgesamt ist die Datenlage zu gewissen zentralen Aspekten der ZSM, einer gut therapierbaren Erkrankung, die zu Invalidität während eines Lebensalters der Erwerbstätigkeit führt, trotz jahrzehntelanger Forschung überraschend lückenhaft. Prospektive Multicenter Studien mit großen

#### 4. Diskussion

---

Patientenkohorten sind notwendig, um die optimale Therapie für den individuellen Menschen zu finden.



### 5. Verzeichnisse

#### Literaturverzeichnis

1. Nouri, A., et al., *Degenerative Cervical Myelopathy: Epidemiology, Genetics, and Pathogenesis*. Spine (Phila Pa 1976), 2015. **40**(12): p. E675-93.
2. Kalsi-Ryan, S., S.K. Karadimas, and M.G. Fehlings, *Cervical spondylotic myelopathy: the clinical phenomenon and the current pathobiology of an increasingly prevalent and devastating disorder*. Neuroscientist, 2013. **19**(4): p. 409-21.
3. Lebl, D.R., et al., *Cervical spondylotic myelopathy: pathophysiology, clinical presentation, and treatment*. HSS J, 2011. **7**(2): p. 170-8.
4. Yarbrough, C.K., et al., *The natural history and clinical presentation of cervical spondylotic myelopathy*. Adv Orthop, 2012. **2012**: p. 480643.
5. Emery, S.E., *Cervical spondylotic myelopathy: diagnosis and treatment*. J Am Acad Orthop Surg, 2001. **9**(6): p. 376-88.
6. Karadimas, S.K., et al., *Pathophysiology and natural history of cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S21-36.
7. Baron, E.M. and W.F. Young, *Cervical spondylotic myelopathy: a brief review of its pathophysiology, clinical course, and diagnosis*. Neurosurgery, 2007. **60**(1 Suppl 1): p. S35-41.
8. Stookey, B., *Compression of the spinal cord due to ventral extradural chondromas*. AMA Arch Neurol Psychiat, 1928. **20**: p. 275-91.
9. Brain, W.R., D. Northfield, and M. Wilkinson, *The neurological manifestations of cervical spondylosis*. Brain, 1952. **75**(2): p. 187-225.
10. Clarke, E. and P.K. Robinson, *Cervical myelopathy: a complication of cervical spondylosis*. Brain, 1956. **79**(3): p. 483-510.
11. Payne, E.E. and J.D. Spillane, *The cervical spine; an anatomico-pathological study of 70 specimens (using a special technique) with particular reference to the problem of cervical spondylosis*. Brain, 1957. **80**(4): p. 571-96.
12. Matz, P.G., et al., *The natural history of cervical spondylotic myelopathy*. J Neurosurg Spine, 2009. **11**(2): p. 104-11.
13. Lawrence, B.D., et al., *Surgical management of degenerative cervical myelopathy: a consensus statement*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S171-2.
14. Pinto, W.B., et al., *Clinical and epidemiological profiles of non-traumatic myelopathies*. Arq Neuropsiquiatr, 2016. **74**(2): p. 161-5.
15. Fehlings, M.G., et al., *Cervical spondylotic myelopathy: current state of the art and future directions*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S1-8.
16. Tracy, J.A. and J.D. Bartleson, *Cervical spondylotic myelopathy*. Neurologist, 2010. **16**(3): p. 176-87.
17. Klineberg, E., *Cervical spondylotic myelopathy: a review of the evidence*. Orthop Clin North Am, 2010. **41**(2): p. 193-202.
18. Iyer, A., T.D. Azad, and S. Tharin, *Cervical Spondylotic Myelopathy*. Clin Spine Surg, 2016.
19. Baptiste, D.C. and M.G. Fehlings, *Pathophysiology of cervical myelopathy*. Spine J, 2006. **6**(6 Suppl): p. 190s-197s.
20. Toledano, M. and J.D. Bartleson, *Cervical spondylotic myelopathy*. Neurol Clin, 2013. **31**(1): p. 287-305.
21. Machino, M., et al., *The prevalence of pre- and postoperative symptoms in patients with cervical spondylotic myelopathy treated by cervical laminoplasty*. Spine (Phila Pa 1976), 2012. **37**(22): p. E1383-8.
22. Hayashi, H., et al., *Cervical spondylotic myelopathy in the aged patient. A radiographic evaluation of the aging changes in the cervical spine and etiologic factors of myelopathy*.

- Spine (Phila Pa 1976), 1988. **13**(6): p. 618-25.
23. Boogaarts, H.D. and R.H. Bartels, *Prevalence of cervical spondylotic myelopathy*. Eur Spine J, 2015. **24 Suppl 2**: p. 139-41.
  24. New, P.W., R.A. Cripps, and B. Bonne Lee, *Global maps of non-traumatic spinal cord injury epidemiology: towards a living data repository*. Spinal Cord, 2014. **52**(2): p. 97-109.
  25. Meyer, F., W. Borm, and C. Thome, *Degenerative cervical spinal stenosis: current strategies in diagnosis and treatment*. Dtsch Arztebl Int, 2008. **105**(20): p. 366-72.
  26. Lebl, D.R. and C.M. Bono, *Update on the Diagnosis and Management of Cervical Spondylotic Myelopathy*. J Am Acad Orthop Surg, 2015. **23**(11): p. 648-60.
  27. Okada, E., et al., *Aging of the cervical spine in healthy volunteers: a 10-year longitudinal magnetic resonance imaging study*. Spine (Phila Pa 1976), 2009. **34**(7): p. 706-12.
  28. Tetreault, L., et al., *Degenerative Cervical Myelopathy: A Spectrum of Related Disorders Affecting the Aging Spine*. Neurosurgery, 2015. **77 Suppl 4**: p. S51-67.
  29. Yu, L., et al., *Relationship Between Signal Changes on T2-weighted Magnetic Resonance Images and Cervical Dynamics in Cervical Spondylotic Myelopathy*. J Spinal Disord Tech, 2015. **28**(6): p. E365-7.
  30. Breig, A., I. Turnbull, and O. Hassler, *Effects of mechanical stresses on the spinal cord in cervical spondylosis. A study on fresh cadaver material*. J Neurosurg, 1966. **25**(1): p. 45-56.
  31. Muhle, C., et al., *Dynamic changes of the spinal canal in patients with cervical spondylosis at flexion and extension using magnetic resonance imaging*. Invest Radiol, 1998. **33**(8): p. 444-9.
  32. Morishita, Y., M. Naito, and J.C. Wang, *Cervical spinal canal stenosis: the differences between stenosis at the lower cervical and multiple segment levels*. Int Orthop, 2011. **35**(10): p. 1517-22.
  33. Rao, R., *Neck pain, cervical radiculopathy, and cervical myelopathy: pathophysiology, natural history, and clinical evaluation*. Instr Course Lect, 2003. **52**: p. 479-88.
  34. Brain, W.R., G.C. Knight, and J.W. Bull, *Discussion of rupture of the intervertebral disc in the cervical region*. Proc R Soc Med, 1948. **41**(8): p. 509-16.
  35. White, A.A., 3rd and M.M. Panjabi, *Biomechanical considerations in the surgical management of cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 1988. **13**(7): p. 856-60.
  36. Kato, Y., et al., *Biomechanical study of cervical flexion myelopathy using a three-dimensional finite element method*. J Neurosurg Spine, 2008. **8**(5): p. 436-41.
  37. McCormack, B.M. and P.R. Weinstein, *Cervical spondylosis. An update*. West J Med, 1996. **165**(1-2): p. 43-51.
  38. Fehlings, M.G. and G. Skaf, *A review of the pathophysiology of cervical spondylotic myelopathy with insights for potential novel mechanisms drawn from traumatic spinal cord injury*. Spine (Phila Pa 1976), 1998. **23**(24): p. 2730-7.
  39. Yu, W.R., et al., *Human neuropathological and animal model evidence supporting a role for Fas-mediated apoptosis and inflammation in cervical spondylotic myelopathy*. Brain, 2011. **134**(Pt 5): p. 1277-92.
  40. Shamji, M.F., et al., *The Association of Cervical Spine Alignment with Neurologic Recovery in a Prospective Cohort of Patients with Surgical Myelopathy: Analysis of a Series of 124 Cases*. World Neurosurg, 2016. **86**: p. 112-9.
  41. Scheer, J.K., et al., *Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review*. J Neurosurg Spine, 2013. **19**(2): p. 141-59.
  42. Shimizu, K., et al., *Spinal kyphosis causes demyelination and neuronal loss in the spinal cord: a new model of kyphotic deformity using juvenile Japanese small game fowls*. Spine (Phila Pa 1976), 2005. **30**(21): p. 2388-92.

43. Braakman, R., *Management of cervical spondylotic myelopathy and radiculopathy*. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 1994. **57**(3): p. 257-63.
44. Morishita, Y., et al., *The relationship between the cervical spinal canal diameter and the pathological changes in the cervical spine*. Eur Spine J, 2009. **18**(6): p. 877-83.
45. Quarrie, K.L., R.C. Cantu, and D.J. Chalmers, *Rugby union injuries to the cervical spine and spinal cord*. Sports Med, 2002. **32**(10): p. 633-53.
46. Wada, E., et al., *Experimental spondylosis in the rabbit spine. Overuse could accelerate the spondylosis*. Spine (Phila Pa 1976), 1992. **17**(3 Suppl): p. S1-6.
47. Sadasivan, K.K., R.P. Reddy, and J.A. Albright, *The natural history of cervical spondylotic myelopathy*. Yale J Biol Med, 1993. **66**(3): p. 235-42.
48. Bednarik, J., et al., *Presymptomatic spondylotic cervical cord compression*. Spine (Phila Pa 1976), 2004. **29**(20): p. 2260-9.
49. Montgomery, D.M. and R.S. Brower, *Cervical spondylotic myelopathy. Clinical syndrome and natural history*. Orthop Clin North Am, 1992. **23**(3): p. 487-93.
50. Chaiyamongkol, W., et al., *The Significance of the Tromner Sign in Cervical Spondylotic Myelopathy Patient*. Clin Spine Surg, 2016.
51. Carette, S. and M.G. Fehlings, *Clinical practice. Cervical radiculopathy*. N Engl J Med, 2005. **353**(4): p. 392-9.
52. Crandall, P.H. and U. Batzdorf, *Cervical spondylotic myelopathy*. J Neurosurg, 1966. **25**(1): p. 57-66.
53. Kato, S., et al., *Comparison of the Japanese Orthopaedic Association (JOA) score and modified JOA (mJOA) score for the assessment of cervical myelopathy: a multicenter observational study*. PLoS One, 2015. **10**(4): p. e0123022.
54. Fujiwara, A., et al., *Association of the Japanese Orthopaedic Association score with the Oswestry Disability Index, Roland-Morris Disability Questionnaire, and short-form 36*. Spine (Phila Pa 1976), 2003. **28**(14): p. 1601-7.
55. Nurick, S., *The pathogenesis of the spinal cord disorder associated with cervical spondylosis*. Brain, 1972. **95**(1): p. 87-100.
56. Revanappa, K.K. and V. Rajshekhar, *Comparison of Nurick grading system and modified Japanese Orthopaedic Association scoring system in evaluation of patients with cervical spondylotic myelopathy*. Eur Spine J, 2011. **20**(9): p. 1545-51.
57. Arnold, J.G., Jr., *The clinical manifestations of spondylochondrosis (spondylosis) of the cervical spine*. Ann Surg, 1955. **141**(6): p. 872-89.
58. Wolf, B.S., M. Khilnani, and L. Malis, *The sagittal diameter of the bony cervical spinal canal and its significance in cervical spondylosis*. J Mt Sinai Hosp N Y, 1956. **23**(3): p. 283-92.
59. Torg, J.S., et al., *Neurapraxia of the cervical spinal cord with transient quadriplegia*. J Bone Joint Surg Am, 1986. **68**(9): p. 1354-70.
60. Ames, C.P., et al., *Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S149-60.
61. Smith, J.S., et al., *Association of myelopathy scores with cervical sagittal balance and normalized spinal cord volume: analysis of 56 preoperative cases from the AOSpine North America Myelopathy study*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S161-70.
62. Theologis, A.A., et al., *Three-column osteotomies of the lower cervical and upper thoracic spine: comparison of early outcomes, radiographic parameters, and peri-operative complications in 48 patients*. Eur Spine J, a2015. **24 Suppl 1**: p. S23-30.
63. Mastronardi, L., et al., *Prognostic relevance of the postoperative evolution of intramedullary spinal cord changes in signal intensity on magnetic resonance imaging after anterior decompression for cervical spondylotic myelopathy*. J Neurosurg Spine, 2007.

- 7(6): p. 615-22.
64. Suri, A., et al., *Effect of intramedullary signal changes on the surgical outcome of patients with cervical spondylotic myelopathy*. Spine J, 2003. **3**(1): p. 33-45.
  65. Floeth, F.W., et al., *Hypermetabolism in 18F-FDG PET predicts favorable outcome following decompressive surgery in patients with degenerative cervical myelopathy*. J Nucl Med, 2013. **54**(9): p. 1577-83.
  66. Uchida, K., et al., *Clinical significance of MRI/(18)F-FDG PET fusion imaging of the spinal cord in patients with cervical compressive myelopathy*. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2012. **39**(10): p. 1528-37.
  67. Zhang, Y.Z., et al., *Magnetic resonance T2 image signal intensity ratio and clinical manifestation predict prognosis after surgical intervention for cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2010. **35**(10): p. E396-9.
  68. Tetreault, L.A., et al., *A clinical prediction model to determine outcomes in patients with cervical spondylotic myelopathy undergoing surgical treatment: data from the prospective, multi-center AOSpine North America study*. J Bone Joint Surg Am, 2013. **95**(18): p. 1659-66.
  69. Curylo, L.J., et al., *Tortuous course of the vertebral artery and anterior cervical decompression: a cadaveric and clinical case study*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(22): p. 2860-4.
  70. Young, J.P., et al., *The ponticulus posticus: implications for screw insertion into the first cervical lateral mass*. J Bone Joint Surg Am, 2005. **87**(11): p. 2495-8.
  71. Kanchiku, T., et al., *A correlation between magnetic resonance imaging and electrophysiological findings in cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2001. **26**(13): p. E294-9.
  72. Hoshimaru, M., *Neuropsychological improvement in patients with cervical spondylotic myelopathy after posterior decompression surgery*. Neurol Med Chir (Tokyo), 2010. **50**(7): p. 554-9.
  73. Tetreault, L., et al., *The modified Japanese Orthopaedic Association scale: establishing criteria for mild, moderate and severe impairment in patients with degenerative cervical myelopathy*. 2016.
  74. Kadanka, Z., et al., *Cervical spondylotic myelopathy: conservative versus surgical treatment after 10 years*. Eur Spine J, 2011. **20**(9): p. 1533-8.
  75. Shimomura, T., et al., *Prognostic factors for deterioration of patients with cervical spondylotic myelopathy after nonsurgical treatment*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**(22): p. 2474-9.
  76. Ghobrial, G.M. and J.S. Harrop, *Surgery vs Conservative Care for Cervical Spondylotic Myelopathy: Nonoperative Operative Management*. Neurosurgery, 2015. **62** Suppl 1: p. 62-5.
  77. Rhee, J.M., et al., *Nonoperative management of cervical myelopathy: a systematic review*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S55-67.
  78. Karpova, A., et al., *Predictors of surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(5): p. 392-400.
  79. Fehlings, M.G., et al., *Symptomatic progression of cervical myelopathy and the role of nonsurgical management: a consensus statement*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S19-20.
  80. Ghogawala, Z., et al., *Surgery vs Conservative Care for Cervical Spondylotic Myelopathy: Surgery Is Appropriate for Progressive Myelopathy*. Neurosurgery, 2015. **62** Suppl 1: p. 56-61.
  81. Sampath, P., et al., *Outcome of patients treated for cervical myelopathy. A prospective, multicenter study with independent clinical review*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(6): p.

- 670-6.
82. Handa, Y., et al., *Evaluation of prognostic factors and clinical outcome in elderly patients in whom expansive laminoplasty is performed for cervical myelopathy due to multisegmental spondylotic canal stenosis. A retrospective comparison with younger patients.* J Neurosurg, 2002. **96**(2 Suppl): p. 173-9.
  83. Tetreault, L.A., A. Karpova, and M.G. Fehlings, *Predictors of outcome in patients with degenerative cervical spondylotic myelopathy undergoing surgical treatment: results of a systematic review.* Eur Spine J, 2015. **24 Suppl 2**: p. 236-51.
  84. Tang, J.A., et al., *The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery.* Neurosurgery, 2015. **76 Suppl 1**: p. S14-21; discussion S21.
  85. Fehlings, M.G., et al., *Efficacy and safety of surgical decompression in patients with cervical spondylotic myelopathy: results of the AOSpine North America prospective multicenter study.* J Bone Joint Surg Am, 2013. **95**(18): p. 1651-8.
  86. Tetreault, L., et al., *Clinical and Surgical Predictors of Complications Following Surgery for the Treatment of Cervical Spondylotic Myelopathy: Results From the Multicenter, Prospective AOSpine International Study of 479 Patients.* Neurosurgery, 2016. **79**(1): p. 33-44.
  87. Rao, R.D., et al., *Degenerative cervical spondylosis: clinical syndromes, pathogenesis, and management.* Instr Course Lect, 2008. **57**: p. 447-69.
  88. Witwer, B.P. and G.R. Trost, *Cervical spondylosis: ventral or dorsal surgery.* Neurosurgery, 2007. **60**(1 Suppl 1): p. S130-6.
  89. Liu, X., et al., *Anterior corpectomy versus posterior laminoplasty for multilevel cervical myelopathy: a systematic review and meta-analysis.* Eur Spine J, 2014. **23**(2): p. 362-72.
  90. Alvin, M.D., et al., *Ventral fusion versus dorsal fusion: determining the optimal treatment for cervical spondylotic myelopathy.* Neurosurg Focus, 2013. **35**(1): p. E5.
  91. Lawrence, B.D., et al., *Anterior versus posterior approach for treatment of cervical spondylotic myelopathy: a systematic review.* Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S173-82.
  92. Zhu, B., et al., *Anterior approach versus posterior approach for the treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy: a systemic review and meta-analysis.* Eur Spine J, 2013. **22**(7): p. 1583-93.
  93. Shamji, M.F., et al., *Impact of preoperative neurological status on perioperative morbidity associated with anterior and posterior cervical fusion.* J Neurosurg Spine, 2008. **9**(1): p. 10-6.
  94. Fehlings, M.G., et al., *Anterior versus posterior surgical approaches to treat cervical spondylotic myelopathy: outcomes of the prospective multicenter AOSpine North America CSM study in 264 patients.* Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(26): p. 2247-52.
  95. Fehlings, M.G., et al., *Perioperative and delayed complications associated with the surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy based on 302 patients from the AOSpine North America Cervical Spondylotic Myelopathy Study.* J Neurosurg Spine, 2012. **16**(5): p. 425-32.
  96. Mummaneni, P.V., et al., *Cervical surgical techniques for the treatment of cervical spondylotic myelopathy.* J Neurosurg Spine, 2009. **11**(2): p. 130-41.
  97. Wada, E., et al., *Subtotal corpectomy versus laminoplasty for multilevel cervical spondylotic myelopathy: a long-term follow-up study over 10 years.* Spine (Phila Pa 1976), 2001. **26**(13): p. 1443-7; discussion 1448.
  98. Smith, G.W. and R.A. Robinson, *The treatment of certain cervical-spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion.* J Bone Joint Surg Am, 1958. **40-A**(3): p. 607-24.

99. Cloward, R.B., *The anterior approach for removal of ruptured cervical disks*. J Neurosurg, 1958. **15**(6): p. 602-17.
100. Oh, M.C., et al., *Two-level anterior cervical discectomy versus one-level corpectomy in cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2009. **34**(7): p. 692-6.
101. Seifert, V. and D. Stolke, *Multisegmental cervical spondylosis: treatment by spondylectomy, microsurgical decompression, and osteosynthesis*. Neurosurgery, 1991. **29**(4): p. 498-503.
102. Gore, D.R., *The arthrodesis rate in multilevel anterior cervical fusions using autogenous fibula*. Spine (Phila Pa 1976), 2001. **26**(11): p. 1259-63.
103. Xiao, S.W., et al., *Anterior cervical discectomy versus corpectomy for multilevel cervical spondylotic myelopathy: a meta-analysis*. Eur Spine J, 2015. **24**(1): p. 31-9.
104. Guan, L., et al., *Anterior cervical discectomy and fusion may be more effective than anterior cervical corpectomy and fusion for the treatment of cervical spondylotic myelopathy*. BMC Musculoskelet Disord, 2015. **16**: p. 29.
105. Han, Y.C., et al., *Is anterior cervical discectomy and fusion superior to corpectomy and fusion for treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy? A systemic review and meta-analysis*. PLoS One, 2014. **9**(1): p. e87191.
106. Ebersold, M.J., M.C. Pare, and L.M. Quast, *Surgical treatment for cervical spondylitic myelopathy*. J Neurosurg, 1995. **82**(5): p. 745-51.
107. Epstein, J.A., *The surgical management of cervical spinal stenosis, spondylosis, and myeloradiculopathy by means of the posterior approach*. Spine (Phila Pa 1976), 1988. **13**(7): p. 864-9.
108. Heller, J.G., et al., *Laminoplasty versus laminectomy and fusion for multilevel cervical myelopathy: an independent matched cohort analysis*. Spine (Phila Pa 1976), 2001. **26**(12): p. 1330-6.
109. Yoon, S.T., et al., *Outcomes after laminoplasty compared with laminectomy and fusion in patients with cervical myelopathy: a systematic review*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S183-94.
110. Kiely, P.D., et al., *Posterior surgical treatment of cervical spondylotic myelopathy: review article*. Hss j, 2015. **11**(1): p. 36-42.
111. Lee, C.H., et al., *Laminoplasty versus laminectomy and fusion for multilevel cervical myelopathy: a meta-analysis of clinical and radiological outcomes*. J Neurosurg Spine, 2015. **22**(6): p. 589-95.
112. Douglas, A.F. and P.R. Cooper, *Cervical corpectomy and strut grafting*. Neurosurgery, 2007. **60**(1 Suppl 1): p. S137-42.
113. Kim, P.K. and J.T. Alexander, *Indications for circumferential surgery for cervical spondylotic myelopathy*. Spine J, 2006. **6**(6 Suppl): p. 299s-307s.
114. Karadimas, S.K., et al., *Riluzole blocks perioperative ischemia-reperfusion injury and enhances postdecompression outcomes in cervical spondylotic myelopathy*. Sci Transl Med, 2015. **7**(316): p. 316ra194.
115. Tetreault, L., et al., *The Impact of Depression and Bipolar Disorders on Functional and Quality of Life Outcomes in Patients Undergoing Surgery for Degenerative Cervical Myelopathy: Analysis of a Combined Prospective Dataset*. Spine (Phila Pa 1976), 2016.
116. Arnold, P.M., et al., *162 Tobacco Smoking and Outcomes of Surgical Decompression in Patients With Symptomatic Degenerative Cervical Spondylotic Myelopathy*. Neurosurgery, 2016. **63** Suppl 1: p. 165.
117. Furlan, J.C., et al., *Functional and clinical outcomes following surgical treatment in patients with cervical spondylotic myelopathy: a prospective study of 81 cases*. J Neurosurg Spine, 2011. **14**(3): p. 348-55.
118. Kadanka, Z., et al., *Predictive factors for spondylotic cervical myelopathy treated conservatively or surgically*. Eur J Neurol, 2005. **12**(1): p. 55-63.

119. Holly, L.T., et al., *Clinical prognostic indicators of surgical outcome in cervical spondylotic myelopathy*. J Neurosurg Spine, 2009. **11**(2): p. 112-8.
120. Fujiwara, K., et al., *The prognosis of surgery for cervical compression myelopathy. An analysis of the factors involved*. J Bone Joint Surg Br, 1989. **71**(3): p. 393-8.
121. Shriver, M.F., et al., *Pseudoarthrosis rates in anterior cervical discectomy and fusion: a meta-analysis*. Spine J, 2015. **15**(9): p. 2016-27.
122. Villavicencio, A.T., et al., *The safety of instrumented outpatient anterior cervical discectomy and fusion*. Spine J, 2007. **7**(2): p. 148-53.
123. Hilibrand, A.S. and M. Robbins, *Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: the consequences of spinal fusion?* Spine J, 2004. **4**(6 Suppl): p. 190S-194S.
124. Herkowitz, H.N., L.T. Kurz, and D.P. Overholt, *Surgical management of cervical soft disc herniation. A comparison between the anterior and posterior approach*. Spine (Phila Pa 1976), 1990. **15**(10): p. 1026-30.
125. Lunardini, D.J., et al., *Vertebral artery injuries in cervical spine surgery*. Spine J, 2014. **14**(8): p. 1520-5.
126. Chen, C.C., et al., *Long-term result of vocal cord paralysis after anterior cervical discectomy*. Eur Spine J, 2014. **23**(3): p. 622-6.
127. Burke, J.P., P.C. Gerszten, and W.C. Welch, *Iatrogenic vertebral artery injury during anterior cervical spine surgery*. Spine J, 2005. **5**(5): p. 508-14; discussion 514.
128. Smith, M.D., et al., *Vertebral artery injury during anterior decompression of the cervical spine. A retrospective review of ten patients*. J Bone Joint Surg Br, 1993. **75**(3): p. 410-5.
129. Fountas, K.N., et al., *Anterior cervical discectomy and fusion associated complications*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**(21): p. 2310-7.
130. Ebraheim, N.A., et al., *Vulnerability of the sympathetic trunk during the anterior approach to the lower cervical spine*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(13): p. 1603-6.
131. Tetreault, L., et al., *A systematic review of clinical and surgical predictors of complications following surgery for degenerative cervical myelopathy*. J Neurosurg Spine, 2016. **24**(1): p. 77-99.
132. Ohnari, H., et al., *Investigation of axial symptoms after cervical laminoplasty, using questionnaire survey*. Spine J, 2006. **6**(3): p. 221-7.
133. Matsumoto, M., et al., *Risk factors for closure of lamina after open-door laminoplasty*. J Neurosurg Spine, 2008. **9**(6): p. 530-7.
134. Kaptain, G.J., et al., *Incidence and outcome of kyphotic deformity following laminectomy for cervical spondylotic myelopathy*. J Neurosurg, 2000. **93**(2 Suppl): p. 199-204.
135. Kurakawa, T., et al., *C5 nerve palsy after posterior reconstruction surgery: predictive risk factors of the incidence and critical range of correction for kyphosis*. Eur Spine J, 2016. **25**(7): p. 2060-7.
136. Shou, F., et al., *Prevalence of C5 nerve root palsy after cervical decompressive surgery: a meta-analysis*. Eur Spine J, 2015. **24**(12): p. 2724-34.
137. Kaneyama, S., et al., *Prospective study and multivariate analysis of the incidence of C5 palsy after cervical laminoplasty*. Spine (Phila Pa 1976), 2010. **35**(26): p. E1553-8.
138. Sakaura, H., et al., *C5 palsy after decompression surgery for cervical myelopathy: review of the literature*. Spine (Phila Pa 1976), 2003. **28**(21): p. 2447-51.
139. Andaluz, N., M. Zuccarello, and C. Kuntz, *Long-term follow-up of cervical radiographic sagittal spinal alignment after 1- and 2-level cervical corpectomy for the treatment of spondylosis of the subaxial cervical spine causing radiculomyelopathy or myelopathy: a retrospective study*. J Neurosurg Spine, 2012. **16**(1): p. 2-7.
140. Gum, J.L., et al., *Correlation between cervical spine sagittal alignment and clinical outcome after anterior cervical discectomy and fusion*. Am J Orthop (Belle Mead NJ), 2012. **41**(6): p. E81-4.

141. Wu, W.J., et al., *Cage subsidence does not, but cervical lordosis improvement does affect the long-term results of anterior cervical fusion with stand-alone cage for degenerative cervical disc disease: a retrospective study*. Eur Spine J, 2012. **21**(7): p. 1374-82.
142. Mohanty, C., et al., *Association of preoperative cervical spine alignment with spinal cord magnetic resonance imaging hyperintensity and myelopathy severity: analysis of a series of 124 cases*. Spine (Phila Pa 1976), 2015. **40**(1): p. 11-6.
143. Hu, X., et al., *Restoration of Cervical Alignment is Associated with Improved Clinical Outcome after One and Two Level Anterior Cervical Discectomy and Fusion*. Int J Spine Surg, 2015. **9**: p. 61.
144. Hjerstad, M.J., et al., *Studies comparing Numerical Rating Scales, Verbal Rating Scales, and Visual Analogue Scales for assessment of pain intensity in adults: a systematic literature review*. J Pain Symptom Manage, 2011. **41**(6): p. 1073-93.
145. Odom, G.L., W. Finney, and B. Woodhall, *Cervical disk lesions*. J Am Med Assoc, 1958. **166**(1): p. 23-8.
146. Harrison, D.E., et al., *Cobb method or Harrison posterior tangent method: which to choose for lateral cervical radiographic analysis*. Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(16): p. 2072-8.
147. Lee, C.K., et al., *Correlation between cervical spine sagittal alignment and clinical outcome after cervical laminoplasty for ossification of the posterior longitudinal ligament*. J Neurosurg Spine, 2016. **24**(1): p. 100-7.
148. Cabraja, M., et al., *Anterior cervical discectomy and fusion: comparison of titanium and polyetheretherketone cages*. BMC Musculoskelet Disord, 2012. **13**: p. 172.
149. Li, X., et al., *Different Approaches for Treating Multilevel Cervical Spondylotic Myelopathy: A Retrospective Study of 153 Cases from a Single Spinal Center*. PLoS One, 2015. **10**(10): p. e0140031.
150. Traynelis, V.C., et al., *Alternative procedures for the treatment of cervical spondylotic myelopathy: arthroplasty, oblique corpectomy, skip laminectomy: evaluation of comparative effectiveness and safety*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S210-31.
151. Cabraja, M., et al., *Comparison between anterior and posterior decompression with instrumentation for cervical spondylotic myelopathy: sagittal alignment and clinical outcome*. Neurosurg Focus, 2010. **28**(3): p. E15.
152. Lee, J.Y., et al., *Loss of lordosis and clinical outcomes after anterior cervical fusion with dynamic rotational plates*. Yonsei Med J, 2013. **54**(3): p. 726-31.
153. Hansen, M.A., et al., *Does postsurgical cervical deformity affect the risk of cervical adjacent segment pathology? A systematic review*. Spine (Phila Pa 1976), 2012. **37**(22 Suppl): p. S75-84.
154. Shamji, M.F., et al., *Myelopathy and spinal deformity: relevance of spinal alignment in planning surgical intervention for degenerative cervical myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S147-8.
155. Tang, J.A., et al., *The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery*. Neurosurgery, 2012. **71**(3): p. 662-9; discussion 669.
156. Hann, S., et al., *An algorithmic strategy for selecting a surgical approach in cervical deformity correction*. Neurosurg Focus, 2014. **36**(5): p. E5.
157. Ahn, J.S., J.K. Lee, and B.K. Kim, *Prognostic factors that affect the surgical outcome of the laminoplasty in cervical spondylotic myelopathy*. Clin Orthop Surg, 2010. **2**(2): p. 98-104.
158. Hamburger, C., A. Buttner, and E. Uhl, *The cross-sectional area of the cervical spinal canal in patients with cervical spondylotic myelopathy. Correlation of preoperative and postoperative area with clinical symptoms*. Spine (Phila Pa 1976), 1997. **22**(17): p. 1990-4; discussion 1995.



159. Gu, J., et al., *Predictors of surgical outcome in ossification of the posterior longitudinal ligament*. Clin Neurol Neurosurg, 2015. **139**: p. 319-23.
160. Azhari, S., et al., *Surgical Outcomes and Correlation of the Copenhagen Neck Functional Disability Scale and Modified Japanese Orthopedic Association Assessment Scales in Patients with Cervical Spondylotic Myelopathy*. Asian Spine J, 2016. **10**(3): p. 488-94.
161. Vernon, H., *The Neck Disability Index: state-of-the-art, 1991-2008*. J Manipulative Physiol Ther, 2008. **31**(7): p. 491-502.
162. Kuntz, C.t., et al., *Spinal deformity: a new classification derived from neutral upright spinal alignment measurements in asymptomatic juvenile, adolescent, adult, and geriatric individuals*. Neurosurgery, 2008. **63**(3 Suppl): p. 25-39.
163. Lee, S.H., et al., *The influence of thoracic inlet alignment on the craniocervical sagittal balance in asymptomatic adults*. J Spinal Disord Tech, 2012. **25**(2): p. E41-7.
164. Singhatanadgige, W., et al., *Correlation and Reliability of Cervical Sagittal Alignment Parameters between Lateral Cervical Radiograph and Lateral Whole-Body EOS Stereoradiograph*. Global Spine J, 2016. **6**(6): p. 548-54.
165. Woo-Kie, M.J., U., *Kyphotic neck and correlation with clinical outcome*. J Korean Soc Spine Surg., 2016. **23**(1): p. 54-62.
166. Park, J.H., et al., *T1 Slope and Cervical Sagittal Alignment on Cervical CT Radiographs of Asymptomatic Persons*. J Korean Neurosurg Soc, 2013. **53**(6): p. 356-9.
167. Lee, S.H., et al., *Factors determining cervical spine sagittal balance in asymptomatic adults: correlation with spinopelvic balance and thoracic inlet alignment*. Spine J, 2015. **15**(4): p. 705-12.
168. Nunez-Pereira, S., et al., *Sagittal balance of the cervical spine: an analysis of occipitocervical and spinopelvic interdependence, with C-7 slope as a marker of cervical and spinopelvic alignment*. J Neurosurg Spine, 2015. **23**(1): p. 16-23.
169. Wu, J.C., et al., *Epidemiology of cervical spondylotic myelopathy and its risk of causing spinal cord injury: a national cohort study*. Neurosurg Focus, 2013. **35**(1): p. E10.
170. Smith, J.S., et al., *Comparison of best versus worst clinical outcomes for adult spinal deformity surgery: a retrospective review of a prospectively collected, multicenter database with 2-year follow-up*. J Neurosurg Spine, 2015. **23**(3): p. 349-59.
171. Protosaltis, T.S., et al., *How the neck affects the back: changes in regional cervical sagittal alignment correlate to HRQOL improvement in adult thoracolumbar deformity patients at 2-year follow-up*. J Neurosurg Spine, 2015. **23**(2): p. 153-8.

### Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des C2/7 Winkels nach Cobb.....	11
Abbildung 2: Altersverteilung im Gesamtkollektiv .....	21
Abbildung 3: C2/7 Winkel nach Zugangsweg im Gesamtkollektiv.....	22
Abbildung 4: Verteilung der OP-Verfahren im Gesamtkollektiv .....	23
Abbildung 5: Zeit bis zum Follow-Up nach OP-Verfahren im Gesamtkollektiv.....	23
Abbildung 6: C2/7 Winkel nach OP-Verfahren im Gesamtkollektiv .....	24
Abbildung 7: Deltawinkel nach Operationsverfahren im Gesamtkollektiv .....	25
Abbildung 8: Präoperative Schmerzen nach Operationsmethode im Gesamtkollektiv .....	26
Abbildung 9: Odom's Score nach OP-Verfahren im Gesamtkollektiv .....	26
Abbildung 10: C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv.....	27
Abbildung 11: Zeit bis zum Follow-Up nach präoperativem C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv..	29
Abbildung 12: Geschlechtsverteilung nach präoperativem C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv ....	29
Abbildung 13: Präoperative Schmerzen nach präoperativem C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv .	30
Abbildung 14: Verhältnis von mJOAS prä- und postoperativ im Gesamtkollektiv .....	31
Abbildung 15: Zusammenhang zwischen prä- und postoperativem mJOAS im Gesamtkollektiv .....	31
Abbildung 16: neurologischer Status prä- und postoperativ nach präoperativer Schmerzangabe im Gesamtkollektiv .....	32
Abbildung 17: Odom's Score im Gesamtkollektiv.....	33
Abbildung 18: Geschlechtsverteilung in den Omegagruppen.....	35
Abbildung 19: Zeit bis zum Follow-Up in den Omegagruppen.....	35
Abbildung 20: Verteilung der OP-Verfahren in den Omegagruppen .....	36
Abbildung 21: Verteilung der Zugangswege in den Omegagruppen .....	37
Abbildung 22: Vergleich prä- zu finalem C2/7 Winkel in den Omegagruppen .....	38
Abbildung 23: Deltawinkel in den Omegagruppen.....	39
Abbildung 24 Vergleich prä- und postoperative Schmerzen in den Omegagruppen .....	41
Abbildung 25: Odom's Scores in den Omegagruppen .....	41
Abbildung 26: Verteilung der OP-Verfahren in den Deltagruppen .....	43
Abbildung 27: Verteilung der Zugangswege in den Deltagruppen .....	44
Abbildung 28: Vergleich prä- zu finalem C2/7 Winkel in den Deltagruppen .....	45
Abbildung 29: Vergleich prä- zu postoperativem mJOAS in den Deltagruppen .....	46
Abbildung 30: Vergleich von prä- zu postoperativen Schmerzen in den Deltagruppen .....	47
Abbildung 31: Odom's Scores in den Deltagruppen .....	48
Abbildung 32: Schematische Darstellung von C2/7 SVA und Thoracic inlet angle .....	54
Abbildung 33: Vergleich C2/7 Cobb Winkel und C2/7 SVA .....	55

### Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Das modifizierte Japanese Orthopaedic Association Score System des neurologischen Funktionsstatus bei ZSM.....	9
Tabelle 2: Klassifikation des klinischen Schweregrades der ZSM nach Nurick.....	10
Tabelle 3: C2/7 Winkel im Gesamtkollektiv .....	28
Tabelle 4: Einteilung der Omegagruppen.....	34
Tabelle 5: C2/7 Winkel in den Omegagruppen .....	37
Tabelle 6: Korrekturunterschiede in den Omegagruppen.....	38
Tabelle 7: Verteilung Deltagruppen.....	42
Tabelle 8: C2/7 Winkel in den Deltagruppen .....	44
Tabelle 9: Korrekturunterschiede in den Deltagruppen .....	45

### Abkürzungsverzeichnis

ACCF	Anteriore zervikale Korpektomie und Fusion
ACDF Multi-Level	Multi-Level anteriore zervikale Diskektomie und Fusion
ACDF Single-Level	Single-Level anteriore zervikale Diskektomie und Fusion
HRQL	Health-Related Quality of Life
LF	Laminektomie und Fusion mit Instrumentation der Massae laterales
mJOAS	modifizierter Japanese Orthopedic Association Score
MMP-2	Matrix Metalloproteinase-2
NDI	Neck Disability Index
SVA	Sagittal Vertical Axis
VAS	Visual Analogue Scale
ZSM	zervikale spondylootische Myelopathie

## **Eidesstattliche Versicherung**

„Ich, Claudia Piepenbrock, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Einfluss des postoperativen sagittalen Profils und Alignmentkorrektur auf das klinische Outcome bei zervikaler spondyloischer Myelopathie“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

### **Anteilerklärung an etwaigen erfolgten Publikationen**

Frau Claudia Piepenbrock hat folgenden Anteil an der folgenden, im Oktober 2016 eingereichten, noch nicht angenommenen Publikation:

Koeppen D, Piepenbrock C, Kroppenstedt S, Cabraja M: Influence of Sagittal Profile Alteration and Final Lordosis on the Clinical Outcome of Cervical Spondyloitic Myelopathy. A Delta-Omega-Analysis. Submitted 2016

#### **Beitrag im Einzelnen:**

- Datenerhebung
- Datenanalyse
- Verfassen des Manuskripts in Teilen:
  - größere Anteile bei Methoden und Resultate,
  - Anteile an Einführung, Diskussion und Schlussfolgerung,
- Abschließende Zustimmung zur Endfassung des Manuskripts

## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

### **Danksagung**

Ich möchte mich hiermit bei Herrn Priv.-Doz. Dr. med. Mario Cabraja, Leiter der Klinik für Wirbelsäulenchirurgie des Vivantes Auguste-Viktoria Klinikums, für die freundliche Überlassung des hochinteressanten Themas und die Möglichkeit, diese Arbeit unter seiner Leitung durchzuführen, bedanken. Ich verdanke ihm außerordentlich sachkundige, erfahrene und wertvolle Unterstützung und kann mir keine bessere Betreuung vorstellen. Jede Phase dieser Arbeit wurde professionell, souverän und verständnisvoll begleitet. Sein kompetenter Rat kam mir in zahlreichen Angelegenheiten bezüglich des Aufbaus und Inhalts dieser Arbeit sehr zugute, sodass ein zügiger und zufriedenstellender Abschluss möglich war.

Herrn Dr. med. Daniel Köppen danke ich besonders für seine immer freundliche, schnelle, uneingeschränkte und geduldige Diskussions- und Hilfsbereitschaft, insbesondere bei der statistischen Auswertung, aber auch allgemeinen Gestaltungsfragen, die wesentlich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Bei Daniil Tanygin möchte ich mich ausgesprochen für die Anfertigung und freundliche Bereitstellung der grafischen Darstellungen bedanken. Für die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens und danke ich herzlich Yasmine Ley und Anne Springob.

Bei meiner Familie möchte ich mich ganz besonders bedanken für die uneingeschränkte, liebevolle und vielseitige Unterstützung, die mir zeitlebens zuteilgeworden ist und ohne die diese Arbeit und mein beruflicher wie persönlicher Werdegang nicht möglich gewesen wäre.

Allen meinen Freunden danke ich für die aufschlussreichen Diskussionen und Ratschläge, womit sie mir stets zur Seite gestanden haben.