

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

DISSERTATION

Prädiktive Wertigkeit von Alter, klinischen und radiologischen Faktoren
bezogen auf die Genesung der zervikalen spondylotischen Myelopathie

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von
Onca Turan
aus Berlin

Datum der Promotion: 13.12.2019

Inhaltsverzeichnis

Abstract	4
Deutsche Version	4
English Version	5
1. Einleitung	7
1.1. Einführung	7
1.2. Anatomie, Mechanik und Kinetik der Halswirbelsäule	8
Biomechanische Besonderheiten der Halswirbelsäule.....	8
1.3. Pathophysiologie der zervikalen spondylosten Myelopathie	8
Dynamische mechanische Faktoren für die Entstehung der Myelopathie	10
1.4. Diagnostik	10
Symptome	10
Bildgebung	11
Segmentaler und zervikaler Lordosewinkel der Halswirbelsäule	11
Differentialdiagnosen.....	13
Klinische Messmethoden	13
1.5. Therapie	13
Wiederherstellung des sagittalen Profils.....	13
Konservative Therapie	14
Operative Therapie.....	14
1.6. Fragestellung	17
2. Methodik	18
2.1. Studientyp und Patientengruppe	18
2.2. Messmethoden	19
2.3. Operationen	21
2.4. Diagnostik der CSM-assoziierten Beschwerden	23
2.5. Statistische Auswertung	25
3. Ergebnisse	26
3.1. Demographische Ergebnisse	26
3.2. Klinische und chirurgische Ergebnisse	33
Nackenschmerzen	33
Neurologische Beeinträchtigung	35
Chirurgische Techniken	37
3.3. Radiologische Ergebnisse	42
4. Diskussion	44
4.1. Alter	45
4.2. Klinische Prädiktoren	46
4.3. Operative Techniken und zervikales sagittales Profil	47
4.4. Grenzen der Studie	48
4.5. Zusammenfassung	50
5. Verzeichnisse	51
5.1. Literaturverzeichnis	51
5.2. Abbildungsverzeichnis	60

5.3. Tabellenverzeichnis	60
5.4. Abkürzungsverzeichnis	62
6. Eidesstattliche Erklärung	64
7. Lebenslauf	65
8. Danksagung.....	67

Abstract

Deutsche Version

Objekt:

Eine große Anzahl der bisher veröffentlichten Studien über die zervikale spondylotische Myelopathie (CSM) haben den Einfluss von Alter, sagittalem Profil und Operationsherangehensweise auf das klinische Outcome der Patienten untersucht. Neben der erfolgreichen chirurgischen Behandlung nehmen auch valide prädiktive Faktoren eine wichtige Rolle in Bezug auf die Beratung eines Patienten und der Entscheidungsfindung für eine geeignete Therapie ein. Um die Validität der prädiktiven Aussagekraft der CSM näher zu untersuchen, wurden die Daten von über 100 Patienten auf die Variablen Alter, Schmerzen, mJOAS, Kyphose und der Anzahl der betroffenen Segmente in Hinblick auf die Genesung nach Operation bei CSM analysiert.

Methoden:

Analysiert wurden die Akten von 112 Patienten mit CSM, bei denen Dekompressionen mit Instrumentation durchgeführt wurden, um die zervikale Lordose wiederherzustellen oder zu erhalten. Mittels visueller Analogskala der Nackenschmerzen (VAS), Modified Japanese Orthopaedics Association Score (mJOAS) und Odom-Score wurde der klinische Status der Patienten gemessen. Die zervikale Lordose wurde in zusätzlichen Bildgebungen anhand des COBB-Winkels berechnet.

Ergebnisse:

Die Operationen haben das klinische Outcome der Patienten signifikant verbessert. Hierbei konnten keine Unterschiede zwischen den analysierten operativen Zugängen (Korpektomie, einsegmentale anteriore Operation, multisegmentale Operation, Laminektomie und Instrumentation) festgestellt werden. Patienten mit einer präoperativen Kyphose zeigten kein schlechteres Outcome als Patienten mit einer präoperativen Lordose. Prädiktoren für ein schlechteres Outcome waren eine präoperativ niedrige klinische Baseline (mJOAS und VAS), obwohl selbst Patienten mit einem niedrigen mJOAS und intensiven Nackenschmerzen ebenfalls von der Operation profitieren konnten. Es hat sich gezeigt, dass Patienten über 65 Jahren im Vergleich zu jüngeren Patienten neurologisch schlechter genesen. Allerdings konnte bei den in verschiedenen Altersdekaden untersuchten Patienten kein statistischer Unterschied in Bezug auf die Genesung festgestellt werden.

Zusammenfassung:

Es konnte bestätigt werden, dass die klinische Baseline ein valider Prädiktor eines operativen Ergebnisses bei der CSM ist. Eine niedrige klinische Baseline scheint ein valider Prädiktor für ein schlechteres Ergebnis zu sein, obwohl auch Patienten mit einer niedrigen Baseline ebenfalls signifikant von einer Operation profitiert haben. Das Alter kann je nach Unterteilung in verschiedene Altersgruppen und Ergebnisse ein möglicher valider Prädiktor für ein neurologisches Ergebnis darstellen. Präoperative Kyphosen hingegen konnten nicht als negativer Prädiktor bestätigt werden, da die Patienten unabhängig ihres sagittalen Profils von der Operation profitiert haben.

English Version

Object:

Many studies have been recently published on the subject of cervical spondylotic myelopathy (CSM) with focus on the influence of age, sagittal balance and different surgical methods on the clinical outcome of patients. Predictive factors have become determining in the process of counselling patients. The authors analyzed the validity of different factors, that are reckoned as possible predictors on the clinical post-surgical outcome, and then compared their results with the current literature.

Methods:

We analyzed 112 records of patients with CSM, who underwent a decompressive surgery with instrumentation in order to maintain or restore the cervical lordosis. The clinical status of the patients was evaluated by the visual analog scale of neck pain (VAS), the modified Japanese Orthopedic Association score (mJOAS) and Odom-Score. The cervical lordosis was assessed by calculating the COBB-angle in radiographs of the cervical spine.

Results:

As no differences between the analyzed surgical approaches (corpectomy, single-level anterior surgery, multi-level surgery, laminectomy and instrumentation) could be found, the data support the assumption, that surgery improved the clinical outcome of the patients significantly. A preoperative low clinical baseline (mJOAS and VAS) is a predictive factor for a poorer outcome, although even patients with a low mJOAS and intensive neck pain could profit from surgery. Patients with preoperative kyphosis however did not have an inferior outcome than patients with a preoperative lordosis. The comparison of the patient's ages by decades revealed no statistical

differences, whereas patients older than 65 years did not recover neurologically as good as younger patients.

Conclusion:

It can be confirmed that the clinical baseline is a valid predictor on the clinical outcome on CSM. Although patients with a low baseline have profited significantly from a decompressive surgery, a low clinical baseline seems to be a valid predictor for an inferior outcome. As older patients profited from surgery significantly, age could be seen as a possible valid predictor on a neurological outcome, depending on the division into certain age groups. As the patients of this study profited regardless from their sagittal alignment from surgery, preoperative cervical kyphosis does not appear to be a certain negative predictor.

1. Einleitung

1.1. Einführung

Immer mehr Menschen der westlichen Industriestaaten beklagen sich über Schmerzen durch degenerative Veränderungen der Wirbelsäule, die bei 20-30% der Fälle im Bereich der Halswirbelsäule (HWS) lokalisiert sind. Im Alter von 30 Jahren sind bereits bei fast allen Menschen mikroskopische Verschleißerscheinungen an der Wirbelsäule vorhanden, im Alter von 40 Jahren sind diese bereits im Röntgenbild nachweisbar[1, 2].

95% der Patienten der 65-jährigen sind von altersbedingten spondylosten Veränderungen an der HWS betroffen[1, 3-5]. Das steigende Alter der Bevölkerung und die damit verbundenen Komorbiditäten[6] stellen eine große Herausforderung für die Behandlung der Degenerationen dar[7-11].

Die zervikale spondyloste Myelopathie (CSM) ist häufig ein Resultat aus multifaktoriellen degenerativen Veränderungen der Halswirbelsäule, bei der eine chronische Rückenmarkskompression symptomatisch wird und häufiger bei älteren Patienten zu beobachten ist. Die durch die spinale Enge entstandene chronische Rückenmarksverletzung ist sowohl in Europa als auch in den USA die häufigste Ursache für die Arbeitsunfähigkeit der über 55-Jährigen[12, 13].

Der Beginn der Erkrankung ist im Allgemeinen unterschiedlich ausgeprägt und beinhaltet eine große Skala von Zeichen und Symptomen, die einerseits von den zervikalen Abschnitten sowie vom Ausmaß der neuronalen Kompression abhängig sind. Motorische und sensorische Störungen sind die häufigsten Beschwerden. Primärer Manifestationsort sind vor allem die Beine[11].

Zum Krankheitsbild der CSM gibt es viele Studien, die sich mit den möglich prädiktiven Variablen bezogen auf klinischen Outcome der an dieser Erkrankung leidenden Patienten auseinandersetzen. Psychologische Komorbiditäten[6], das Alter der Patienten, der Modified Japanese Orthopaedic Association Score (mJOAS), die Stabilität des Gangs[14, 15], die Symptombdauer[16], das sagittale Profil vor und nach der Operation[17, 18], die Anzahl der betroffenen Segmente[19] und die Veränderungen im Magnetresonanztomographie (MRT)[20, 21] scheinen die wichtigen Faktoren zu sein, die den Behandlungserfolg dieser Erkrankung beeinflussen. Die Dekompression des Rückenmarks hat sich als eine anerkannte Therapiemöglichkeit für die Behandlung der CSM bewährt[22-24].

1.2. Anatomie, Mechanik und Kinetik der Halswirbelsäule

Die HWS besteht bei Menschen aus sieben Wirbeln, die über stabilisierende Längsbänder verbunden werden. Die gesamte Wirbelsäule wird in 25 Bewegungssegmente aufgeteilt. Ein Segment besteht aus zwei Wirbeln, der dazugehörenden Bandscheibe (Ausnahme HWK 1/2) und der durch die Foramina intervertebralia austretenden Vorder- und Hinterwurzel der Spinalnerven aus den zervikalen Bewegungssegmenten des Rückenmarks[25].

Die physiologische lordotische Krümmung der zervikalen Halswirbelsäule nach anterior entsteht aufgrund der zu Keilen geformten zervikalen Wirbelkörper. Die Lordose macht sich außerdem somit zur Aufgabe, die kyphotische Krümmung der thorakalen Wirbelsäule zu kompensieren[26]. Durch sekundär erworbene zervikale Deformitäten kann das sagittale Profil von einer Lordose in eine begradigte bis zu einer kyphotischen Halswirbelsäule abweichen und somit zu einer CSM iatrogenen Ursprungs führen[26-29].

Biomechanische Besonderheiten der Halswirbelsäule

Im Vergleich zur restlichen Wirbelsäule kennzeichnet die HWS sowohl das hohe Maß an Beweglichkeit als auch die Fähigkeit, die Masse des Kopfes zu halten. Eine Bewegung in alle Ebenen wird durch die Aneinanderreihung der einzelnen Segmente der Wirbelsäule ermöglicht[30].

Die HWS kann bei Sagittalflexion sowie Vor- und Rückbeugung, in beiden Kopfgelenken ein Ausmaß von 20 bis 35° erreichen. In der Rotation im unteren Kopfgelenk beträgt der Kreiselungsumfang nach jeder Seite ungefähr 30°. Im oberen Kopfgelenk kann eine Lateralflexion, Seitwärtsneigung in beiden Gelenken zusammen 10 bis 15° erreichen[25, 30].

Da die HWS eine große Komplexität aufweist und im Alter mit einer Wirbelsäulendegenerationen zu rechnen ist, können an dieser Stelle Erkrankungen und damit verbundene Schmerzen häufiger auftreten[2, 31].

1.3. Pathophysiologie der zervikalen spondylothischen Myelopathie

Die CSM setzt ein Problem mit dem Rückenmark voraus[32]. Das Ergebnis von erhöhtem Druck auf das Rückenmark und die damit verbundenen neurologischen und vaskulären Veränderungen durch diese zervikale Spondylose machen das Symptombild der CSM aus.

Folgende Faktoren sind auf degenerative spondylothische Veränderungen der HWS zurückzuführen und verantwortlich für eine sekundäre zervikale Rückenmarkseingengung:

1.) Bandscheibendegeneration[32-35]:

- Osteophytenbildung,
- Bandscheibenprotrusion,
- kyphotische Deformität durch Höhenverlust der Bandscheibe (BS),
- Lockerung des posterioren longitudinalen Ligaments durch abnormale zervikale Bewegungen der BS-Herneationen oder annulärer Protrusion.

2.) Hypertrophie der dorsalen Facettengelenke[32, 36, 37]:

- Hypertrophie/Osteophytenbildung durch vermehrte axiale Belastung auf Facettengelenke durch Degeneration und Höhenverlust der BS,
- häufiger insbesondere zwischen dem 50. und 60. Lebensjahr.

3.) Ossifiziertes posteriores longitudinales Ligament (OPLL)[32, 38]:

- reaktive Knochenformationen und Osteophytenbildungen durch Lockerung der posterioren longitudinalen Ligamenta,
- Belastung der intervertebralen Foramina.

4.) Veränderung des sagittalen Profils durch degenerative Veränderungen der HWS: [18, 26, 28, 32, 39]

- häufigster Grund für Entwicklung der CSM im Alter sind sekundär erworbene Deformitäten, wie Begradigung der HWS bis zur zervikalen Kyphose,
- Sinken des Beweglichkeitsgrads bei begradigter HWS um 24-33% und daraus resultierende Steigerung des Drucks auf das Rückenmark um 5-95%,
- Initiieren von Schmerzen der Schulternackmuskeln sowie Kopfschmerzen und temporomandibuläre Erkrankungen,
- abnormale Arbeitssteigerung der Nackenmuskulatur unterstützt die Aufrechterhaltung der weiteren Progression der Deformität,
- durch progrediente zervikale Kyphose wird das Rückenmark gegen Wirbelkörper und die vordere Pathologie gedrückt.

5.) Auswirkungen der statisch mechanischen Belastung der HWS durch chronische Rückenmarkskompression[33, 39] [40-43]:

- neuronaler Verlust in anterioren Hörnern,

- Demyelinisation der Nervenfasern im Tractus corticospinalis und posterioren Funiculus,
- Mangelversorgung der kleinen Blutgefäße und Ischämie durch Druck,
- Bildung eines Myelonödem durch Druckentstehung,
- Drosselung der arteriellen Zufuhr und Verminderung des venösen Blutabflusses.

Dynamische mechanische Faktoren für die Entstehung der Myelopathie

Dynamische Faktoren resultieren aus statischen Faktoren, die den Zervikalkanal eingeengt haben. Vor allem durch die Flexion und Extension entsteht eine Kompression des Rückenmarks in Richtung der Osteophyten und eine Hypertrophie des Ligamentum flavum[44-47].

HWS in Flexion und Extension:

- Verringerung des Durchmessers des Spinalkanals,
- durch Verkürzung des Rückenmarks in Extension vergrößert sich dessen Durchmesser,
- weitere Schädigung des Rückenmarks durch zusätzliche Bewegungen.

1.4. Diagnostik

Für die Diagnose ausschlaggebend sind der entsprechende klinisch-neurologische Befund, der auf eine Rückenmarkskompression hinweist und der ergänzende radiologische Befund[9]. Zusätzlich sollte aus differentialdiagnostischen Gründen ein Basislabor mit Entzündungswerten (wahlweise auch Liquordiagnostik und Restharnbestimmung) abgenommen werden.

Symptome

Wie auch der aktuellen Leitlinie [43] zu entnehmen, resultieren die Symptome aus der Druckschädigung der verschiedenen Bahnen des Rückenmarks. Häufig beginnt die CSM mit einer Paraspastik der Beine.

Folgende Bahnen sind von einer Schädigung betroffen: Hinterstränge (afferente Ataxie, sensible Störungen und Koordinationsstörungen der Beine), Vorderhörner und Vorderwurzel (Störungen der Feinmotorik der Hände und Muskelatrophie), Hinterwurzel (sensible Störungen, Schmerzen, Missempfindungen vor allem an Armen und Händen), Vorderseitenstränge (Paraspastik der Beine, Blasen- und Darmstörungen, Störung der Feinmotorik der Hände).

Symptome der zervikalen spondylotischen Myelopathie[4, 5, 41, 43, 48]:

Typische Symptome:

Feinmotorikstörung, Schwäche und Gefühlsstörung der Hände, Schwäche der Beine, Gangunsicherheit, Blasen-, Mastdarm-, Potenzstörung, Schmerzen in HWS, Schulter Arm (Ausdruck zusätzlicher zervikalen Radikulopathie).

Neurologische Befunde:

Hyperreflexie, pathologische Fremdreﬂexe und Kloni der unteren Extremitäten, positives Lhermitte-Zeichen, Paraspastik, Gangataxie, autonome Störungen, Sensibilitätsstörungen, Reflexabschwächung bzw. -verlust, Paresen, Atrophien an den Armen oder Handmuskeln, radikuläre Syndrome im Bereich der oberen Extremitäten.

Seltene Symptome und Befunde:

Dysphagie (Kompression des Ösophagus bei ausgeprägten ventralen Osteophyten), ventrobasiläre Ischämie (Kompression der A. vertebralis), Phrenikuslähmung, Kompression Höhe Halswirbelkörper (HWK) 3/4.

Bildgebung

MRT

Das MRT kann in der T2-gewichteten Sequenz (sagittale T2-gewichtete Turbo-Spin-Echo-Sequenz, transaxiale T2-gewichtete Turbo-Spin-Echo-Sequenz oder transaxiale T2-gewichtete MEDIC-Sequenz) die Kompression des Rückenmarks und tatsächliche Schäden aufgrund von intramedullärer Signalanhebung quantifizieren[49] (siehe Abbildung 2).

Röntgen

Präoperativ sollte eine statische oder Flexion-Extension-Röntgendiagnostik der HWS zur Beurteilung der knöchernen Verhältnisse angefertigt werden. Das Röntgenbild kann einen Verlust der Bandscheibenraumhöhen, kyphotische Veränderungen, Osteophyten, Facettenatrophien oder eine Autofusion der benachbarten Wirbelkörper zeigen[1].

Segmentaler und zervikaler Lordosewinkel der Halswirbelsäule

Die Vermessung des segmentalen und zervikalen Lordosewinkels kann im lateralen Strahlengang durchgeführt werden. Es wurde untersucht, ob eine Korrelation zwischen den radiologischen Befunden und der Degeneration[2] nachzuweisen ist. Zu beachten sind, dass jeder Mensch ein individuelles Profil der HWS aufweist, weshalb dementsprechende natürlich Schwankungen als auch von Alter und Geschlecht das Ergebnis der Messung beeinflussen können. Zudem wurde in einer Studie[50] beobachtet, dass bei Männern die Lordose signifikant stärker ausgeprägt ist als bei Frauen.

Gemessen wurde mithilfe des COBB-Winkels, der normalerweise für die Skoliosediagnostik verwendet wird[51]. Neben der Skoliose findet er auch Verwendung bei der Bestimmung der zervikalen Lordose oder bei traumatisch bedingten Wirbelsäulenfehlstellungen.

Die Röntgenaufnahme der Wirbelsäule in zwei Ebenen sowie in Funktion (Extension/Flexion) ist die Grundlage für diese Messung. Hierbei werden die beiden am stärksten gekippten Wirbel oberhalb und unterhalb eines Wirbelsäulenbogens Neutralwirbel genannt. Der Winkel zwischen den beiden Neutralwinkeln wird gemessen.

Bei der Bestimmung des zervikalen Lordosewinkels wird von C-1 bis C-7 oder C-2 bis C-7 gemessen. Die 4-Linien-Methode beinhaltet eine gezeichnete bzw. gedachte Linie von entweder parallel zu der inferioren Endplatte von C-2 oder sie dehnt sich von dem anterioren Tuberkel von C-1 bis zum posterioren Kante der spinalen Prozessus aus und eine weitere Linie parallel zu der inferioren Endplatte von C-7. Dann werden rechte Winkel von jeder der zwei erwähnten Linien gezeichnet und der Winkel, der zwischen der Senkrechten und der Zervikalen Krümmung schneidet, wird gemessen. Ein normaler Lordose-Winkel ist zwischen 15° und 25° groß[22]. Da der Cobb-Winkel einfach zu reproduzieren ist, ist die Variable eines Zwischenuntersuchers auch sehr schwach ausgeprägt[13].

Der segmentale Lordosewinkel kann ebenfalls bestimmt werden. Ein Segment besteht aus einem Wirbelsäulensegment mit beiden dazugehörigen Bandscheiben. Zieht man jeweils eine Senkrechte parallel zu der Deckplatte des oberen und unteren Wirbels, kann man COBB-Winkel eines Segments berechnen.

Computertomographie (CT)

Die CT kann eine höhere Qualitätsmessung der Knochenstrukturen als das MRT durchführen, weshalb bei Osteophyten, Hypertrophie der Facettengelenke oder Kalzifizierung der Ligamente eher ein CT der HWS angefertigt werden sollte. Bei Verdacht auf radikuläre Läsionen ist eine Elektromyographie und Nervenleitungsmessungen erforderlich[1].

Myelographie

Eine Myelographie (Injektion von Kontrastmittel in den spinalen Liquorraum mit Röntgendarstellung) des zervikalen Spinalkanals ist heutzutage in Kombination mit einem CT „Postmyelo-CT“ für die Sicherung der Diagnosestellung ebenfalls hilfreich, sofern das MRT als bilddiagnostisches Mittel der Wahl nicht ausreicht.

Differentialdiagnosen

Zur Bestätigung der Diagnose einer CSM sollten folgende Differentialdiagnosen[43, 52] ausgeschlossen werden: metastasierender Tumor, Amyotrophe Lateral-Sklerose (ALS), Normaldruckhydrozephalus, Vitamin-B12-Mangel, erbliche spastische Paraplegie, Tumore des Rückenmarks, Rückenmarksinfarkt, Syringomyelie.

Klinische Messmethoden

Modified Japanese Orthopaedics Association Score

Der mJOAS ist eine Methode, die die Schwere der klinischen Symptome bei Patienten mit einer CSM misst. Die JOA-Messung besteht aus sechs Säulen: motorische Dysfunktion der oberen Extremitäten, motorische Dysfunktion der unteren Extremitäten, sensorische Funktion der oberen Extremitäten, sensorische Funktion des Stamms, sensorische Funktion der unteren Extremitäten, Blasenfunktion.

Der mJOAS ist die am häufigsten verwendete Messmethode. Lediglich die motorische Dysfunktion in den oberen und unteren Extremitäten, die sensorische Funktion der oberen Extremitäten und die Blasenfunktion werden gemessen. Die Skala für die sensorische Funktion des Stamms und der unteren Extremitäten werden bei der modifizierten JOA ausgeklammert. Jede Skala reicht von 0 bis 7, 0 bis 5 0 bis 3. Jeweils mit einem Gesamtwert von 0 bis 18. Fehlings et al.[55] haben die Schwere der Myelopathie als mild bei einem mJOAS von 15 oder größer, eine moderate Myelopathie zwischen einem mJOA-Wert von 12 und 14 oder eine schwere Myelopathie bei einem mJOA-Wert von weniger als 12 definiert. Bei diesen Skalen wird die motorische Funktion der oberen Extremitäten anhand der Benutzung von Löffeln statt Essstäbchen gemessen. Bei den Genesungsraten wird die gleiche Formel wie beim originalen JOA verwendet, nur dass der maximale Wert auf 18 ausgedehnt wird.

1.5. Therapie

Wiederherstellung des sagittalen Profils

Die aktuelle Wissenschaft[6, 43, 57-59] empfiehlt eine individuelle und altersabhängige Planung der Therapie. Unter anderem beeinflussen auch Faktoren wie Alter, Symptombdauer, Geschwindigkeit der Progredienz neurologischer Symptome, Komorbiditäten, Lebensstil sowie die bildgebende Diagnostik die Entscheidung für die jeweilige Therapie.

Der Ansatz für eine operative Behandlung basiert nach aktuellem Stand unter anderem auf dem zervikalen sagittalen Profil. In mehreren Studien[17, 18] wurde nahegelegt, dass das sagittale Profil mit den einhergehenden Beeinträchtigungen ein klinisches und funktionales Ergebnis voraussagen kann. Zusätzlich wurde eine starke Korrelation zwischen der sagittalen Wirbelsäulenbalance, der Lebensqualität (QOL) und der Behinderung bei der älteren Population[60] bestätigt. Daher wird bei der Entscheidung einer Operationsherangehensweise die HWS auf ihre Form bzw. auf ihr sagittales Profil präoperativ als auch postoperativ untersucht. Als Planungsmaßnahmen für die Messung und Einstellung des Winkels sind u.a. der COBB-Winkel zwischen C2 und C7, T1-Slope und der Thoracic-Inlet-Winkel hilfreich[22-24]. Hierbei hat sich die Wiederherstellung der zervikalen Lordose in der Halswirbelsäule als sehr wichtig für das klinische Ergebnis bewährt[61].

Konservative Therapie

Eine konservative Therapie empfehlen Kadanka et al.[62],[63] in ihren Studien bei Patienten mit einem mJOAS von mehr als 13-14 und bei einer sehr geringen klinischen Progredienz. Hier wird mit einer HWS-Krawatte immobilisiert, medikamentös mit nicht-steroidalen Antiphlogistika (NSAR) und Muskelrelaxanzien behandelt. Eine Traktionsbehandlung (Längsdehnung der HWS) und zervikothorakale stabilisierende Maßnahmen wie Stärkung der Nackenmuskulatur, Muskulatur des oberen Quadranten und der Skapula kann durch Physiotherapiemaßnahmen durchgeführt werden. Aktivitäten, die die HWS belasten, sollten vermieden werden.

Operative Therapie

Indikationen für eine operative Therapie sind[43, 62, 64]

- eine rasche akute Progredienz der Symptomatik der zervikalen Myelopathie (Gangstörung, Störung der Feinmotorik der Hände, Sensibilitätsstörungen, Inkontinenz),
- klinisch schlechterer Status durch persistierende neurologische Ausfälle mit radikulären Schmerzen,
- ein niedrigerer mJOAS,
- unzureichender Erfolg durch konservative Therapie bei Progredienz der neurologischen Symptomatik.

Wird der operative Eingriff nicht rasch durchgeführt, können laut Handa et al.[58] keine guten Therapieergebnisse erzielt werden.

Insgesamt wird jedoch die invasive Therapie häufiger durchgeführt, weil die degenerativen Veränderungen der HWS häufiger zu beobachten sind und in diesem Fall nur eine Operation helfen kann[12, 65].

Bei der Entscheidung der invasiven Herangehensweise gibt es bei der Halswirbelsäule entweder den ventralen (anterioren) oder den dorsalen (posterioren) Weg, um die Stenosen der betroffenen Segmente zu beseitigen. Beide Methoden haben Ihre Vor- und Nachteile. Der Operationszugang ist u.a. abhängig von der Richtung der Rückenmarkskompression und des präoperativen zervikalen Profils.

Operationen der HWS mit anteriorem Zugang:

ACDF (anteriore zervikale Diskektomie mit Fusionierung)

Bei der ACDF wird das Rückenmark entlastet, die Segmenthöhe und die Weite der Neuroforamina wiederhergestellt, indem die Bandscheibe ausgeräumt und ein autologer Knochenblock bzw. ein Cage in den Zwischenwirbelraum als „Platzhalter“ implantiert wird. Die „Platzhalter“ für den Zwischenwirbelraum, die aus Titan, Kunststoff (PEEK) oder PMMA (Polymethylmethacrylat) bestehen können, werden eingesetzt und ggf. mit einer anterioren zervikalen Platte zusätzlich stabilisiert (Plattenosteosynthese)[66-69].

ACCF (anteriore zervikale Korpektomie und Fusion)

Die ACCF wird eher bei langstreckigen Pathologien durchgeführt. Hier erfolgt eine Dekompression des Spinalkanals. Bei diesem Verfahren werden Wirbelkörper mit deren angrenzenden Bandscheiben entfernt und ein Wirbelkörperersatz eingesetzt, der dann mit einer anterioren Plattenosteosynthese stabilisiert wird. Wichtig ist, dass eine Korpektomie nur bei bis zu drei betroffenen Segmenten empfohlen wird, da bei mehr Segmenten das Risiko für ein Konstruktversagen steigt und es dann schwierig ist, die zervikale Lordose zu erhalten[69].

Ebenfalls wurde in zahlreichen Studien, die sich mit dem Vergleich von verschiedenen Instrumentationen beschäftigt haben, bestätigt, dass es keinen großen Unterschied zwischen einem PEEK-Cage und Titan-Cage gibt[70-75]. Bemerkenswert ist hierbei, dass das klinische Endergebnis nach der Operation eher von Variablen wie Alter, Geschlecht[76, 77], Symptombdauer[4, 58, 78] und Verschlechterung des sagittalen Profils abhängig scheint[79].

Posteriore Operationsmethoden

LF (Laminektomie mit Fusion)[80, 81]

Bei der Laminektomie wird der Wirbelbogen vollständig entfernt, weshalb das Rückenmark von dorsal gut entlastet werden kann. Die HWS wird mit einer posterioren Instrumentation und lateralen Massenschrauben stabilisiert (Fusion). Diese Operationsmethode ist sicher, leicht durchzuführen und hat wenig Blutverlust. Diese Fusion reduziert das Risiko der postoperativen Komplikationen einer reinen Laminektomie (Kyphose, Instabilität). Somit kann die lordotische HWS länger erhalten bleiben.

EL (Laminoplastie)[80-82]

Bei diesem Verfahren werden die Wirbelbögen nicht reseziert, sondern gespalten und auseinandergedrängt.

Bei der Aufhebung der Rückenmarkskompression, die durch eine mehrsegmentige CSM verursacht ist, hat sich die Laminoplastie als sehr gute Methode erwiesen. Diese Methode erhöht die Wirbelsäulenbeweglichkeit und minimiert ebenfalls die Komplikationen der Laminektomie (v.a. die postoperative Wirbelsäuleninstabilität).

Insgesamt werden die posterioren Zugänge kontrovers in der Literatur diskutiert. Zum einen ist die Ausprägung der präoperativen Kyphose ($\leq 13^\circ$) für eine gute Genesung ausschlaggebend[83], zum anderen empfehlen andere Studien keine EL bei einer präoperativen Steilstellung oder Kyphose der HWS[84].

anteriorer operativer Zugang	Vorteile [69, 85-89]	Nachteile [69, 90-92]
ACDF/ACCF	<ul style="list-style-type: none"> • Dekompression des Rückenmarks, • Verhindern der Entwicklung von Osteophyten, • Die Distraction des Bandscheibenraums mit der Entlastung der Neuroforamina (Nervenwurzelkanals) und die Fusion der betroffenen Segmente, • Korrigieren oder Reduzierung von bestehenden (schweren) Kyphosen (größer als 10°). 	<ul style="list-style-type: none"> • Korrekturverlust, nur bei zwei bis drei betroffenen Segmenten empfohlen, sonst hohes Risiko für Konstruktversagen und Schwierigkeiten des Erhalts der sagittalen Lordose, • C5-Parese mit Schluckstörung, Heiserkeit, Reccurensaffektion.

posteriorer operativer Zugang	Vorteile [93],[94]	Nachteile [69],[95],[96],[97, 98],[99-101]
LF	<ul style="list-style-type: none"> • Dekompression des Rückenmarks durch Erweiterung des Wirbelkanals. 	<ul style="list-style-type: none"> • Instabilität der HWS durch „postlaminektomierte Kyphose“, v.a. nach Resektion der C2 – oder C7-Lamina.
EL	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Ergebnisse bei präoperativer sagittalen zervikalen Lordose und mehr als drei betroffenen Segmenten, • kürzere OP-Dauer. 	<ul style="list-style-type: none"> • häufiger postoperativer axialer Nackenschmerz, • Verletzung der Dura Mater, • Nervenwurzelschädigung C5/6.

Kombinierte Operation[69, 102-106]

Eine große Herausforderung für eine Operation ist die zervikale kyphotische Deformität. Für diesen Fall gibt es drei verschiedene Operationsoptionen, die aber die laut einer Studie von Wang et al.[107] die höchste Komplikationsrate aufgrund der hohen Invasivität aufweist. Mithilfe posteriorer Instrumentalisierung von lateralen Massenschreiben bei der mehrsegmentalen Laminektomie verbessert sich zwar das klinische Ergebnis, aber das sagittale Profil kann eher mit dem anterioren Operationsweg besser hergestellt werden. Durch die Kombination beider Herangehensweisen können Defizite eines einzelnen operativen Zugangs reduziert und somit die HWS besser fusioniert werden.

1.6. Fragestellung

Aktuell liegen verschiedene Meinungen zu den prädiktiven Faktoren vor, die das klinische Outcome der CSM beeinflussen. Es gibt eine Anzahl von Studien [69, 108], die keine klare Korrelation zwischen klinischem Outcome und zervikaler Lordose, Dauer der Symptome, Alter [109] sowie mJOAS [58, 62, 110, 111] sehen. Viele Studien sind sich aber darin einig, dass die operative Dekompression des Rückenmarks als Behandlung der CSM das klinische Bild

wesentlich verbessert [23]. Der Vergleich der Operationstechniken und -zugänge zeigt zwar keine Unterschiede in der Genesung [69, 73, 110], wohl aber hinsichtlich der Komplikationen, der Spinalkanalerweiterung und der Fusionsrate [112-114]. Schlechte Chancen auf eine Besserung nach einer Operation haben laut aktuellen Studien sowohl Patienten mit einer langen Symptombdauer und einer niedrigen Baseline im mJOAS, als auch Patientin mit einer psychischen Komorbiditätsrate [57, 78, 115-117]. Um die Validitäten auf ihre prädiktive Aussagekraft der CSM näher zu untersuchen, wurden in dieser Studie die Daten von 112 operativ behandelten Patienten mit CSM hinsichtlich des Alters, der Schmerzen, des mJOAS, der Kyphose und der Anzahl der betroffenen Segmente auf das klinische Outcome analysiert.

Die Fragestellung lautete dabei vor allem, welchen Einfluss das Alter neben klinischen und radiologischen Parametern auf Ausmaß und Verlauf der Erkrankung nimmt.

2. Methodik

2.1. Studientyp und Patientengruppe

Analysiert wurden die Daten der klinischen Routine von 112 Patienten, die zwischen 2003 und 2015 zur Behandlung ihrer CSM eine Operation erhielten.

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

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

Die Patientendaten wurden in einer prospektiv geführten, pseudomyisierten Datenbank zur Qualitätskontrolle aufgenommen. Die Diagnose der CSM wurde klinisch gestellt und durch ein bildmorphologisches Korrelat gesichert. Die Patienten litten unter anderem an Missempfindungen der Extremitäten, feinmotorischen Störungen der Hände und Gangstörungen sowie teils an Paresen. Diagnostische Minimal Kriterien zur Diagnosestellung gab es nicht. Der klinische Zustand der Patienten variierte in seinem Schweregrad teils erheblich. Die konservativen Behandlungsversuche blieben bei allen Patienten refraktär. Im MRT oder in der Myelographie wurde in allen Fällen eine Spinalkanalstenose 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 Ärztekammer Berlin bestätigte dies mit dem Schreiben vom 05.11.2018 (Zeichen: Eth).

2.2. Messmethoden

Klinische Messmethoden:

- mJOAS
- VAS
- Odom-Score

HWS: Modifizierter Score der Japanischen Orthopädischen Gesellschaft (mJOAS)

I: Motorische Störungen der Arme

- | | | |
|--|-----------------------|---|
| Ich bin unfähig, die Hände zu bewegen | <input type="radio"/> | 0 |
| Ich bin unfähig, mit einem Löffel zu essen aber kann die Hände bewegen | <input type="radio"/> | 1 |
| Ich bin unfähig ein Hemd zuzuknöpfen, aber kann mit einem Löffel essen | <input type="radio"/> | 2 |
| Ich kann ein Hemd mit großen Schwierigkeiten zuknöpfen | <input type="radio"/> | 3 |
| Ich kann ein Hemd mit geringen Schwierigkeiten zuknöpfen | <input type="radio"/> | 4 |
| Ich habe keinen Probleme mit meinen Armen oder Händen | <input type="radio"/> | 5 |

II. Motorische Störungen der Beine

- | | | |
|--|-----------------------|---|
| Ich bin unfähig, die Beine zu bewegen oder zu spüren | <input type="radio"/> | 0 |
| Ich bin unfähig, die Beine zu spüren, kann sie aber bewegen | <input type="radio"/> | 1 |
| Ich kann die Beine bewegen, aber nicht gehen/laufen | <input type="radio"/> | 2 |
| Ich kann nur mit einer Gehhilfe auf flachem Untergrund gehen | <input type="radio"/> | 3 |
| Ich kann eine Treppe steigen, muss mich aber am Geländer abstützen | <input type="radio"/> | 4 |
| Ich bin unsicher, aber ich kann Treppen mit Abstützung am Geländer steigen | <input type="radio"/> | 5 |
| Ich bin ein wenig unsicher, aber ich kann ohne Hilfsmittel gehen | <input type="radio"/> | 6 |
| Ich habe keine Schwierigkeiten beim Gehen oder Stehen oder Treppensteigen | <input type="radio"/> | 7 |

III. Gefühl

- | | | |
|---|-----------------------|---|
| Ich habe einen völligen Gefühlsverlust der Hand/Hände | <input type="radio"/> | 0 |
| Ich habe schwere Gefühlsstörungen oder Schmerzen in Armen oder Beinen | <input type="radio"/> | 1 |
| Ich habe milde Störungen des Gefühls in Armen oder Beinen | <input type="radio"/> | 2 |
| Ich habe keine Störungen des Gefühls in Armen oder Beinen | <input type="radio"/> | 3 |

IV. Blasenkontrolle

- | | | |
|---|-----------------------|---|
| Ich bin unfähig willkürlich zu urinieren | <input type="radio"/> | 0 |
| Ich habe eine starke Störung beim Urinieren | <input type="radio"/> | 1 |
| Ich habe milde bis mittelschwere Störungen beim Urinieren | <input type="radio"/> | 2 |
| Ich habe eine normale Blasenfunktion, keine Probleme beim urinieren | <input type="radio"/> | 3 |

Abbildung 1 : mJOAS Fragebogen dieser Studie.

Radiologische Messmethoden:

- COBB-Winkel-Messung

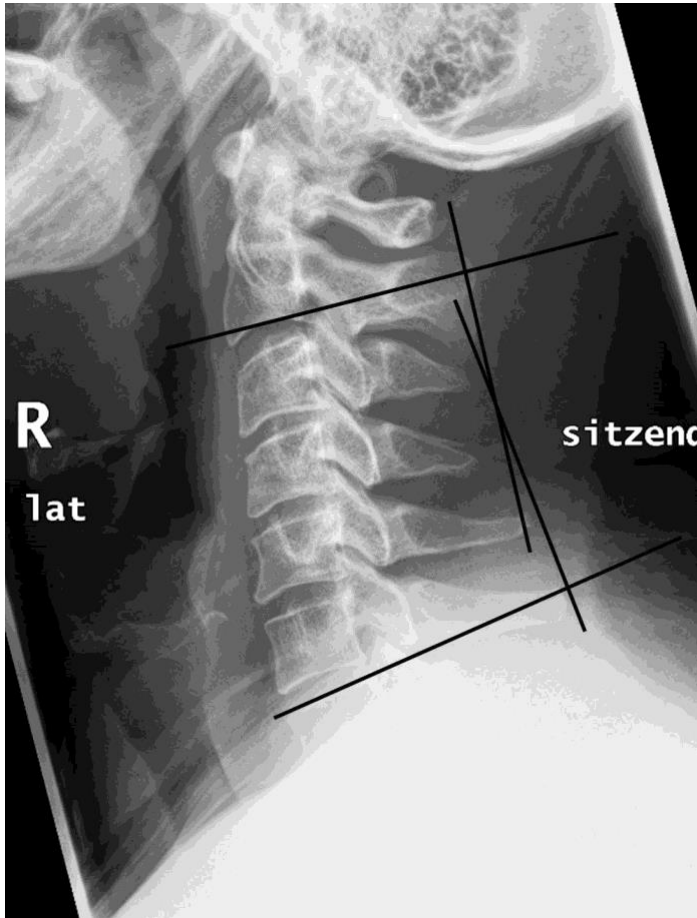


Abbildung 2: Messung des COBB-Winkels der HWS bei einem Patienten dieser Studie.

2.3. Operationen

Grundsätzlich wurde die Operation mit dem Ziel durchgeführt, bei therapierefraktärer CSM das zervikale Rückenmark zu entlasten und eine zervikale Lordose zu erhalten oder wiederherzustellen. Eine Dekompression und Instrumentalisierung der zervikalen Wirbelsäulenanteile erhielten alle Patienten. Die Laminektomie mit Fusion war das einzige Verfahren mit dorsalem Zugangsweg.

Unterschiedliche Faktoren bestimmten, ob ein vorderer oder hinterer Zugangsweg (anterior vs. posterior) sowie eine mono- oder mehrsegmentale Operation 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.

In dieser Studiengruppe wurden Patienten mit CSM eingeschlossen, die immer chirurgisch als auch instrumentativ zervikal dekompriert wurden. Die Instrumentierung erfolgte von ventral oder dorsal mit dem Ziel des Erhalts oder der Wiederherstellung der zervikalen Wirbelsäule. Die jeweilige OP-Methode wurde individuell vom Operateur gewählt und folgte den Prinzipien:

- Ausmaß der kennzeichnenden Veränderung des Rückenmarks im MRT,
- Ausmaß und Lokalisation der Rückenmarkskompression sowie segmentale und zervikale Veränderungen.

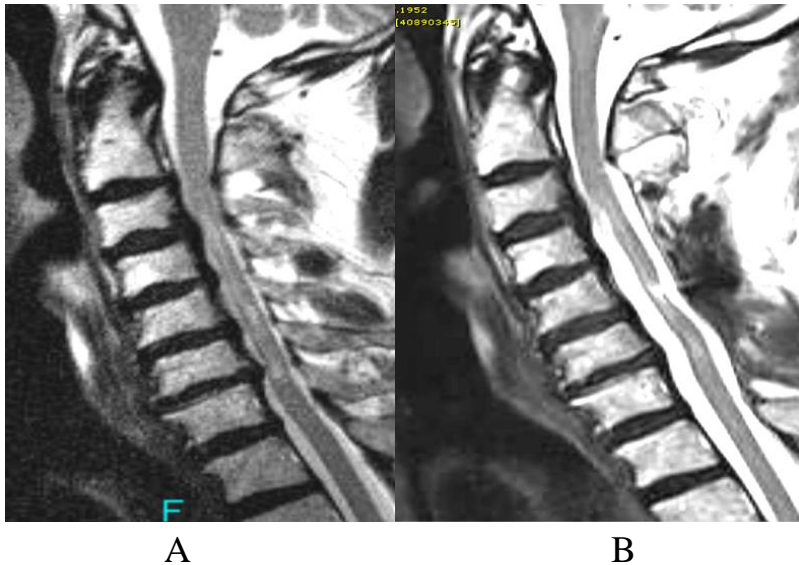


Abbildung 3: MRT-Abbildung des in der vorliegenden Studie untersuchten Patienten mit CSM vor (A) und nach der Operation (B), der laminectomiert und instrumentiert wurde. Deutlich zu sehen sind Signalveränderungen des Myelons vor und nach der OP als bildmorphologisches Korrelat einer CSM.

In dieser Studie erfolgte in keinem der Fälle die Operationen im Sitzen. Des Weiteren wurde in keinem der Fälle ein Neuromonitoring durchgeführt. Zur Vorbeugung einer Reklination wurden die Patienten fiber-optisch intubiert. Zudem wurde keine spezifische Lagerungsprobe durchgeführt.

Im Allgemeinen wurden Pathologien, die von ventral ausgingen, entsprechend von vorn operiert. Diese Operationen erfolgten in Rückenlage und wurden mithilfe von einem OP-Mikroskop durchgeführt. Bei Pathologien, die von dorsal ausgingen wurde von hinten in Bauchlage ohne Mikroskop eine Dekompression mittels Laminektomie durchgeführt.

Bei Kyphosen wurde eher von anterior operiert. Waren mehr als drei Bewegungssegmente betroffen, hat man bei erhaltener Lordose eher von dorsal langstreckig dekomprimiert und instrumentiert.

Da letztlich das Operationsvorgehen abhängig vom Ermessen des Operateurs war, handelt es sich in dieser Studie um keine prospektive Studie mit festgelegten Vorgehensweisen, weshalb zu der Auswahl der Operationsmethoden keinen klaren Angaben gemacht werden können.

Folgende Operationen wurden in entsprechender Zahl durchgeführt:

- einsegmentale anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (sACDF) (n=28)
- mehrsegmentale anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (mACDF) (n=20)
- Anteriore zervikale Korpektomie und Fusion (ACCF) (n=36)
- Laminektomie und Fusion mit Instrumentation der Massae laterales (LF) (n=28)

Dorsale Operationen wurden mithilfe von Schrauben-Stab-Systemen aus Titan durchgeführt. Bei den anterioren Zugängen wurden folgende Materialien verwendet:

- Titan für Wirbelkörperersatz und Cages in 53 Fällen
- Peek-Cages 19 in Fällen
- Autologer Knochenspan aus dem Beckenkamm (ABG) in 6 Fällen
- Polymethylmethacrylat (PMMA) in 6 Fällen

Postoperativ wurden alle Patienten nach demselben Schema (physikalische Ruhe für 6-12 Wochen mit anschließender physikalischer Therapie) behandelt. Eine Halsmanschette wurde nicht benötigt.

2.4. Diagnostik der CSM-assoziierten Beschwerden

Klinische und radiologische Evaluation

Mithilfe des mJOAS, des Odom-Score sowie der visuellen Analogskala (VAS) wurden die Untersuchung der klinischen Ausprägung der Nackenschmerzen ambulant bei allen Patientin prä- und postoperativ evaluiert. Der Fokus in der vorliegenden Untersuchung wurde vor allem auf die Validität möglicher vorhersagender Faktoren wie Alter, präoperativer klinischer Status,

präoperative Kyphose und Anzahl der involvierten Segmente gelegt, um in Bezug auf das klinische Outcome der CSM Vorhersagen treffen zu können.

Zunächst erhielten alle Patientin, die an der Halswirbelsäule bei CSM operiert werden sollten, im Rahmen der Qualitätskontrolle eine präoperative Evaluation des präoperativen klinischen und radiologischen Status. Anschließend wurde sofort postoperativ das Operationsergebnis mittels radiologischer Messung inklusive des sagittalen Profils gemessen. Beim monatlichen Follow-Ups, das während der ambulanten Sprechstunde stattfand, wurden in Nativröntgenbildern erneut das zervikale sagittale Profil als auch der postoperative klinische Status erfasst. Bei Patientin, die bei den Follow-Ups teilnahmen, wurden im Verlauf auch das zervikale Alignment in weiteren Follow-Ups vermessen.

Der mJOAS diene zur Erfassung des neurologischen Status der Patienten: Maximal 18 Punkte können erreicht werden. Mit Hilfe des VAS und des NRS konnte mithilfe des prä- und postoperativen Messen des Schmerzens der Therapieerfolg dokumentiert werden.

Das Operationsergebnis konnte mithilfe des Odom-Score von den Patienten mit „hervorragend“, „gut“, „ausreichend“ oder „mangelhaft“ bewertet werden. Bei Angabe von „hervorragend“ oder „gut“ wurde die OP als Erfolg gewertet.

Röntgenographische Untersuchungen schlossen eine native Bildgebung der HWS in 2 Ebenen ein.

Mithilfe der integrierten Software für das Messen des COBB-Winkels bis zu einer Präzision von 0.1° (AGFA Impax FX, Mortsel, Belgien) konnte auf digitalen radiologischen Bildanalysen die Ausmessung der zervikalen Lordose zwischen den Segmenten C2 und C7 genau durchgeführt werden. Insgesamt wurde eine Stichprobe von 30 Probanden einer Interobserver-Analyse unterzogen. Während die primär erhobenen Daten (mittels Mann-Whitney U-Test) einen Cobb-Winkel von $9^\circ \pm 15,33^\circ$ ergaben, konnte in der Kontrollgruppe (vermessen vom Betreuer) ein Cobb-Winkel von $8,48^\circ \pm 14,59^\circ$ festgestellt werden. Die statistische Analyse ergab keinen signifikanten Interobserver-Unterschied ($p=0,672$).

Um die Altersdekaden zu vergleichen, wurde die Untersuchung der Validität auf das Ergebnis der CSM-Patienten in drei Gruppen durchgeführt:

- < 59 Jahre,
- 60-69 Jahre,
- < 65 oder ≥ 65
- \geq oder > 70 Jahre.

Zusätzlich wurden die Altersdekaden auf die Validität in 5 Gruppen durchgeführt:

- < 50 Jahre
- 55-59 Jahre
- 60-69 Jahre
- 70-79 Jahre
- ≥ 80 Jahre

Des Weiteren wurden Patienten in verschiedene Altersgruppen (< 65 und > 65 Jahre) unterteilt.

Für die Evaluation des neurologischen Status wurden die Patienten hinsichtlich ihres präoperativen mJOAS in drei Gruppen untersucht:

- mJOAS ≤ 9 oder < 9,
- mJOAS 10-13,
- ≥ 13 oder > 13.

Es wurden auch die Nackenschmerzen präoperativ in drei Untergruppen verglichen:

- VAS 1-3,
- VAS 4-6,
- VAS > 7.

Der Einfluss der zervikalen Veränderung (C2-7) der Patienten wurde mithilfe der Unterteilung in den folgenden Gruppen untersucht:

- Kyphose von $<0^\circ$,
- zervikale Lordose von $0-19^\circ$,
- zervikale Lordose von ≥ 20 .

Der Einfluss von Geschlecht und verschiedenen chirurgischen Methoden wurde ebenfalls untersucht.

2.5. Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung wurde mithilfe von IBM SPSS Statistics 22 durchgeführt und beinhaltete den T-Test, den Mann-Whitney U-Test, die Analyse der Varianz, Kruskal Wallis' ANOVA, Wilcoxon's Signed-Rank-Test und den Kolmogorov-Smirnov-Test. Ein Ergebnis mit einem P-Wert von <0.05 wurde als signifikant eingestuft. Im Folgenden sind die P-Werte unterschiedlich markiert:

* steht für $p < 0.05$

** steht für $p < 0.01$

*** steht für $p < 0.001$.

Zuerst wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test angewandt, um die Verteilung (normalverteilt – parametrisch oder nicht normalverteilt – nicht parametrisch) zu errechnen. Je nach Ergebnis konnte dann der jeweilige Test (siehe Abbildung 2) für die statistische Auswertung dieser Studie angewandt werden.

Testanwendung	Parametrisch (normalverteilt)	Nicht parametrisch (nicht normalverteilt)
Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben	T-Test	Mann-Whitney U-Test
Vergleich von zwei abhängigen Stichproben	Gepaarter T-Test	Wilcoxon Signed-Rank-Test Paarvergleichstest
Vergleich von mehr als zwei unabhängigen Stichproben	Einfaktorielle Varianzanalyse	Kruskal-Wallis ANOVA - Test

Abbildung 4: Angewandte statistische Tests.

3. Ergebnisse

3.1. Demographische Ergebnisse

Das durchschnittliche Follow-Up betrug 89,29 Monate mit einer Standardabweichung von 56,88 Monaten nach der Operation.

In den Tabellen wurden vertikal bzw. innerhalb der Spalten zwei abhängige Variablen (prä- vs. postoperativ) mithilfe des Mann-Whitney U-Test bei nicht-parametrischer Verteilung verglichen.

In der Horizontalen bzw. Zeilen wurde ein Gruppenvergleich mit unabhängigen Stichproben durchgeführt. Hier wurden entweder zwei unabhängige Stichproben (Geschlecht, zwei Altersgruppen) oder mehr als zwei unabhängige Stichproben (z.B. mehr als zwei Altersgruppen, Cobb-Winkel, Operationsmethoden, VAS, mJOAS, sagittales Profil) verglichen. Hierfür wurden je nach Verteilung bei zwei unabhängigen Stichproben der Mann-Whitney U-Test und bei mehr als zwei unabhängigen Stichproben der Kruskal-Wallis ANOVA-Test angewandt.

Das Alter während der Operation lag zwischen 36 und 86 Jahren. Das Durchschnittsalter betrug 62.79 Jahre mit einer Standardabweichung von ± 9.37 Jahren.

Alter

Signifikant profitiert ($p < 0.001$ ***) von der Operation haben beide Altersgruppen (<65 und ≥ 65 Jahre) hinsichtlich des prä- und post-operativen mJOAS (siehe Tabelle 1.1).

Tabelle 1.1) Vertikaler Vergleich des mJOAS vor sowie nach der Operation innerhalb der beiden Altersgruppen <65 und ≥ 65 Jahre mithilfe des Wilcoxon's Signed-Rank-Test.

	Gruppe 1 Alter <65 Jahre (n=67)	Gruppe 2 Alter ≥ 65 Jahre (n=45)	p-Wert
Gruppe A mJOAS prä-op (n=108)	12.51 \pm 2.66	11.77 \pm 2.64	p=0.102
Gruppe B mJOAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	14.65 \pm 2.53	13.71 \pm 2.58	p=0.032
p-Wert	p<0.001 ***	p<0.001 ***	

Legende: Vergleich der Altersgruppen (horizontal) auf das mJOAS prä-operativ mithilfe des Mann-Whitney U-Test (keine Signifikanz).

Die Patientengruppe <65 Jahre hat im Vergleich zu der höheren Altersgruppe postoperativ insgesamt besser profitiert (p= 0.020*, siehe Tabelle 1.2)

Tabelle 1.2) Horizontaler Vergleich des Odom-Score der beiden Patientengruppen post-operativ (Mann-Whitney U-Test).

	Gruppe 1 Alter <65 Jahre (n=67)	Gruppe 2 Alter ≥65 Jahre (n=45)	p-Wert
Gruppe C Odom-Score (n=112)	gut (1.79 ± 0.83)	gut (2.18 ± 0.89)	p=0.020*

Weder beim Vergleich prä- und post-operativer VAS als auch im Follow-Up beider Altersgruppen war kein signifikanter Unterschied zu beobachten (siehe Tabelle 1.3).

Tabelle 1.3) Vertikaler Vergleich des VAS prä- und post- operativ mit den beiden Altersgruppen und Vergleich des Follow-Ups der beiden Altersgruppen (Wilcoxon-Signed-Rank-Test).

	Gruppe 1 Alter <65 Jahre (n=67)	Gruppe 2 Alter ≥65 Jahre (n=45)	p-Wert
Gruppe D VAS prä-op (n=101)	4.62 ± 1.65	4.37 ± 1.43 (n=)	p=0.493
Gruppe E VAS post-op bei letztem FU (n=111)	3.27 ± 1.51	3.42 ± 1.70	p=0.671
Gruppe F FU (Monate)	79.61 ± 60.60	82.22 ± 50.05	p=0.815

Legende: Vergleich des Follow-Up horizontal der beiden Altersgruppen mithilfe des Mann-Whitney U-Test und VAS prä- und post-operativ zeigen keine Signifikanz.

Im prä- und post-operativen Vergleich des VAS konnten alle drei Altersgruppen signifikant von der Operation profitieren (siehe Tabelle 1.4).

Tabelle 1.4: Vertikaler Vergleich von VAS prä- und postoperativ innerhalb der drei Altersgruppen ≤ 59 Jahre, ≤ 59 Jahre und ≥ 70 Jahre mithilfe des Wilcoxon Signed-Rank-Test

	Gruppe 1 Alter ≤ 59 Jahre (n=42)	Gruppe 2 Alter 60-69 Jahre (n=50)	Gruppe 3 Alter ≥ 70 Jahre (n=20)	p-Wert
Gruppe A VAS prä-op (n=101)	4.94±1.55	4.46±1.59	3.90±1.33	p=0.071
Gruppe B VAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	3.36±1.53	3.37±1.67	3.20±1.58	p=0.913
p-Wert	p<0.001***	p<0.001***	p=0.026*	

Legende: Vergleich von jeweils VAS prä-op und VAS-post op (horizontal) mit den drei Altersgruppen mithilfe des Kruskal-Wallis ANOVA – Test weisen keine Signifikanz auf.

Ebenfalls konnte sich der mJOAS in allen drei Altersgruppen nach der Operation verbessern (siehe Tabelle 1.5).

Tabelle 1.5) Vertikaler Vergleich des prä- mit postoperativem mJOAS mit jeweils der 3 Altersgruppen mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test.

	Gruppe 1 Alter ≤59 Jahre (n=42)	Gruppe 2 Alter 60- 69 Jahre (n=50)	Gruppe 3 Alter ≥70 Jahre (n=20)	p-Wert
mJAOS prä-op (n=108)	12.28±2.70	12.56±2.57	11.25±2.73	p=0.191
mJOAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	14.59±2.43	14.38±2.63	13.35±2.70	p=0.151
p-Wert	p<0.001**	p<0.001**	p<0.001**	

Legende: Horizontaler Vergleich von mJOAS mit allen drei Altersgruppen mithilfe des Kruskal-Wallis ANOVA – Test weisen keine Signifikanz auf.

Keine Altersgruppe unterscheidet sich signifikant bezüglich des Odom-Score sowie des Follow-UPs (siehe Tabelle 1.6)

Tabelle 1.6) Horizontaler Vergleich von Odom-Score als auch Follow-Up mit allen drei Altersgruppen mithilfe des Mann-Whitney U-Tests.

	Gruppe 1 Alter ≤59 Jahre (n=42)	Gruppe 2 Alter 60- 69 Jahre (n=50)	Gruppe 3 Alter ≥70 Jahre (n=20)	p-Wert
Gruppe E Odom-Score (n=112)	gut 1.86±0.75	gut 2.06±0.98	gut 1.85±0.81	p=0.621
Gruppe E FU (Monate)	87.33 ± 63.16	74.86 ± 54.75	80.66 ± 58.57	p=0.631

Bei der Aufteilung in mehrere Altersdekadengruppen (1-5) wurde ebenfalls ein signifikanter Unterschied des VAS (siehe Tabelle 1.7) als auch des mJOAS (siehe Tabelle 1.8) nach der

Operation beobachtet. Im Vergleich mit den jeweiligen Altersgruppen, war keine Altersgruppe signifikant zufriedener nach der Operation (siehe Tabelle 1.9).

Tabelle 1.7) Vertikaler Vergleich von VAS prä- und postoperativ innerhalb jeder einzelnen Altersgruppe mithilfe des Wilcoxon's Signed-Rank-Test.

	Gruppe 1 (< 50 Jahre) (n=8)	Gruppe 2 (55-59 Jahre) (n=34)	Gruppe 3 (60-69 Jahre) (n=50)	Gruppe 4 (70-79 Jahre) (n=14)	Gruppe 5 (≥ 80 Jahre) (n=6)	p-Wert
VAS prä-op (n=101)	4.67 ± 0.82	5.00 ± 1.67	4.38 ± 1.51	4.29 ± 0.91	3.00 ± 1.79	p=0.091
VAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	2.88 ± 1.36	3.47 ± 1.57	3.38 ± 1.69	3.43 ± 1.74	2.67 ± 1.03	p=0.702
	p=0.680	p<0.001*	p<0.001*	p=0.006*	p=0.026*	

Legende: Kein signifikanter Unterschied des VAS im horizontalen Vergleich der verschiedenen Altersgruppen (Kruskal-Wallis ANOVA – Test)

Tabelle 1.8) Vertikaler Vergleich von mJOAS prä- und postoperativ innerhalb jeder einzelnen Altersgruppe mithilfe des Wilcoxon's Signed-Rank-Test.

	Gruppe 1 (< 50 Jahre) (n=8)	Gruppe 2 (55-59 Jahre) (n=34)	Gruppe 3 (60-69 Jahre) (n=50)	Gruppe 4 (70-79 Jahre) (n=14)	Gruppe 5 (≥ 80 Jahre) (n=6)	p-Wert
mJAOS prä-op (n=108)	12.13 ± 2.42	12.31 ± 2.80	12.55 ± 2.59	12.07 ± 2.59	9.33 ± 2.16	p=0.110
mJOAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	14.75 ± 2.19	14.55 ± 2.60	14.39 ± 2.65	14.07 ± 2.70	11.67 ± 1.97	p=0.122
	p=0.013**	p<0.001**	p<0.001**	p<0.001**	p=0.065	

Legende: Kein signifikanter Unterschied des mJOAS post-operativ bei der Altersgruppe 5.
Kein signifikanter Unterschied des mJOAS im horizontalen Vergleich der verschiedenen Altersgruppen (Kruskal-Wallis ANOVA – Test).

Tabelle 1.9) Horizontaler Vergleich von Odom-Score und Follow-Up mit allen Altersgruppen 1-5 mithilfe des Kruskal-Wallis ANOVA-Test.

	Gruppe 1 (< 50 Jahre) (n=8)	Gruppe 2 (55-59 Jahre) (n=34)	Gruppe 3 (60-69 Jahre) (n=50)	Gruppe 4 (70-79 Jahre) (n=14)	Gruppe 5 (≥ 80 Jahre) (n=6)	p-Wert
Gruppe E Odom- Score (n=112)	gut 1.88±0.64	gut 1.85±0.78	gut 2.08±0.96	gut 1.86±0.86	gut 1.83±0.75	p=0.867
Gruppe E FU (Monate)	101.75 ± 79.47	89.12 ± 65.67	79.96 ± 59	97.36 ± 72.92	85.4 ± 63	p=0.557

Geschlecht

48 der Patienten waren weiblichen und 64 männlichen Geschlechts. Insgesamt hat das Geschlecht keinen signifikanten Einfluss auf das klinische Ergebnis gezeigt. In dieser Auswertung haben ebenfalls beide Geschlechtergruppen im Vergleich prä- und postoperativ im VAS (siehe Tabelle 2.1) als auch im mJOAS (siehe Tabelle 2.2) signifikant von der Operation profitiert.

Tabelle 2.1.) Vertikaler Vergleich von VAS prä- als auch post-operativ mit Gruppe 1 und Gruppe 2 mithilfe des Wilcoxon Signed-Rank-Test.

	Gruppe 1 Männlich n=64	Gruppe 2 Weiblich n=48	p-Wert
Gruppe A VAS prä-op (n=101)	4.23 ± 1.49	4.80 ± 1.62	p=0.147
Gruppe B VAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	Ø 3.33 ± 1.51	Ø 3.33 ± 1.69	p=0.888
p-Wert	p<0.001***	p<0.001***	

Legende: Keine signifikanten Unterschiede im VAS zwischen den beiden Geschlechtergruppen (Mann Whitney U-Test)

Tabelle 2.2.) Vertikaler Vergleich von mJOAS prä- als auch post-operativ mit Gruppe 1 und

Gruppe 2 mithilfe des Wilcoxon's Signed-Rank-Test.

	Gruppe 1 Männlich n=64	Gruppe 2 Weiblich n=48	p-Wert
Gruppe C mJOAS prä-op (n=108)	Ø 12.37 ± 2.74	Ø 12.00 ± 2.58 P=0.391	p=0.391
Gruppe D mJOAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	Ø 14.30 ± 2.71	Ø 14.23 ± 2.42	p=0.713
p-Wert	p<0.001**	p<0.001**	

Legende: Keine signifikanten Unterschiede im mJOAS zwischen den beiden Geschlechtergruppen (Mann-Whitney U-Test).

Tabelle 2.3) Horizontaler Vergleich der Geschlechtergruppen in Hinblick auf den Odomscore und das Follow-Up (Mann-Whitney U-Test).

	Gruppe 1 Männlich n=64	Gruppe 2 Weiblich n=48	p-Wert
Gruppe E Odom- Score (n=112)	gut 1.91±0.83	gut 2.00±0.92	p=0.609
Gruppe F FU (Monate)	88.30 ± 65	80.10 ± 61	p=0.558

3.2 Klinische und chirurgische Ergebnisse

Die operative Behandlung wurde von 75% der untersuchten Patienten als erfolgreich bewertet (exzellentes oder gutes Ergebnis). Bezüglich des mJOAS und der Nackenschmerzen hat die Operation das neurologische Ergebnis signifikant verbessert.

Nackenschmerzen

Signifikant von der Operation profitiert (siehe Tabelle 3.1) haben Patienten mit intensiven Nackenschmerzen mit einem VAS ab 4 prä-operativ. Obwohl die Operation nicht den Schmerzstatus der Patienten mit milden Nackenschmerzen verbessert hat, wurde aber die klinische Situation in Bezug auf den Odom-Score gleich gut bewertet, weshalb kein signifikanter

Unterschied festgestellt werden konnte ($p=0.584$, siehe Tabelle 3.2). Trotz präoperativer unterschiedlich stark ausgeprägter Nackenschmerzen war eine post-operative Verbesserung der neurologischen Genesung bei allen Patienten anhand der VAS zu beobachten.

Tabelle 3.1) Vergleich von drei Patientengruppen anhand ihrer prä-operativem VAS 1-3, 4-6 und ≥ 7 aufgeteilt wurden mit VAS prä- und VAS-postoperativ (Wilcoxon Signed-Rank-Test).

	Gruppe 1 VAS 1-3 n=23	Gruppe 2 VAS 4-6 n=69	Gruppe 3 VAS ≥ 7 n=9	p-Wert
Gruppe A VAS prä-op (n=101)	2.52±0.73	4.78±0.80	7.56±1.01	p<0.001***
Gruppe B VAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	2.43±1.70	3.46±1.40	4.44±2.13	p<0.001***
p-Wert	p=0.535	p<0.012**	p<0.012**	

Legende: Kein signifikanter Unterschied bei Gruppe 1 (VAS 1-3). Signifikanter Unterscheid beim horizontalen Vergleich von VAS präoperativ mit Gruppe 1-3 als auch VAS post-operativ mit Gruppe 1-3 (mithilfe des Kruskal-Wallis ANOVA – Test).

Tabelle 3.2) Horizontaler Vergleich von mJOAS vor und nach der Operation und von Odom-Score nach der Operation mit den drei VAS-Gruppen (Kruskal-Wallis ANOVA – Test).

	Gruppe 1 VAS 1-3 n=23	Gruppe 2 VAS 4-6 n=69	Gruppe 3 VAS ≥7 n=9	p-Wert
Gruppe C mJOAS prä-op (n=108)	12.64±2.79	12.05±2.70	11.11±2.57	p<0.308
Gruppe D mJOAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	14.35±2.87	14.26±2.63	13.44±2.46	p<0.540
Gruppe E Odom- Score (n=112)	gut 1.87±0.82	gut 1.97±0.89	gut 1.67±0.87	p=0.584

Legende: Ebenfalls keine Signifikanz bei dem vertikalen Vergleich vom mJOAS innerhalb der Gruppen Wilcoxon's Signed- Rank-Test.

Neurologische Beeinträchtigung

In der Analyse des neurologischen Status war zu beobachten, dass Patienten auch mit niedrigem mJOAS von der OP profitieren konnten (siehe Tabelle 4.1). Jedoch lagen diese Patienten deutlich unter dem Normbereich.

Bessere neurologische Ergebnisse postoperativ hatten Patienten mit milden neurologischen Defiziten in der Gruppe 3 (siehe Tabelle 4.2). Trotzdem wurde die Operation gleichmäßig von Patienten aller Gruppen und ohne gruppeninterne Unterschiede bezüglich des Odom-Score in den meisten Fällen als Erfolg bewertet. Es lag jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den verschiedenen Gruppen (p=0.568) (siehe Tabelle 4.3).

Tabelle 4.1) Vertikaler Vergleich von 3 Patientengruppen, aufgeteilt in verschiedene mJOAS-Score-Bereiche mit VAS vor und nach der Operation beim letzten Follow-Up mit dem Wilcoxon's Signed- Rank-Test und horizontaler Vergleich der beiden VAS-Stichproben mit allen mJOAS-Gruppen mit dem Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

	Gruppe 1 mJOAS ≤ 9 n=24	Gruppe 2 mJOAS 10-13 n=42	Gruppe 3 mJOAS ≥13 n=42	p-Wert
Gruppe A VAS prä-op (n=101)	4.69±1.55	4.82±1.66	3.97±1.32	p=0.056
Gruppe B VAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	3.67±1.60*	3.55±1.47*	2.90±1.67	p=0.081
	p<0.002**	p<0.002**	p=0.007**	

Tabelle 4.2) Vertikaler Vergleich von 3 Patientengruppen, aufgeteilt in verschiedene mJOAS-Score-Bereiche mit mJOAS vor und nach der Operation beim letzten Follow-Up mit dem Wilcoxon's Signed- Rank-Test und horizontaler Vergleich der beiden mJOAS-Stichproben mit allen mJOAS-Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

	Gruppe 1 mJOAS ≤ 9 n=24	Gruppe 2 mJOAS 10-13 n=42	Gruppe 3 mJOAS ≥13 n=42	p-Wert
Gruppe C mJOAS prä-op (n=108)	8.25±0.90	11.88±1.09	14.81±0.83	p<0.001***
Gruppe D mJOAS post-op bei letztem FU(Monate) (n=111)	10.88±1.90	13.76±1.45	16.57±1.00	p<0.001***
p-Wert	p<0.001***	p<0.001***	p<0.001***	

Tabelle 4.3) Vergleich des Odom-Score mit allen drei mJOAS-Gruppen mit Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

	Gruppe 1 mJOAS ≤ 9 n=24	Gruppe 2 mJOAS 10-13 n=42	Gruppe 3 mJOAS ≥13 n=42	p-Wert
Gruppe E Odom-Score (n=112)	gut 2.13±0.99	gut 1.88±0.83	gut 1.88±0.86	p=0.568

Chirurgische Techniken

Die operativen Techniken beinhalteten:

- ACCF (n=36),
- sACDF (n=28),
- mACDF (n=20),
- LF (mit Schrauben-Stab-Osteosynthese) (n=28).

Alle Patienten der Operationsgruppen bis auf die Patienten der Gruppe 3, die mittels mACDF operiert worden sind, haben von der Operation in Hinblick auf das VAS post-operativ signifikant profitiert (Siehe Tabelle 5.1).

Weiterhin haben sich ebenfalls die neurologischen Symptome oder des Nackenschmerzes anhand des mJOAS-Vergleichs in den unterschiedlichen Operationsgruppen in allen Gruppen signifikant verbessert (siehe Tabelle 5.2). Jedoch konnten keine weiteren Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen werden.

Im Vergleich des postoperativen Odom-Score haben Patienten mit einer ACCF ein besseres Ergebnis als sACDF- und mACDF-Patienten erzielt. Die Anzahl der involvierten Segmente hatte in unserer Untersuchung klinisch keinen Einfluss auf das Outcome.

Tabelle 5.1) Vertikaler Vergleich von VAS vor und nach Operation mit den jeweiligen Gruppen der Operationstechniken ACCF, sACDF, mACDF und LF mittels Wilcoxons Signed- Rank-Test und horizontale Auswertung von beiden VAS-Stichproben mit allen Operationstechniken mit Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

	Gruppe 1 ACCF n=36	Gruppe 2 sACDF n=28	Gruppe 3 mACDF n=20	Gruppe 4 LF n=28	p-Wert
Gruppe A VAS prä-op (n=101)	4.60±1.26	3.89±1.75	5.45±1.90	4.14±1.21	p=0.034
Gruppe B VAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	3.20±1.39*	3.04±1.11*	4.05±2.72	3.29±0.94*	p=0.231
p-Wert	p<0.001***	p<0.001***	p=0.06	p<0.001***	

Legende: signifikante Besserung in jeder Gruppe bis auf die mACDF-Gruppe.

Tabelle 5.2) Vertikaler Vergleich von mJOAS vor und nach Operation mit den jeweiligen Gruppen der Operationstechniken ACCF, sACDF, mACDF und LF mittels Wilcoxons Signed- Rank-Test und horizontale Auswertung von beiden mJOAS-Stichproben mit allen Operationstechniken mit Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

	Gruppe 1 ACCF n=36	Gruppe 2 sACDF n=28	Gruppe 3 mACDF n=20	Gruppe 4 LF n=28	p-Wert
Gruppe C mJOAS prä- op (n=108)	11.94±2.47	12.62±2.79	12.50±2.84	11.96±2.74	p=0.598
Gruppe D mJOAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	14.34±2.46	14.57±2.55	14.00±2.64	14.07±2.83	p=0.855
p-Wert	p<0.001***	p<0.001***	p=0.002**	p<0.001***	

Legende: signifikante Verbesserung des mJOAS-Score durch die OP in jeder Gruppe.

Tabelle 5.3) Horizontale Auswertung des Odom-Score mit allen Operationstechniken
(Kruskal-Wallis ANOVA – Test).

	Gruppe 1 ACCF n=36	Gruppe 2 sACDF n=28	Gruppe 3 mACDF n=20	Gruppe 4 LF n=28	p-Wert
Gruppe E Odom-Score (n=112)	gut 1.67±0.93	gut 2.21±0.63	gut 2.25±0.91	gut 1.82±0.86	p=0.019**

Legende: ACCF-Gruppe hat signifikant besser profitiert.



Abbildung 5: PEEK-Cage.



Abbildung 6: Mehrsegmentale ACDF (mACDF) mit PEEK-Cage und zusätzlicher Plattenosteosynthese.



Abbildung 7: ACCF mit Wirbelkörperersatz aus Titan und zusätzlicher Plattenosteosynthese.



Abbildung 8: LF mit Schrauben-Stab-Osteosynthese

3.3 Radiologische Ergebnisse

Der Lordosewinkel konnte durch die Operation signifikant verbessert werden: Er betrug vor der OP $11,11^\circ \pm 13,70^\circ$ und nach der OP $15,36^\circ \pm 9,18^\circ$ ($p=0,001$, Wilcoxon-Test).

Präoperatives Sagittales Profil

Die präoperative Lordose hat in unserer Analyse keine Unterschiede zwischen den Gruppen gezeigt: Patienten mit einer zervikalen Kyphose litten nicht an mehr Schmerzen (VAS) oder stärkeren neurologischen Beeinträchtigungen (mJOAS) als Patienten mit einer gut erhaltenen zervikalen Lordose (siehe Tabelle 6.1 und 6.2).

Eine signifikante Verbesserung der Nackenschmerzen und des neurologischen Status der Patienten war nicht abhängig vom präoperativen zervikalen Profil. Die post-operative Zufriedenheit der Patienten war daher insgesamt nicht abhängig vom prä-operativen zervikalen Profil.

Der Odom-Score konnte ebenfalls keine Signifikanz auf einen Unterschied des sagittalen Profils auf das klinische Outcome bestätigen ($p=0.401$, siehe Tabelle 6.3).

Tabelle 6.1) Vertikaler Vergleich von VAS prä- mit VAS post-operativ der verschiedenen Gruppen der präoperativen sagittalen Profile mittels Wilcoxons Signed- Rank- Test und horizontaler Vergleich der beiden VAS-Stichproben mit allen präoperativen sagittalen Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

	Gruppe 1 C 2-7 < 0° n=20	Gruppe 2 C 2-7: 0-19° n=52	Gruppe 3 C2-7 ≥20° n=38	p-Wert
Gruppe A VAS prä- op (n=101)	4.83±1.86	4.39±1.41	4.53±1.62	p=0.903
Gruppe B VAS post- op bei letztem FU (Monate) (n=111)	3.45±1.99	3.10±1.55	3.62±1.42	p=0.325
p-Wert	p=0.01**	p<0.001***	p=0.044*	

Legende: Signifikante Besserung im VAS nach der Operation der Gruppe 1 und Gruppe 2.
Kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen 1, 2 und 3.

Tabelle 6.2) Vertikaler Vergleich von mJOAS prä- mit post-operativ der verschiedenen Gruppen der präoperativen sagittalen Profile mittels Wilcoxons Signed-

Rank-Test und horizontaler Vergleich der beiden VAS-Stichproben mit Allen präoperativen sagittalen Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA –Test.

	Gruppe 1 C 2-7 < 0° n=20	Gruppe 2 C 2-7: 0-19° n=52	Gruppe 3 C2-7 ≥20° n=38	p-Wert
Gruppe C mJOAS prä-op (n=108)	13.06±2.14	12.06±2.76	11.83±2.77	p=0.314
Gruppe D mJOAS post-op bei letztem FU (Monate) (n=111)	14.70±2.16	14.21±2.78	13.97±2.52	p=0.620
p-Wert	p<0.001***	p<0.001***	p<0.001***	

Legende: Signifikante Besserung im mJOAS nach der Operation der Gruppe 1 und Gruppe 2. Kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen 1, 2 und 3.

Tabelle 6.3) Horizontaler Vergleich des Odom-Score mit allen präoperativen sagittalen Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA –Test.

	Gruppe 1 C 2-7 < 0° n=20	Gruppe 2 C 2-7: 0-19° n=52	Gruppe 3 C2-7 ≥20° n=38	p-Wert
Gruppe E Odom-Score (n=112)	gut 1.85±0.88	gut 2.04±0.82	gut 1.87±0.96	p=0.401

Legende: Kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen 1-3 zu beobachten.

4. Diskussion

In dieser Studie wurden Daten von 112 Patienten retrospektiv untersucht. Die Analyse der Validität der möglichen prädiktiven Faktoren hat gezeigt, dass das Alter als prädiktiver Faktor abhängig von der Aufteilung in Altersgruppen und somit ein komplexer Faktor für eine gute prognostische Einschätzung ist. Nackenschmerzen und der Ausgangswert des mJOAS konnten als verlässliche prognostische Faktoren bestätigt werden. Jedoch konnte die präoperative zervikale sagittale Kyphose in unserer Studiengruppe als valider prädiktiver Faktor nicht bestätigt werden.

4.1. Alter

Das Alter scheint ein möglicher prädiktiver Faktor für die Behandlung der CSM zu sein. Die Ergebnisse dieser Studie unterscheiden sich von diversen publizierten Studien [78, 109, 111], da in jeder Studie die Aufteilung in die Altersgruppen nach anderen Kriterien durchgeführt wurde.

Obwohl diese Ergebnisse mit einigen größeren Studien mit dichotomierten Patienten im Alter von 65 Jahren [57, 118, 119] übereinstimmen, zeigt die Aufteilung in Lebensdekaden oder in verschiedene Altersgruppen oft abweichende Ergebnisse [111, 115, 117, 120, 121]. Die Aufteilung der Patienten in verschiedene Altersgruppen, wie in dieser und einigen anderen Studien, könnte ebenfalls das Alter als valider Prädiktor auf das klinische Outcome beeinflussen [122].

Peolsson et al. [123] beschreiben in Ihrer Studie, dass männliche Patienten ein besseres postoperatives Ergebnis durch eine belastbarere Nackenmuskulatur erzielen. Dennoch wurde in dieser Studie die Variable Geschlecht als prädiktiver Faktor auf das Ergebnis einer Operation bei CSM nicht bestätigt. In einer weiteren Studie [109] konnte ebenfalls kein spezifischen Unterschied zwischen Geschlecht oder Dauer der Symptome zwischen den beiden Altersgruppen (ältere und jüngere Patienten) festgestellt werden.

Obwohl es widersprüchliche Meinungen zur Prädiktivität der Symptombdauer zwischen älteren und jüngeren Patienten auf das Outcome gibt [57, 78, 115-117] und in einer großen prospektiven Studie keine längere Dauer der Symptome bei älteren Patienten nachzuweisen war [58, 78], kann die Symptombdauer bei älteren Patienten als substantieller Einflussfaktor nicht ausgeschlossen werden. Die Operation wird bei älteren Patienten häufiger verspätet durchgeführt, obwohl diese Patienten eine länger andauernde Symptomgeschichte aufweisen. Hier können verschiedene Komorbiditäten des hohen Alters, die auch Gangstörungen verursachen können, für die verspätete Diagnose verantwortlich sein [6, 57-59].

Ältere Patienten mit einer Baseline des mJOAS im unteren Bereich [109] genesen im Vergleich zu anderen Altersgruppen schlechter als Patienten, die einen besseren mJOAS aufweisen. Aufgrund altersabhängiger Veränderungen des Rückenmarkkanals und verminderter physiologischer Reserven könnten diese Patienten bei der Genesung eingeschränkt sein [109, 124]. Verschiedene chirurgische Herangehensweisen für jüngere (vorzugsweise anteriore) und ältere Patienten (vorzugsweise posteriore) könnten einen Einfluss auf das Endergebnis und auf die Validität von Alter als einen vorhersagbaren Faktor haben. Laut einer Studie von Nakashima et al. [109] benötigen ältere Patienten aufgrund von mehr substantiellen degenerativen Pathologien eine

höhere Invasivität bei der Behandlung der CSM, womit die Diskrepanzen der Genesung zwischen jüngeren und älteren Patienten erklärt werden können. Daher könnte es sich als schwierig herausstellen, ältere Patienten in Gruppen zu unterteilen und zu definieren, wann genau diese altersabhängigen Prozesse beginnen.

Im Vergleich von Patienten im Alter von <80 und 80> Jahren scheinen keine substantiellen Unterschiede[115] erkennbar zu sein. Doch trotzdem ist es nicht eindeutig, weshalb sich im Vergleich der Patienten in der 5. Lebensdekade mit Patienten in der 7. oder 8. Lebensdekade keine statistischen Unterschiede zeigen.

Vielleicht müsste eine größere Patientenzahl gegeben sein, um statistische Unterschiede in diesen aufgeteilten Gruppen zu finden. Die Aufteilung in >65 und <65 Jahre bietet gewiss eine größere Anzahl an Patienten für den Vergleich, die auch Faktoren kumulieren könnte, die jüngere Patienten begünstigen würde.

Nichtsdestotrotz scheint das Alter kein optimaler Prädiktor zu sein, da die Validität der Daten größtenteils von der Definition der Altersgruppen und Komorbiditäten abhängig ist sowie die Symptombdauer die Validität des Alters als unabhängiger vorhersagbarer Faktor beeinflussen könnte.

4.2. Klinische Prädiktoren

Die Baseline mJOAS hat sich als ein zuverlässiger Prädiktor für das neurologische Ergebnis bewiesen[125, 126] – ein niedriger präoperativer mJOAS bedeutet auch ein niedriger mJOAS postoperativ. Dahingegen wurde in einer Studie von Ahn et al[19] keine Korrelation zwischen Baseline mJOAS beobachtet und konnte somit keine verlässliche Vorhersage für ein gutes klinisches Outcome bestätigen.

In Hinblick auf die aktuelle Studienlage ist eine gute präoperative Ausgangslage ein Indikator für eine zufriedenstellende Genesung und führt somit zu guten Ergebnissen[19, 127]. Trotz einer präoperativen niedrigen Baseline im mJOAS wurden nach einem operativen Eingriff bei Patienten sowohl in dieser als auch in anderen Studien[128, 129] gute Ergebnisse beobachtet. In der vorliegenden Patientengruppe mit dem Indexalter von 65 Jahren korrelierten die selbst dokumentierten Ergebnisse mithilfe des Odom-Score mit neurologischer Genesung. In einer großen prospektiven Studie von Nakashima et al.[109] wurde zwischen patientenorientierten Ergebnissen keine Korrelation festgestellt. Zudem zeigte der mJOAS, dass schwerwiegende funktionelle Beeinträchtigungen durch schwache physiologische Reserven zu einer ähnlich

schlechten Lebensqualität führen. Jedoch können Unterschiede zwischen dem Neck Disability Index und dem SF-36 aus der Studie von Nakashima et al.[109] sowie zwischen dem VAS und Odom-Score dieser Studie die Interpretation der Ergebnisse beeinflussen.

Ein valider Prädiktor des Ergebnisses dieser Studie war der Baseline-Schmerz. Der Rückgang des Schmerzens nach der Operation wurde bereits in zahlreichen Studien beschrieben[129-132], die sich mit degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule beschäftigt haben. Die Patienten dieser Studien haben trotz relativ milder Nackenschmerzen eine erfolgreiche Behandlung ihrer Schmerzen angegeben und sich von den neurologischen Beeinträchtigungen gut erholt. Obwohl die Patienten mit präoperativen starken Nackenschmerzen von der Operation profitiert haben, haben diese jedoch weiterhin postoperativ unter Schmerzen gelitten. Wegen der degenerationsbedingten Pathogenese dieser Krankheit, könnte das Ziel einer kompletten Beschwerdefreiheit schwierig werden. Keine wesentliche Veränderung konnten Patienten mit einer präoperativen niedrigen Baseline des Nackenschmerzes feststellen. Hingegen tendieren Patienten mit starken Nackenschmerzen dazu, selbst nach der erfolgreichen Operation weiterhin unter den Auswirkungen einer Degeneration der HWS zu leiden[2].

Kritisch diskutiert sollte zudem die Auswertung von Nackenschmerzen der Studienteilnehmer mithilfe der VAS. Diese können durch verschiedene Kovariablen, wie muskuläre Verspannung, Fehlstellungen sowie Chronifizierungen beeinflusst sein und sind weniger Ausdruck der CSM.

4.3. Operative Techniken und zervikales sagittales Profil

In der vorliegenden Studie haben Patienten der ACCF-Gruppe ein besseres Outcome mittels Odom-Score als diejenigen Patienten, die nur eine einsegmentale ACDF erhalten haben. Das Untersuchungsergebnis bleibt allerdings unklar, weil weder Unterschiede bezüglich der präoperativen und postoperativen Schmerzskala noch der neurologischen Genesung nachgewiesen werden konnten[57, 69, 133]. Erklärungen für ein besseres Outcome könnten sowohl eine bessere Stabilität durch eine zusätzliche Plattenosteosynthese als auch eine mehrsegmentale OP der ACCF-Gruppe bei Patienten mit degenerativen Erkrankungen sein[134, 135]. Demnach würden aber auch Patienten aus der Gruppe der mehrsegmentalen Laminektomie mit zusätzlicher Fixation ebenfalls ein besseres Outcome zeigen. Daher können u.a. auch psychologische Gründe eine zusätzliche Erklärung für das Ergebnis darstellen, da Patienten positiv überrascht reagieren

könnten, dass trotz einer komplexen Operation mit dem Entfernen und Ersetzen eines Wirbelkörpers eine gute Erholung von der OP möglich ist.

Es wird angenommen, dass eine stärkere mehrsegmentale Osteochondrose[32] ein Grund für intensivere Nackenschmerzen vor der Operation sein könnte, da sich in der vorliegenden Studie die Patienten mit einer mACDF im Vergleich zu den Patienten mit sACDF über mehr präoperative Nackenschmerzen beklagte[136]. Als eines der wichtigsten OP-Ziele wurde die Korrektur der zervikalen Kyphose bzw. die Wiederherstellung einer zervikalen Lordose neben der Dekompression und Stabilisation gesehen. Ausschlaggebend für dieses OP-Ziel war die Verkleinerung des Spinalkanaldurchmessers durch zervikale kyphotische Deformität, die daraus folgende axiale Belastung auf die Facettengelenke und die resultierende Hypertrophie der Gelenke[32] und die mit stärkeren neurologischen Symptomen [40, 137] einhergehende Verformung der HWS[32]. Deswegen wurde bei Patienten mit einer präoperativen zervikalen Kyphose der mehrsegmentale operative Zugang viel häufiger durchgeführt. In den Daten dieser Studie konnte aber nicht bestätigt werden, dass die Korrektur der Kyphose bzw. das Ausmaß der Korrektur immer zu einer Verbesserung führt. Da postoperativ kein Patient in einer Kyphose verblieb, kann man nicht sagen, dass eine Kyphosekorrektur zwingend erforderlich ist, da Patienten mit postoperativer Kyphose nicht untersucht werden konnten. Wie auch in der Studie von Lee et al.[108] scheint keine Abhängigkeit bei den Patienten zwischen der Baseline der Nackenschmerzen und mJOAS und des präoperativen zervikalen Profil zu liegen. Jedoch kann das sagittale Profil der HWS für die Vorhersage des klinischen Ergebnisses ein abhängiger Faktor sein. Die Bedeutung des sagittalen Profils bleibt trotz anzunehmend hoher Bedeutung in vielen Studien immer noch unklar[13].

4.4. Grenzen der Studie

Diese Studie weist die Grenzen einer retrospektiven Studie auf, da keine Selektion der Patienten stattfinden kann. Dadurch gibt es Patienten verschiedener Altersstufen mit unterschiedlicher Stärke, Dauer und Schwere der Symptomatik.

Nicht analysiert wurde die präoperative Symptombdauer, da die Daten sehr unspezifisch in den Akten zur Verfügung standen.

Zusätzlich konnte die Signalintensität der Myelonveränderungen als möglicherweise wichtiger prädiktiver Faktor nicht gewertet werden, da die digitalen Daten für eine Signalmessung nicht verfügbar waren.

Durch den Einsatz von verschiedenen Wirbelsäulenchirurgen kann ein Bias bezüglich der persönlichen Präferenzen und Techniken sowie Indikation für die jeweilige Operationsmethode entstanden sein. Abhängig für die Auswahl des Operationszugangs waren das sagittale Profil und das Ausmaß der Rückenmarkskompression die wichtigsten Faktoren. Die schwereren segmentalen Kyphosen wurden eher über einen mehrsegmentalen anterioren Zugang korrigiert. Bei Patienten mit präoperativer Lordose wurde dementsprechend öfter auch der posteriore Zugang gewählt. Allerdings war die jeweilige OP-Methode nicht standardisiert und letztlich vom Operateur abhängig.

Zudem wurde der postoperative COBB-Winkel von einem Untersucher vermessen, eine redundante Messvariabilität kann dabei auftreten. Ausgeschlossen ist jedoch dabei eine Inter-Observer-Variabilität.

Desweiteren weist die Messmethode des sagittalen Profils mittels des Winkels nach Cobb nur die Aussagen zur lokalen Ausrichtung und schließt nicht das globale Profil ein.

Im Vergleich zu prospektiven Studien, bei denen die Follow-Up-Zeit besser definiert ist, kann bei dieser retrospektiven Studie ein Bias wegen längerer Zeitspannen bis zu dem letzten Follow-Up entstanden sein. Unregelmäßige Zeitspannen bis zum Follow-Up können die Vergleichbarkeit der postoperativen Angaben beeinflussen, radiologische und klinische Veränderungen des Patienten bei einem zeitnahem Follow-Up nicht erfasst worden sein. Diese Fehlerquelle lässt sich aufgrund des retrospektiven Studiendesigns nicht immer vermeiden.

Es konnten nur die Patienten erfasst werden, die zur Nachkontrolle ins Vivantes Auguste-Viktoria-Klinikum und in die Sana-Einrichtungen zum Follow-Up kamen. Somit konnten nicht alle Patienten der Datenbank im Follow-Up berücksichtigt werden. Ein Bias mit potentieller Positiv- oder Negativselektion wäre auch möglich, da die Patienten dieser Datenbank in verschiedenen Einrichtungen behandelt wurden und dementsprechend ihren favorisierenden Operateur im Verlauf aufgesucht haben könnten.

Komplikationen konnten nicht ausführlich erfasst werden und umfassten teilweise erfolgte Re-Operationen oder radiologische Auffälligkeiten, wie z.B. Schraubenlockerungen. Bekannte

Komplikationen, wie Recurrens-Paresen oder Muskelatrophien wurden in dieser Studie aufgrund der Art der Datenbank nicht berücksichtigt.

Bei der geringen Anzahl der Patienten dieser Studie ist zudem die Unterteilung in Subgruppen ein Störfaktor und kann die Ergebnisse beeinflussen.

4.5. Zusammenfassung

Die klinische Baseline als valider Prädiktor eines operativen Ergebnisses bei der CSM konnte bestätigt werden. Obwohl auch Patienten mit einer niedrigen Baseline signifikant von einer Operation profitierten, scheint die niedrige klinische Baseline ein valider Prädiktor für ein inferiores Ergebnis zu sein. Das inferiore Ergebnis nach OP bei den älteren Patienten dieser Studie lässt darauf schließen, dass je nach Unterteilung in verschiedene Altersgruppen und Ergebnissen, das Alter einen möglichen validen Prädiktor für ein neurologisches Ergebnis darstellt. Präoperative Kyphosen konnten nicht als negativer Prädiktor bestätigt werden, da die Patienten unabhängig von ihrem präoperativen sagittalen Profils (Kyphose oder Lordose) von der Operation profitiert haben.

5. Verzeichnisse

5.1. Literaturverzeichnis

1. Garfin, S.R., *Cervical degenerative disorders: etiology, presentation, and imaging studies*. Instr Course Lect, 2000. **49**: p. 335-8.
2. Okada, E., Matsumoto, M., Ichihara, D., Chiba, K., Toyama, Y., Fujiwara, H., Momoshima, S., Nishiwaki, Y., Hashimoto, T., Ogawa, J., Watanabe, M., and Takahata, T., *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.
3. Asgari, S., Bassiouni, H., Massoud, N., Schlamann, M., Stolke, D., and Sandalcioglu, I.E., *Decompressive laminoplasty in multisegmental cervical spondylotic myelopathy: bilateral cutting versus open-door technique*. Acta Neurochir (Wien), 2009. **151**(7): p. 739-49; discussion 749.
4. Ebersold, M.J., Pare, M.C., and Quast, L.M., *Surgical treatment for cervical spondylitic myelopathy*. J Neurosurg, 1995. **82**(5): p. 745-51.
5. Morishita, Y., Falakassa, J., Naito, M., Hymanson, H.J., Taghavi, C., and Wang, J.C., *The kinematic relationships of the upper cervical spine*. Spine (Phila Pa 1976), 2009. **34**(24): p. 2642-5.
6. Furlan, J.C., Kalsi-Ryan, S., Kailaya-Vasan, A., Massicotte, E.M., and Fehlings, M.G., *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.
7. Kalsi-Ryan, S., Karadimas, S.K., and Fehlings, M.G., *Cervical spondylotic myelopathy: the clinical phenomenon and the current pathobiology of an increasingly prevalent and devastating disorder*. Neuroscientist, 2013. **19**(4): p. 409-21.
8. Fujimura, Y., Nishi, Y., Chiba, K., Nakamura, M., and Hirabayashi, K., *Multiple regression analysis of the factors influencing the results of expansive open-door laminoplasty for cervical myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament*. Arch Orthop Trauma Surg, 1998. **117**(8): p. 471-4.
9. Lucroy, M.D., Vernau, K.M., Samii, V.F., and LeCouteur, R.A., *Middle ear tumours with brainstem extension treated by ventral bulla osteotomy and craniectomy in two cats*. Vet Comp Oncol, 2004. **2**(4): p. 234-42.
10. Young, W.F., *Cervical spondylotic myelopathy: a common cause of spinal cord dysfunction in older persons*. American Family Physician, 2000. **62**(5): p. 1064-70, 1073.
11. Cabraja, M., Koeppen, D., Lanksch, W.R., Maier-Hauff, K., and Kroppenstedt, S., *Polymethylmethacrylate-assisted ventral discectomy: rate of pseudarthrosis and clinical outcome with a minimum follow-up of 5 years*. BMC Musculoskelet Disord, 2011. **12**: p. 140.
12. Karadimas, S.K., Erwin, W.M., Ely, C.G., Dettori, J.R., and Fehlings, M.G., *Pathophysiology and natural history of cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S21-36.
13. Scheer, J.K., Tang, J.A., Smith, J.S., Acosta, F.L., Jr., Protosaltis, T.S., Blondel, B., Bess, S., Shaffrey, C.I., Deviren, V., Lafage, V., Schwab, F., Ames, C.P., and International Spine Study, G., *Cervical spine alignment, sagittal deformity, and clinical implications: a review*. J Neurosurg Spine, 2013. **19**(2): p. 141-59.
14. Bakhsheshian, J., Mehta, V.A., and Liu, J.C., *Current Diagnosis and Management of Cervical Spondylotic Myelopathy*. Global Spine J, 2017. **7**(6): p. 572-586.

15. Kaye, I.D., Marascalchi, B.J., Macagno, A.E., Lafage, V.A., Bendo, J.A., and Passias, P.G., *Predictors of morbidity and mortality among patients with cervical spondylotic myelopathy treated surgically*. Eur Spine J, 2015. **24**(12): p. 2910-7.
16. Tetreault, L.A., Dettori, J.R., Wilson, J.R., Singh, A., Nouri, A., Fehlings, M.G., Brodt, E.D., and Jacobs, W.B., *Systematic review of magnetic resonance imaging characteristics that affect treatment decision making and predict clinical outcome in patients with cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S89-110.
17. Wu, W.J., Jiang, L.S., Liang, Y., and Dai, L.Y., *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.
18. Ferch, R.D., Shad, A., Cadoux-Hudson, T.A., and Teddy, P.J., *Anterior correction of cervical kyphotic deformity: effects on myelopathy, neck pain, and sagittal alignment*. J Neurosurg, 2004. **100**(1 Suppl Spine): p. 13-9.
19. Kopp, M.A., Druschel, C., Meisel, C., Liebscher, T., Prilipp, E., Watzlawick, R., Cinelli, P., Niedeggen, A., Schaser, K.D., Wanner, G.A., Curt, A., Lindemann, G., Nugaeva, N., Fehlings, M.G., Vajkoczy, P., Cabraja, M., Dengler, J., Ertel, W., Ekkernkamp, A., Martus, P., Volk, H.D., Unterwalder, N., Kolsch, U., Brommer, B., Hellmann, R.C., Saidy, R.R., Laginha, I., Pruss, H., Failli, V., Dirnagl, U., and Schwab, J.M., *The SCIntinel study--prospective multicenter study to define the spinal cord injury-induced immune depression syndrome (SCI-IDS)--study protocol and interim feasibility data*. BMC Neurol, 2013. **13**: p. 168.
20. Jones, J.G., Cen, S.Y., Lebel, R.M., Hsieh, P.C., and Law, M., *Diffusion tensor imaging correlates with the clinical assessment of disease severity in cervical spondylotic myelopathy and predicts outcome following surgery*. AJNR Am J Neuroradiol, 2013. **34**(2): p. 471-8.
21. Kim, B., Yoon do, H., Shin, H.C., Kim, K.N., Yi, S., Shin, D.A., and Ha, Y., *Surgical outcome and prognostic factors of anterior decompression and fusion for cervical compressive myelopathy due to ossification of the posterior longitudinal ligament*. Spine J, 2015. **15**(5): p. 875-84.
22. Ames, C.P., Blondel, B., Scheer, J.K., Schwab, F.J., Le Huec, J.C., Massicotte, E.M., Patel, A.A., Traynelis, V.C., Kim, H.J., Shaffrey, C.I., Smith, J.S., and Lafage, V., *Cervical radiographical alignment: comprehensive assessment techniques and potential importance in cervical myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S149-60.
23. Hann, S., Chalouhi, N., Madineni, R., Vaccaro, A.R., Albert, T.J., Harrop, J., and Heller, J.E., *An algorithmic strategy for selecting a surgical approach in cervical deformity correction*. Neurosurg Focus, 2014. **36**(5): p. E5.
24. Lawrence, B.D., Shamji, M.F., Traynelis, V.C., Yoon, S.T., Rhee, J.M., Chapman, J.R., Brodke, D.S., and Fehlings, M.G., *Surgical management of degenerative cervical myelopathy: a consensus statement*. Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S171-2.
25. Drenckhahn, B., *Anatomie, Makroskopische Anatomie, Histologie, Embryologie, Zellbiologie; S. 436-437*, in *Anatomie* Drenckhahn, D., Editor. 2003, Urban&Fischer: München; Jena
26. Gay, R.E., *The curve of the cervical spine: variations and significance*. J Manipulative Physiol Ther, 1993. **16**(9): p. 591-4.

27. Ames, C.P., Smith, J.S., Scheer, J.K., Bess, S., Bederman, S.S., Deviren, V., Lafage, V., Schwab, F., and Shaffrey, C.I., *Impact of spinopelvic alignment on decision making in deformity surgery in adults: A review*. J Neurosurg Spine, 2012. **16**(6): p. 547-64.
28. Gore, D.R., *Roentgenographic findings in the cervical spine in asymptomatic persons: a ten-year follow-up*. Spine (Phila Pa 1976), 2001. **26**(22): p. 2463-6.
29. Benninghoff, D., *Benninghoff Drenckhahn Taschenbuch Anatomie; S.122-124*, ed. Drenckhahn, D.W.J. 2008, München Elsevier Urban&Fischer.
30. White, A.A., 3rd, *Clinical biomechanics of cervical spine implants*. Spine (Phila Pa 1976), 1989. **14**(10): p. 1040-5.
31. Benzel, E.C. and Larson, S.J., *Operative stabilization of the posttraumatic thoracic and lumbar spine: a comparative analysis of the Harrington distraction rod and the modified Weiss spring*. Neurosurgery, 1986. **19**(3): p. 378-85.
32. Baptiste, D.C. and Fehlings, M.G., *Pathophysiology of cervical myelopathy*. Spine J, 2006. **6**(6 Suppl): p. 190S-197S.
33. Cabraja, M., Endres, M., Hegewald, A.A., Vetterlein, S., Thome, C., Woiciechowsky, C., and Kaps, C., *A 3D environment for anulus fibrosus regeneration*. J Neurosurg Spine, 2012. **17**(2): p. 177-83.
34. Benzel, E.C., *Spine policy*. Spine J, 2001. **1**(1): p. 73.
35. Emery, S.E., *Cervical spondylotic myelopathy: diagnosis and treatment*. J Am Acad Orthop Surg, 2001. **9**(6): p. 376-88.
36. Dickman, C.A., Crawford, N.R., and Paramore, C.G., *Biomechanical characteristics of C1-2 cable fixations*. J Neurosurg, 1996. **85**(2): p. 316-22.
37. Chiles, B.W., 3rd, Leonard, M.A., Choudhri, H.F., and Cooper, P.R., *Cervical spondylotic myelopathy: patterns of neurological deficit and recovery after anterior cervical decompression*. Neurosurgery, 1999. **44**(4): p. 762-9; discussion 769-70.
38. Matsuyama, Y., Kawakami, N., Yanase, M., Yoshihara, H., Ishiguro, N., Kameyama, T., and Hashizume, Y., *Cervical myelopathy due to OPLL: clinical evaluation by MRI and intraoperative spinal sonography*. J Spinal Disord Tech, 2004. **17**(5): p. 401-4.
39. Deutsch, H., Haid, R.W., Rodts, G.E., and Mummaneni, P.V., *Postlaminectomy cervical deformity*. Neurosurg Focus, 2003. **15**(3): p. E5.
40. Shimizu, K., Nakamura, M., Nishikawa, Y., Hijikata, S., Chiba, K., and Toyama, Y., *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.
41. Bednarik, J., Kadanka, Z., Dusek, L., Novotny, O., Surelova, D., Urbanek, I., and Prokes, B., *Presymptomatic spondylotic cervical cord compression*. Spine (Phila Pa 1976), 2004. **29**(20): p. 2260-9.
42. Matz, P.G., Anderson, P.A., Holly, L.T., Groff, M.W., Heary, R.F., Kaiser, M.G., Mummaneni, P.V., Ryken, T.C., Choudhri, T.F., Vresilovic, E.J., Resnick, D.K., Joint Section on Disorders of the, S., Peripheral Nerves of the American Association of Neurological, S., and Congress of Neurological, S., *The natural history of cervical spondylotic myelopathy*. J Neurosurg Spine, 2009. **11**(2): p. 104-11.
43. Ludolph, A.C.e.a., *S1-Leitlinie Zervikale spondylotische Myelopathie*. 2017. In: Deutsche Gesellschaft für Neurologie, Hrsg. *Leitlinien für Diagnostik und Therapie in der Neurologie*. Online: <http://www.dgn.org/leitlinien> (abgerufen am 18.01.2018). 2017.
44. Mattei, T.A., Goulart, C.R., Milano, J.B., Dutra, L.P., and Fasset, D.R., *Cervical spondylotic myelopathy: pathophysiology, diagnosis, and surgical techniques*. ISRN Neurol, 2011. **2011**: p. 463729.

45. Morishita, Y., Naito, M., Hymanson, H., Miyazaki, M., Wu, G., and Wang, J.C., *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.
46. Kumaresan, S., Yoganandan, N., Pintar, F.A., Maiman, D.J., and Goel, V.K., *Contribution of disc degeneration to osteophyte formation in the cervical spine: a biomechanical investigation*. J Orthop Res, 2001. **19**(5): p. 977-84.
47. Hattou, L., Morandi, X., Le Reste, P.J., Guillin, R., Riffaud, L., and Henaux, P.L., *Dynamic cervical myelopathy in young adults*. Eur Spine J, 2014. **23**(7): p. 1515-22.
48. Hirabayashi, K., Miyakawa, J., Satomi, K., Maruyama, T., and Wakano, K., *Operative results and postoperative progression of ossification among patients with ossification of cervical posterior longitudinal ligament*. Spine (Phila Pa 1976), 1981. **6**(4): p. 354-64.
49. Cabraja, M., Thomale, U.W., and Vajkoczy, P., [*Spinal disorders and associated CNS anomalies - tethered cord and Arnold-Chiari malformation*]. Orthopade, 2008. **37**(4): p. 347-55.
50. McAviney, J., Schulz, D., Bock, R., Harrison, D.E., and Holland, B., *Determining the relationship between cervical lordosis and neck complaints*. J Manipulative Physiol Ther, 2005. **28**(3): p. 187-93.
51. Cobb, J.R., *Scoliosis; quo vadis*. J Bone Joint Surg Am, 1958. **40-A**(3): p. 507-10.
52. Baron, E.M. and Young, W.F., *Cervical spondylotic myelopathy: a brief review of its pathophysiology, clinical course, and diagnosis*. Neurosurgery, 2007. **60**(1 Suppl 1): p. S35-41.
53. Yonenobu, K., Abumi, K., Nagata, K., Taketomi, E., and Ueyama, K., *Interobserver and intraobserver reliability of the Japanese orthopaedic association scoring system for evaluation of cervical compression myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2001. **26**(17): p. 1890-4; discussion 1895.
54. Kato, S., Oshima, Y., Oka, H., Chikuda, H., Takeshita, Y., Miyoshi, K., Kawamura, N., Masuda, K., Kunogi, J., Okazaki, R., Azuma, S., Hara, N., Tanaka, S., and Takeshita, K., *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.
55. Connell, M.D. and Wiesel, S.W., *Natural history and pathogenesis of cervical disk disease*. Orthopedic Clinics of North America, 1992. **23**(3): p. 369-80.
56. Odom, G.L., Finney, W., and Woodhall, B., *Cervical disk lesions*. J Am Med Assoc, 1958. **166**(1): p. 23-8.
57. Nagata, K., Ohashi, T., Abe, J., Morita, M., and Inoue, A., *Cervical myelopathy in elderly patients: clinical results and MRI findings before and after decompression surgery*. Spinal Cord, 1996. **34**(4): p. 220-6.
58. Handa, Y., Kubota, T., Ishii, H., Sato, K., Tsuchida, A., and Arai, Y., *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.
59. Tanaka, J., Seki, N., Tokimura, F., Doi, K., and Inoue, S., *Operative results of canal-expansive laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy in elderly patients*. Spine (Phila Pa 1976), 1999. **24**(22): p. 2308-12.
60. Villavicencio, A.T., Babuska, J.M., Ashton, A., Busch, E., Roeca, C., Nelson, E.L., Mason, A., and Burneikiene, S., *Prospective, randomized, double-blind clinical study evaluating the correlation of clinical outcomes and cervical sagittal alignment*. Neurosurgery, 2011. **68**(5): p. 1309-16; discussion 1316.

61. Yoshida, G., Alzakri, A., Pointillart, V., Boissiere, L., Obeid, I., Matsuyama, Y., Vital, J.M., and Gille, O., *Global Spinal Alignment in Patients With Cervical Spondylotic Myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2018. **43**(3): p. E154-E162.
62. Kadanka, Z., Mares, M., Bednarik, J., Smrcka, V., Krbec, M., Chaloupka, R., and Dusek, L., *Predictive factors for spondylotic cervical myelopathy treated conservatively or surgically*. Eur J Neurol, 2005. **12**(1): p. 55-63.
63. Kadanka, Z., Mares, M., Bednarik, J., Smrcka, V., Krbec, M., Stejskal, L., Chaloupka, R., Surelova, D., Novotny, O., Urbanek, I., and Dusek, L., *Approaches to spondylotic cervical myelopathy: conservative versus surgical results in a 3-year follow-up study*. Spine (Phila Pa 1976), 2002. **27**(20): p. 2205-10; discussion 2210-1.
64. Kadanka, Z., Mares, M., Bednarik, J., Smrcka, V., Krbec, M., Chaloupka, R., and Dusek, L., *Predictive factors for mild forms of spondylotic cervical myelopathy treated conservatively or surgically*. Eur J Neurol, 2005. **12**(1): p. 16-24.
65. Bayerl, S., Wiendieck, K., Koeppen, D., Topalovic, M., Ubelacker, A., Kroppenstedt, S., and Cabraja, M., *Single- and multi-level anterior decompression and fusion for cervical spondylotic myelopathy--a long term follow-up with a minimum of 5 years*. Clin Neurol Neurosurg, 2013. **115**(10): p. 1966-71.
66. Farrokhi, M.R., Ghaffarpasand, F., Khani, M., and Gholami, M., *An Evidence-Based Stepwise Surgical Approach to Cervical Spondylotic Myelopathy: A Narrative Review of the Current Literature*. World Neurosurg, 2016.
67. Fehlings, M.G. and Arvin, B., *Surgical management of cervical degenerative disease: the evidence related to indications, impact, and outcome*. J Neurosurg Spine, 2009. **11**(2): p. 97-100.
68. Fehlings, M.G., Barry, S., Kopjar, B., Yoon, S.T., Arnold, P., Massicotte, E.M., Vaccaro, A., Brodke, D.S., Shaffrey, C., Smith, J.S., Woodard, E., Banco, R.J., Chapman, J., Janssen, M., Bono, C., Sasso, R., Dekutoski, M., and Gokaslan, Z.L., *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.
69. Cabraja, M., Abbushi, A., Koeppen, D., Kroppenstedt, S., and Woiciechowsky, C., *Comparison between anterior and posterior decompression with instrumentation for cervical spondylotic myelopathy: sagittal alignment and clinical outcome*. Neurosurg Focus, 2010. **28**(3): p. E15.
70. Shiban, E., Gapon, K., Wostrack, M., Meyer, B., and Lehmborg, J., *Clinical and radiological outcome after anterior cervical discectomy and fusion with stand-alone empty polyetheretherketone (PEEK) cages*. Acta Neurochir (Wien), 2016. **158**(2): p. 349-55.
71. Chen, Y., Wang, X., Lu, X., Yang, L., Yang, H., Yuan, W., and Chen, D., *Comparison of titanium and polyetheretherketone (PEEK) cages in the surgical treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy: a prospective, randomized, control study with over 7-year follow-up*. Eur Spine J, 2013. **22**(7): p. 1539-46.
72. Niu, C.C., Liao, J.C., Chen, W.J., and Chen, L.H., *Outcomes of interbody fusion cages used in 1 and 2-levels anterior cervical discectomy and fusion: titanium cages versus polyetheretherketone (PEEK) cages*. J Spinal Disord Tech, 2010. **23**(5): p. 310-6.
73. Cabraja, M., Oezdemir, S., Koeppen, D., and Kroppenstedt, S., *Anterior cervical discectomy and fusion: comparison of titanium and polyetheretherketone cages*. BMC Musculoskelet Disord, 2012. **13**: p. 172.
74. Chou, Y.C., Chen, D.C., Hsieh, W.A., Chen, W.F., Yen, P.S., Harnod, T., Chiou, T.L., Chang, Y.L., Su, C.F., Lin, S.Z., and Chen, S.Y., *Efficacy of anterior cervical fusion:*

- comparison of titanium cages, polyetheretherketone (PEEK) cages and autogenous bone grafts.* J Clin Neurosci, 2008. **15**(11): p. 1240-5.
75. Lee, J.Y., Park, M.S., Moon, S.H., Shin, J.H., Kim, S.W., Kim, Y.C., Lee, S.J., Suh, B.K., and Lee, H.M., *Loss of lordosis and clinical outcomes after anterior cervical fusion with dynamic rotational plates.* Yonsei Med J, 2013. **54**(3): p. 726-31.
 76. Hermansen, A., Hedlund, R., Vavruch, L., and Peolsson, A., *Positive predictive factors and subgroup analysis of clinically relevant improvement after anterior cervical decompression and fusion for cervical disc disease: a 10- to 13-year follow-up of a prospective randomized study: clinical article.* J Neurosurg Spine, 2013. **19**(4): p. 403-11.
 77. Peolsson, A. and Peolsson, M., *Predictive factors for long-term outcome of anterior cervical decompression and fusion: a multivariate data analysis.* Eur Spine J, 2008. **17**(3): p. 406-14.
 78. Yamazaki, T., Yanaka, K., Sato, H., Uemura, K., Tsukada, A., and Nose, T., *Cervical spondylotic myelopathy: surgical results and factors affecting outcome with special reference to age differences.* Neurosurgery, 2003. **52**(1): p. 122-6; discussion 126.
 79. Fujiwara, K., Yonenobu, K., Ebara, S., Yamashita, K., and Ono, K., *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.
 80. Morimoto, T., Matsuyama, T., Hirabayashi, H., Sakaki, T., and Yabuno, T., *Expansive laminoplasty for multilevel cervical OPLL.* J Spinal Disord, 1997. **10**(4): p. 296-8.
 81. Itoh, T. and Tsuji, H., *Technical improvements and results of laminoplasty for compressive myelopathy in the cervical spine.* Spine (Phila Pa 1976), 1985. **10**(8): p. 729-36.
 82. Lee, C.H., Lee, J., Kang, J.D., Hyun, S.J., Kim, K.J., Jahng, T.A., and Kim, H.J., *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.
 83. Suda, K., Abumi, K., Ito, M., Shono, Y., Kaneda, K., and Fujiya, M., *Local kyphosis reduces surgical outcomes of expansive open-door laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy.* Spine (Phila Pa 1976), 2003. **28**(12): p. 1258-62.
 84. Rhee JM, B.S., *Posterior Surgery for Cervical Myelopathy: Laminectomy, Laminectomy with Fusion, and Laminoplasty.* Asian Spine J, 2008. **2**(2).
 85. Albert, T.J., Klein, G.R., Joffe, D., and Vaccaro, A.R., *Use of cervicothoracic junction pedicle screws for reconstruction of complex cervical spine pathology.* Spine (Phila Pa 1976), 1998. **23**(14): p. 1596-9.
 86. Johnston, F.G. and Crockard, H.A., *One-stage internal fixation and anterior fusion in complex cervical spinal disorders.* J Neurosurg, 1995. **82**(2): p. 234-8.
 87. Shedid, D. and Benzel, E.C., *Cervical spondylosis anatomy: pathophysiology and biomechanics.* Neurosurgery, 2007. **60**(1 Suppl 1): p. S7-13.
 88. Cabraja, M., Abbushi, A., Kroppenstedt, S., and Woiciechowsky, C., *Cages with fixation wings versus cages plus plating for cervical reconstruction after corpectomy - is there any difference?* Cent Eur Neurosurg, 2010. **71**(2): p. 59-63.
 89. Emery, S.E., Bohlman, H.H., Bolesta, M.J., and Jones, P.K., *Anterior cervical decompression and arthrodesis for the treatment of cervical spondylotic myelopathy. Two to seventeen-year follow-up.* J Bone Joint Surg Am, 1998. **80**(7): p. 941-51.
 90. Shamji, M.F., Massicotte, E.M., Traynelis, V.C., Norvell, D.C., Hermsmeyer, J.T., and Fehlings, M.G., *Comparison of anterior surgical options for the treatment of multilevel cervical spondylotic myelopathy: a systematic review.* Spine (Phila Pa 1976), 2013. **38**(22 Suppl 1): p. S195-209.

91. Radcliff, K.E., Limthongkul, W., Kepler, C.K., Sidhu, G.D., Anderson, D.G., Rihn, J.A., Hilibrand, A.S., Vaccaro, A.R., and Albert, T.J., *Cervical laminectomy width and spinal cord drift are risk factors for postoperative C5 palsy*. J Spinal Disord Tech, 2014. **27**(2): p. 86-92.
92. Yonenobu, K., Hosono, N., Iwasaki, M., Asano, M., and Ono, K., *Laminoplasty versus subtotal corpectomy. A comparative study of results in multisegmental cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 1992. **17**(11): p. 1281-4.
93. Houten, J.K. and Cooper, P.R., *Laminectomy and posterior cervical plating for multilevel cervical spondylotic myelopathy and ossification of the posterior longitudinal ligament: effects on cervical alignment, spinal cord compression, and neurological outcome*. Neurosurgery, 2003. **52**(5): p. 1081-7; discussion 1087-8.
94. Lao, L., Zhong, G., Li, X., Qian, L., and Liu, Z., *Laminoplasty versus laminectomy for multi-level cervical spondylotic myelopathy: a systematic review of the literature*. J Orthop Surg Res, 2013. **8**: p. 45.
95. Hong-Wan, N., Ee-Chon, T., and Qing-Hang, Z., *Biomechanical effects of C2-C7 intersegmental stability due to laminectomy with unilateral and bilateral facetectomy*. Spine (Phila Pa 1976), 2004. **29**(16): p. 1737-45; discussion 1746.
96. Muthukumar, N., *Surgical management of cervical spondylotic myelopathy*. Neurol India, 2012. **60**(2): p. 201-9.
97. Seichi, A., Hoshino, Y., Kimura, A., Nakahara, S., Watanabe, M., Kato, T., Ono, A., Kotani, Y., Mitsukawa, M., Ijiri, K., Kawahara, N., Inami, S., Chikuda, H., Takeshita, K., Nakagawa, Y., Taguchi, T., Yamazaki, M., Endo, K., Sakaura, H., Uchida, K., Kawaguchi, Y., Neo, M., Takahashi, M., Harimaya, K., Hosoe, H., Imagama, S., Taniguchi, S., Ito, T., Kaito, T., Chiba, K., Matsumoto, M., and Toyama, Y., *Neurological complications of cervical laminoplasty for patients with ossification of the posterior longitudinal ligament-a multi-institutional retrospective study*. Spine (Phila Pa 1976), 2011. **36**(15): p. E998-1003.
98. Sakaura, H., Hosono, N., Mukai, Y., Ishii, T., and Yoshikawa, H., *C5 palsy after decompression surgery for cervical myelopathy: review of the literature*. Spine (Phila Pa 1976), 2003. **28**(21): p. 2447-51.
99. Stewart, T.J., Schlenk, R.P., and Benzel, E.C., *Multiple level discectomy and fusion*. Neurosurgery, 2007. **60**(1 Suppl 1): p. S143-8.
100. Demircan, M.N., Kutlay, A.M., Colak, A., Kaya, S., Tekin, T., Kibici, K., and Ungoren, K., *Multilevel cervical fusion without plates, screws or autogenous iliac crest bone graft*. J Clin Neurosci, 2007. **14**(8): p. 723-8.
101. Blizzard, D.J., Caputo, A.M., Sheets, C.Z., Klement, M.R., Michael, K.W., Isaacs, R.E., and Brown, C.R., *Laminoplasty versus laminectomy with fusion for the treatment of spondylotic cervical myelopathy: short-term follow-up*. Eur Spine J, 2016.
102. Mummaneni, P.V., Dhall, S.S., Rodts, G.E., and Haid, R.W., *Circumferential fusion for cervical kyphotic deformity*. J Neurosurg Spine, 2008. **9**(6): p. 515-21.
103. Butler, J.C. and Whitecloud, T.S., 3rd, *Postlaminectomy kyphosis. Causes and surgical management*. Orthop Clin North Am, 1992. **23**(3): p. 505-11.
104. Albert, T.J. and Vaccaro, A., *Postlaminectomy kyphosis*. Spine (Phila Pa 1976), 1998. **23**(24): p. 2738-45.
105. Herman, J.M. and Sonntag, V.K., *Cervical corpectomy and plate fixation for postlaminectomy kyphosis*. J Neurosurg, 1994. **80**(6): p. 963-70.
106. Park, Y., Riew, K.D., and Cho, W., *The long-term results of anterior surgical reconstruction in patients with postlaminectomy cervical kyphosis*. Spine J, 2010. **10**(5): p. 380-7.

107. Wang, M.C., Chan, L., Maiman, D.J., Kreuter, W., and Deyo, R.A., *Complications and mortality associated with cervical spine surgery for degenerative disease in the United States*. Spine (Phila Pa 1976), 2007. **32**(3): p. 342-7.
108. Lee, C.K., Shin, D.A., Yi, S., Kim, K.N., Shin, H.C., Yoon, D.H., and Ha, Y., *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.
109. Nakashima, H., Tetreault, L.A., Nagoshi, N., Nouri, A., Kopjar, B., Arnold, P.M., Bartels, R., Defino, H., Kale, S., Zhou, Q., and Fehlings, M.G., *Does age affect surgical outcomes in patients with degenerative cervical myelopathy? Results from the prospective multicenter AOSpine International study on 479 patients*. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2016. **87**(7): p. 734-40.
110. Li, X., Jiang, L., Liu, Z., Liu, X., Zhang, H., Zhou, H., Wei, F., Yu, M., and Wu, F., *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.
111. Lu, J., Wu, X., Li, Y., and Kong, X., *Surgical results of anterior corpectomy in the aged patients with cervical myelopathy*. Eur Spine J, 2008. **17**(1): p. 129-35.
112. Li, Z., Wang, H., Tang, J., Ren, D., Li, L., Hou, S., Zhang, H., and Hou, T., *Comparison of 3 reconstructive techniques in the surgical management of patients with 4-level cervical spondylotic myelopathy*. Spine (Phila Pa 1976), 2016.
113. Liu, Y., Qi, M., Chen, H., Yang, L., Wang, X., Shi, G., Gao, R., Wang, C., and Yuan, W., *Comparative analysis of complications of different reconstructive techniques following anterior decompression for multilevel cervical spondylotic myelopathy*. Eur Spine J, 2012. **21**(12): p. 2428-35.
114. Manzano, G.R., Casella, G., Wang, M.Y., Vanni, S., and Levi, A.D., *A prospective, randomized trial comparing expansile cervical laminoplasty and cervical laminectomy and fusion for multilevel cervical myelopathy*. Neurosurgery, 2012. **70**(2): p. 264-77.
115. Nagashima, H., Dokai, T., Hashiguchi, H., Ishii, H., Kameyama, Y., Katae, Y., Morio, Y., Morishita, T., Murata, M., Nanjo, Y., Takahashi, T., Tanida, A., Tanishima, S., Yamane, K., and Teshima, R., *Clinical features and surgical outcomes of cervical spondylotic myelopathy in patients aged 80 years or older: a multi-center retrospective study*. Eur Spine J, 2011. **20**(2): p. 240-6.
116. Hasegawa, K., Homma, T., Chiba, Y., Hirano, T., Watanabe, K., and Yamazaki, A., *Effects of surgical treatment for cervical spondylotic myelopathy in patients > or = 70 years of age: a retrospective comparative study*. J Spinal Disord Tech, 2002. **15**(6): p. 458-60.
117. Dengler, J., Cabraja, M., Faust, K., Picht, T., Kombos, T., and Vajkoczy, P., *Intraoperative neurophysiological monitoring of extracranial-intracranial bypass procedures*. J Neurosurg, 2013. **119**(1): p. 207-14.
118. Vleeming, A., Stoeckart, R., Volkers, A.C., and Snijders, C.J., *Relation between form and function in the sacroiliac joint. Part I: Clinical anatomical aspects*. Spine (Phila Pa 1976), 1990. **15**(2): p. 130-2.
119. Yao, C.A., Ellis, C.V., Cohen, M.J., and Kulber, D.A., *Preserving the posttrapeziectomy space with a human acellular dermal matrix spacer: a pilot case series of patients with thumb carpometacarpal joint arthritis*. Plast Reconstr Surg Glob Open, 2013. **1**(7): p. e65.
120. Matsuda, Y., Shibata, T., Oki, S., Kawatani, Y., Mashima, N., and Oishi, H., *Outcomes of surgical treatment for cervical myelopathy in patients more than 75 years of age*. Spine (Phila Pa 1976), 1999. **24**(6): p. 529-34.

121. Suzuki, A., Misawa, H., Simogata, M., Tsutsumimoto, T., Takaoka, K., and Nakamura, H., *Recovery process following cervical laminoplasty in patients with cervical compression myelopathy: prospective cohort study*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009. **34**(26): p. 2874-9.
122. Gu, Y., Shi, J., Cao, P., Yuan, W., Wu, H., Yang, L., Tian, Y., and Liang, L., *Clinical and Imaging Predictors of Surgical Outcome in Multilevel Cervical Ossification of Posterior Longitudinal Ligament: An Analysis of 184 Patients*. *PLoS ONE*, 2015. **10**(9): p. e0136042.
123. Peolsson, A., Almkvist, C., Dahlberg, C., Lindqvist, S., and Pettersson, S., *Age- and sex-specific reference values of a test of neck muscle endurance*. *J Manipulative Physiol Ther*, 2007. **30**(3): p. 171-7.
124. Terao, S., Sobue, G., Hashizume, Y., Li, M., Inagaki, T., and Mitsuma, T., *Age-related changes in human spinal ventral horn cells with special reference to the loss of small neurons in the intermediate zone: a quantitative analysis*. *Acta Neuropathol*, 1996. **92**(2): p. 109-14.
125. Shin, J.W., Jin, S.W., Kim, S.H., Choi, J.I., Kim, B.J., Kim, S.D., and Lim, D.J., *Predictors of Outcome in Patients with Cervical Spondylotic Myelopathy Undergoing Unilateral Open-Door Laminoplasty*. *Korean J Spine*, 2015. **12**(4): p. 261-6.
126. Azhari, S., Azimi, P., Shazadi, S., Khayat Kashany, H., Nayeb Aghaei, H., and Mohammadi, H.R., *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.
127. Hamburger, C., Buttner, A., and Uhl, E., *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.
128. Gu, J., Guan, F., Zhu, L., Guan, G., Chi, Z., Yu, Z., and Li, S., *Predictors of surgical outcome in ossification of the posterior longitudinal ligament*. *Clin Neurol Neurosurg*, 2015. **139**: p. 319-23.
129. Hacker, R.J., Cauthen, J.C., Gilbert, T.J., and Griffith, S.L., *A prospective randomized multicenter clinical evaluation of an anterior cervical fusion cage*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000. **25**(20): p. 2646-54; discussion 2655.
130. Hacker, R.J., *A randomized prospective study of an anterior cervical interbody fusion device with a minimum of 2 years of follow-up results*. *J Neurosurg*, 2000. **93**(2 Suppl): p. 222-6.
131. Samii, M., Volkening, D., Sepehrnia, A., Penkert, G., and Baumann, H., *Surgical treatment of myeloradiculopathy in cervical spondylosis. A report on 438 operations*. *Neurosurgical Review*, 1989. **12**(4): p. 285-90.
132. van den Bent, M.J., Oosting, J., Wouda, E.J., van Acker, R.E., Ansink, B.J., and Braakman, R., *Anterior cervical discectomy with or without fusion with acrylic. A randomized trial*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 1996. **21**(7): p. 834-9; discussion 840.
133. Liu, S., Tetreault, L., Fehlings, M.G., Challier, V., Smith, J.S., Shaffrey, C.I., Arnold, P.M., Scheer, J.K., Chapman, J.R., Kopjar, B., Protosaltis, T.S., Lafage, V., Schwab, F., Massicotte, E.M., Yoon, S.T., and Ames, C.P., *Novel Method Using Baseline Normalization and Area Under the Curve to Evaluate Differences in Outcome Between Treatment Groups and Application to Patients With Cervical Spondylotic Myelopathy Undergoing Anterior Versus Posterior Surgery*. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015. **40**(24): p. E1299-304.

134. Andaluz, N., Zuccarello, M., and Kuntz, C., *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.
135. Goel, A., Nadkarni, T., Shah, A., Rai, S., Rangarajan, V., and Kulkarni, A., *Is Only Stabilization the Ideal Treatment for Ossified Posterior Longitudinal Ligament? Report of Early Results with a Preliminary Experience in 14 Patients*. World Neurosurg, 2015. **84**(3): p. 813-9.
136. Gum, J.L., Glassman, S.D., Douglas, L.R., and Carreon, L.Y., *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.
137. Smith, J.S., Lafage, V., Ryan, D.J., Shaffrey, C.I., Schwab, F.J., Patel, A.A., Brodke, D.S., Arnold, P.M., Riew, K.D., Traynelis, V.C., Radcliff, K., Vaccaro, A.R., Fehlings, M.G., and Ames, C.P., *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.

5.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: mJOAS- Fragebogen.Messung des COBB-Winkels der HWS.

Abbildung 2: Messung des COBB-Winkels der HWS.

Abbildung 3: MRT-Abbildung des in der vorliegenden Studie untersuchten Patienten mit CSM vor (A) und nach der Operation (B), der laminektomiert und instrumentiert wurde. Deutlich zu sehen sind Signalveränderungen des Myelons vor und nach der OP als bildmorphologisches Korrelat einer CSM.

Abbildung 4: Angewandte statistische Methoden.

Abbildung 5: PEEK-Cage.

Abbildung 6: mACDF mit PEEK-Cage und Plattenosteosynthese.

Abbildung 7: ACCF mit Wirbelkörperersatz aus Titan und zusätzlicher Plattenosteosynthese.

Abbildung 8: LF und Schrauben-Stab-Osteosynthese.

5.3. Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1.1.) Vertikaler Vergleich des mJOAS vor sowie nach der Operation innerhalb der beiden Altersgruppen <65 und ≥ 65 Jahre mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test
- Tabelle 1.2) Horizontaler Vergleich des Odomscore der beiden Patientengruppen post-operativ (Mann-Whitney U-Test)
- Tabelle 1.3) Vertikaler Vergleich des VAS prä- und post- operativ mit den beiden Altersgruppen und Vergleich des Follow-Ups der beiden Altersgruppen (Wilcoxons Signed-Rank-Test)
- Tabelle 1.4) Vertikaler Vergleich von VAS prä- und postoperativ innerhalb der drei Altersgruppen ≤ 59 Jahre, $59 < \text{Alter} < 70$ Jahre und ≥ 70 Jahre mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test
- Tabelle 1.5) Vertikaler Vergleich des prä- mit post-operativem mJOAS mit jeweils der 3 Altersgruppen mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test.
- Tabelle 1.6) Horizontaler Vergleich von Odomscore als auch Follow-Up mit allen drei Altersgruppen mithilfe des Mann-Whitney U-Tests.
- Tabelle 1.7) Vertikaler Vergleich von VAS prä- und postoperativ innerhalb jeder einzelnen Altersgruppe mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test.
- Tabelle 1.8) Vertikaler Vergleich von mJOAS prä- und postoperativ innerhalb jeder einzelnen Altersgruppe mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test.
- Tabelle 1.9) Horizontaler Vergleich von Odom-Score und Follow-Up mit allen Altersgruppen 1-5 mithilfe des Kruskal-Wallis ANOVA – Test.
- Tabelle 2.1.) Vertikaler Vergleich von VAS prä- als auch post-operativ mit Gruppe 1 und Gruppe 2 mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test.
- Tabelle 2.2.) Vertikaler Vergleich von mJOAS prä- als auch post-operativ mit Gruppe 1 und Gruppe 2 mithilfe des Wilcoxons Signed-Rank-Test.
- Tabelle 2.3) Horizontaler Vergleich der Geschlechtergruppen in Hinblick auf den Odomscore und das Follow-Up (Mann-Whitney U-Test).
- Tabelle 3.1) Vergleich von drei Patientengruppen anhand ihrer prä-operativem VAS 1-3, 4-6 und ≥ 7 aufgeteilt wurden mit VAS prä- und VAS-postoperativ (Wilcoxons Signed-Rank-Test)
- Tabelle 3.2) Horizontaler Vergleich von mJOAS vor und nach der Operation und von Odom-Score nach der Operation mit den drei VAS-Gruppen (Kruskal-Wallis ANOVA – Test)
- Tabelle 4.1) Vertikaler Vergleich von 3 Patientengruppen, aufgeteilt in verschiedene mJOAS-Score-Bereiche mit VAS vor und nach der Operation beim letzten Follow-Up mit dem Wilcoxons Signed- Rank-Test und horizontaler Vergleich der beiden VAS-Stichproben mit allen mJOAS-Gruppen mit dem

Kruskal-Wallis ANOVA – Test

Tabelle 4.2) Vertikaler Vergleich von 3 Patientengruppen, aufgeteilt in verschiedene mJOAS-Score-Bereiche mit mJOAS vor und nach der Operation beim letzten Follow-Up mit dem Wilcoxon's Signed- Rank-Test und horizontaler Vergleich der beiden mJOAS-Stichproben mit allen mJOAS-Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA – Test)

Tabelle 4.3) Vergleich des Odom-Score mit allen drei mJOAS-Gruppen mit Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

Tabelle 5.1) Vertikaler Vergleich von VAS vor und nach Operation mit den jeweiligen Gruppen der Operationstechniken ACCF, sACDF, mACDF und LF mittels Wilcoxon's Signed- Rank-Test und horizontale Auswertung von beiden VAS-Stichproben mit allen Operationstechniken mit Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

Tabelle 5.2) Vertikaler Vergleich von mJOAS vor und nach Operation mit den jeweiligen Gruppen der Operationstechniken ACCF, sACDF, mACDF und LF mittels Wilcoxon's Signed- Rank-Test und horizontale Auswertung von beiden mJOAS-Stichproben mit allen Operationstechniken mit Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

Tabelle 5.3) Horizontale Auswertung vom Odom-Score mit allen Operationstechniken mit Kruskal-Wallis ANOVA – Test.

Tabelle 6.1) Vertikaler Vergleich von VAS prä- mit VAS post-operativ der verschiedenen Gruppen der präoperativen sagittalen Profile mittels Wilcoxon's Signed- Rank-Test und horizontaler Vergleich der beiden VAS-Stichproben mit allen präoperativen sagittalen Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA – Test

Tabelle 6.2) Vertikaler Vergleich von mJOAS prä- mit post-operativ der verschiedenen Gruppen der präoperativen sagittalen Profile mittels Wilcoxon's Signed- Rank-Test und horizontaler Vergleich der beiden VAS-Stichproben mit allen präoperativen sagittalen Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA –Test.

Tabelle 6.3) Horizontaler Vergleich des Odom-Score mit allen präoperativen sagittalen Gruppen 1-3 mit dem Kruskal-Wallis ANOVA –Test

5.4. Abkürzungsverzeichnis

ABG:	Autologous bone craft
ACCF:	Anterior cervical corpectomy and fusion / anteriore zervikale Korpektomie und Fusion
ACDF:	Anterior cervical Discectomy and Fusion / anteriore zervikale Diskektomie und Fusion
BS:	Bandscheibe
CSM:	Cervical spondylotic myelopathy / Zervikale spondylotische Myelopathie
CT:	Computertomographie

EL:	Laminoplastie
FU:	Follow-Up
HWS:	Halswirbelsäule
LF:	Laminektomie mit Fusion
mACCF:	multisegmentale Anterior cervical corpectomy and fusion / anteriore zervikale Korpektomie und Fusion
mACDF:	Multisegmentale Anterior cervical Discectomy and Fusion / anteriore zervikale Diskektomie und Fusion
mJOAS:	Modified Japanese Orthopaedic Association Score
MRT:	Magnetresonanztomographie
NRS:	Numeral Rating Scala
OPLL:	Ossificated posterior longitudinal ligament / Ossifiziertes posteriores longitudinales Ligament
PEEK-Cage:	Poly-Ether-Ether-Keton-Käfig
PMMA:	Polymethylmethacrylat
sACDF:	einsegmentale Anterior cervical Discectomy and Fusion / anteriore zervikale Diskektomie und Fusion
VAS:	Visuelle Analogskala für Schmerzen

6. Eidesstattliche Erklärung

Ich, Onca Turan, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema „Prädiktive Wertigkeit von Alter, klinischen und radiologischen Faktoren auf die Genesung der zervikalen spondylotischen 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) 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.

7. Lebenslauf

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

8. Danksagung

Diese Doktorarbeit wurde durch meinen sehr geduldigen und hilfsbereiten Doktorvater, PD Dr. med. Mario Cabraja, ermöglicht. Ich möchte ihm zu allererst meinen großen Dank und Respekt aussprechen. Es war mir eine große Freude mit Ihnen zusammenzuarbeiten!

Zudem möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Betreuer Dr. Köppen bedanken, der mir eine sehr große Hilfe sowohl in Fragen der Statistik als auch bei der gesamten Arbeit gewesen ist.

Weiterer Dank gilt meiner Familie, insbesondere meinem Vater und meiner Mutter für die Geduld und kritischen, inspirierenden und kenntnisreichen Fragen.

Für das Lektorat möchte ich mich bei meinem Bekannten Julius Werner bedanken, der mir vor allem bei den Fragen zur Formatierung zur Seite stand.