

Aus der Klinik für Neurochirurgie
(Prof. Dr. med. V. Rohde)
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

Dorsale Fusionen der Halswirbelsäule:
Stabilität des Operationsergebnisses im Langzeitverlauf

INAUGURAL-DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von
Nadja Valentina Becker, geb. Woschek
aus
Bad Hersfeld
Göttingen 2018

Dekan: Prof. Dr. rer. nat. Heyo Klaus Kroemer

Referent: Prof. Dr. med. Ramón Martínez-Olivera

Ko-Referent: Prof. Dr. med. Stephan Sehmisch

Drittreferent: Prof. Dr. med. dent. Rainer Mausberg

Datum der mündlichen Prüfung: 07.05.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	5
1.1 Historischer Überblick	5
1.2 Anatomie der Wirbelsäule.....	6
1.2.1 Biomechanik der Halswirbelsäule	8
1.3 Ursachen von Instabilitäten der Halswirbelsäule.....	9
1.3.1 Spondylodiszitis	9
1.3.2 Trauma.....	14
1.3.3 Tumor	18
1.3.4 Degenerative Erkrankungen	23
1.4 Fragestellung	28
2. Patienten und Methoden	29
2.1 Patientenkollektiv und Studiendurchführung.....	29
2.2 Operationsmethode	32
2.2.1 Komplikationen	35
2.3 Biometrie	37
3. Ergebnisse.....	39
3.1 Alter und Geschlechtsverteilung	39
3.2 Grundlegende Pathologien.....	40
3.3 Präoperative klinische Myelopathie.....	40
3.4 Präoperativer Neurostatus.....	40
3.5 Präoperative Schmerzanalyse mittels Visueller Analogskala	41
3.6 Anzahl der operierten Segmente und operatives Vorgehen	42
3.7 Zeitpunkt der postoperativen Untersuchungen.....	43
3.8 Postoperative klinische Myelopathie	44
3.9 Beurteilung der Myelopathie im Verlauf mittels Nurick-Skala.....	45
3.10 Postoperativer Neurostatus	47
3.11 Postoperative Schmerzanalyse.....	49
3.13 Dauer des stationären Aufenthalts	51
3.14 Einnahmedauer Opiate	51
3.15 Komplikationen	52

3.16 Fragebogen: Patienteneinschätzung des funktionellen Status und der Schmerzsymptomatik	53
4. Diskussion	56
4.1 Korrelation des Geschlechts und des Alters mit der grundlegenden Pathologie	56
4.2 Kurz- und Langzeitanalyse des neurologischen Status	57
4.3 Quantifizierung der Myelopathie mittels Nurick-Skala	59
4.4 Analyse der Schmerzsymptomatik im Verlauf	61
4.5 Wahl des operativen Zugangs und Sicherheit des Eingriffs	62
4.6 Limitierungen der Studie	66
5. Zusammenfassung	68
6. Anhang	70
6.1 Fragebögen	70
6.2 Nurick-Skala	74
7. Literaturverzeichnis	75

1. Einleitung

1.1 Historischer Überblick

Bei der ersten dokumentierten chirurgischen Instrumentierung der Halswirbelsäule handelte es sich um eine Stabilisierungsmethode mittels interspinöser Drahtschlingen, die 1891 von Dr. Berthold Earnest Hadra beschrieben wurde (Hadra 1891). Später wurden verschiedene Weiterentwicklungen dieser Methode geschildert. So stellte 1942 auch Rogers eine Stabilisierungstechnik mit Drahtschlingen speziell für traumatisch bedingte Instabilitäten der Wirbelsäule vor (Rogers 1942). Da diese Fixationsmethoden allerdings nicht genügend Stabilität und Widerstand gegen einwirkende Kräfte bieten, entwickelte Paul Harrington 1975 ein Haken-Stab-System. Es wurde ursprünglich zur Korrektur von Deformitäten wie Skoliosen eingesetzt, aber kurz darauf auch für Traumen, Infektionen und Tumoren. Auch die noch heute gebräuchlichen Schrauben-Stab-Systeme und Schrauben-Platten-Systeme stellen Weiterentwicklungen des Haken-Stab-Systems von Harrington dar, der als Wegbereiter der modernen stabilisierenden Wirbelsäulen Chirurgie gilt (Benzel 2012).

Im Laufe der Zeit wurden zahlreiche Modifikationen dieser Technik veröffentlicht, so auch die Verwendung eines Massa lateralis-Schrauben-Platten-Systems durch Raymond Roy-Camille in den späten 80er-Jahren (Roy-Camille et al. 1989). Später modifizierten Magerl, Anderson und An diese Methode, indem sie den Eintrittspunkt und –winkel der Schrauben variierten (An und Coppes 1997, Anderson et al. 1991, Grob und Magerl 1987).

Die transartikuläre Verschraubung des Atlas und des Axis wurde zum ersten Mal von Magerl und Seemann beschrieben (Magerl und Seemann 1986). Im Vergleich zu den bis dahin in diesem Wirbelsäulenabschnitt durchgeführten Stabilisierungen mittels Drahtschlingen, die zu einer insuffizienten Immobilisation führten, konnten die Autoren mit dieser Technik die Fusionsraten signifikant verbessern. Jedoch handelt es sich um eine technisch sehr anspruchsvolle Methode. Eine Weiterentwicklung dieser transartikulären Verschraubung ist die dorsale Verschraubung von C1 und C2 nach Harms-Melcher, bei der die Schrauben individuell in C1 (Massa lateralis) sowie C2 (Isthmus) inseriert werden, wodurch das Verletzungsrisiko der Ver-

tebralarterie gesenkt werden kann. Darüber hinaus wird hierbei die Anatomie der Wirbelkörper zur Orientierung bei der Insertion der Schrauben genutzt, und die Notwendigkeit zur permanenten Röntgenkontrolle entfällt (Harms und Melcher 2001).

Ein weiterer wichtiger Schritt, nämlich die Verwendung von Pedikelschrauben, erfolgte ebenfalls durch Roy-Camille. Die erste Operation mit Pedikelschrauben wurde von ihm bereits 1963 durchgeführt, jedoch veröffentlichte er seine Ergebnisse erst 1970 (Roy-Camille und Demeulenaere 1970). Abumi et al. beschrieben 1994 erstmals die Stabilisierung der mittleren und unteren Halswirbelsäule mit Pedikelschrauben. An 13 Patienten konnten sie aufgrund der hohen Biegefestigkeit und Stabilität von Pedikelschrauben gute klinische Ergebnisse erzielen. Die Insertion von Pedikelschrauben gestaltet sich zwar technisch sehr anspruchsvoll, da besonders die Arteria vertebralis leicht verletzt werden kann, verspricht aber auch ein hohes Maß an Stabilität (Abumi et al. 1994).

1.2 Anatomie der Wirbelsäule

Die Wirbelsäule (Columna vertebralis) besteht aus 33 Wirbeln, die über die Bandscheiben und zahlreiche Bänder gelenkig miteinander verbunden sind.

Die Wirbel lassen sich aufteilen in 7 Halswirbel (Vertebrae cervicales), 12 Brustwirbel (Vertebrae thoracicae), 5 Lendenwirbel (Vertebrae lumbales), 5 Kreuzwirbel (Os sacrum) und 4 Steißwirbel (Os coccygis). Während die präsakralen Wirbel in ihrer Anzahl relativ konstant sind und das Leben lang beweglich bleiben, vereinigen sich die Kreuzwirbel bis zum 25. Lebensjahr zum Kreuzbein und die Steißwirbel zum Steißbein. Um die Widerstandsfähigkeit gegenüber axial gerichteten Druckkräften zu erhöhen, beschreibt die Wirbelsäule physiologischerweise im zervikalen und lumbalen Bereich eine konvexe Krümmung (Lordose), wohingegen im thorakalen und sakralen Bereich eine konkave Krümmung (Kyphose) besteht (Schiebler 2005).

Mit Ausnahme der ersten beiden Halswirbel kann jeder Wirbel aufgeteilt werden in einen Wirbelkörper (Corpus vertebrae), einen Wirbelbogen (Arcus vertebrae) und 7 Fortsätze (Proces-

sus spinosi), nämlich die jeweils paarigen Querfortsätze und die oberen und unteren Gelenkfortsätze sowie den unpaarigen Dornfortsatz. Die oberen und unteren Gelenkfortsätze benachbarter Wirbel bilden dabei die Facettengelenke, während die Quer- und Dornfortsätze den Bändern und Muskeln als Ansatz dienen. Der Bandapparat der Wirbelsäule besteht sowohl aus Längsbändern, elastischen Bändern, den sogenannten Ligamenta flava, als auch Einzelbändern. Bei den Längsbändern unterscheidet man das Ligamentum longitudinale posterius, das die Wirbelkörper an der Rückseite miteinander verbindet und das Ligamentum longitudinale anterius, das dieselbe Funktion an der Vorderseite der Wirbelkörper übernimmt. Zwischen den Wirbelkörpern und den Wirbelbögen verläuft das Rückenmark, das dem zentralen Nervensystem angehört und dessen abgehende Spinalnerven ihre zugehörigen Innervationsgebiete motorisch und sensorisch versorgen (Schiebler 2005). Neben der Stabilisierung des Körpers und der Aufrechterhaltung des Gleichgewichts besteht eine wichtige Aufgabe der Wirbelsäule darin, das Rückenmark vor äußeren Krafteinwirkungen zu schützen.

Zwischen den Wirbeln befinden sich die Bandscheiben (Disci intervertebrales), die mit den Wirbelkörpern verwachsen sind und die, ebenso wie die Wirbelkörper, in kranio-kaudaler Richtung in Höhe und Umfang zunehmen, da auch die Krafteinwirkung kaudal (lumbal) höher ist als kranial (zervikal). Die Bandscheiben sind aufgebaut aus einer vergleichsweise festen Außenschicht (Anulus fibrosus), die einen gallertigen Kern, den Nucleus pulposus, umgibt (Schiebler 2005). Sie dienen der Dämpfung und Abfederung von Stößen und verteilen einwirkende Kräfte gleichmäßig auf die Wirbelkörper.

Die Wirbel der Halswirbelsäule unterscheiden sich von den übrigen Wirbeln durch die Foramina transversaria, durch die die A. vertebralis zusammen mit sympathischen Nervenfasern und den Vv. vertebrales verläuft. Eine Ausnahme stellt häufig der 7. Halswirbel dar, dessen Foramen transversarium kleiner ist und nur die Vv. vertebrales enthält (Schiebler 2005).

In Form und Funktion unterscheiden sich die ersten beiden Halswirbel, Atlas und Axis, grundlegend von den übrigen Wirbeln und stellen funktionell gemeinsam mit dem Segment HW2/HW3 den kraniozervikalen Übergang dar. Im Gegensatz zu allen anderen Wirbeln besitzt der erste Halswirbel, der Atlas, keinen Wirbelkörper. Seine paarigen seitlichen Auftreibungen, die Massae laterales, sind über den vorderen und den hinteren Atlasbogen miteinander verbunden. Der zweite Halswirbel, der Axis, besitzt wiederum einen Wirbelkörper sowie paarige

untere Gelenk- und Querfortsätze, über die er mit HW3 gelenkig verbunden ist. Charakteristisch für den Axis ist der sogenannte Dens axis, ein auf dem Axiskörper sitzender Zahn, der mit seiner Vorderfläche in der Fovea dentis des vorderen Atlasbogen liegt und so mit diesem artikuliert (Schiebler 2005).

Bei den beiden bandscheibenlosen Kopfgelenken, der *Articulatio atlantooccipitalis* zwischen Hinterhaupt und Atlas und der *Articulatio atlantoaxialis* zwischen Atlas und Axis, handelt es sich, wenn man beide Gelenke kombiniert, aus funktioneller Sicht um ein Kugelgelenk, sodass dem Kopf im Gegensatz zu den relativ starren kaudalen Wirbelsäulenabschnitten eine große Bewegungsfreiheit zur Verfügung steht. Ein straffer Bandapparat aus zahlreichen Ligamenten gewährleistet die Stabilität der Kopfgelenke (Schünke 2000). Die wichtigsten Bänder für das Atlantooccipitalgelenk sind dabei die *Membrana atlantooccipitalis anterior* und *posterior*, die sich zwischen dem Wirbelbogen des Atlas und dem vorderen bzw. hinteren Rand des *Foramen magnum* ausspannen. Das Atlantoaxialgelenk wird durch die paarigen *Ligamenta alaria*, die vom Dens zum seitlichen Rand des *Foramen magnum* ziehen, sowie dem *Ligamentum cruciforme atlantis*, dem Kreuzband, stabilisiert (Schiebler 2005).

1.2.1 Biomechanik der Halswirbelsäule

Die Wirbelsäule bildet das Achsenskelett und ermöglicht dem Körper einen ausgeprägten Bewegungsumfang, der auch als *total range of motion* bezeichnet wird. Das sogenannte Bewegungssegment, wie Junghanns es 1951 erstmals bezeichnete, stellt dabei die kleinste biomechanische Funktionseinheit der Wirbelsäule dar (Junghanns 1951). In der heutigen englischsprachigen Literatur hat sich der Begriff *functional spinal unit* für das Bewegungssegment durchgesetzt. Insgesamt gibt es 25 solcher Bewegungssegmente, die jeweils aus zwei halben benachbarten Wirbelkörpern mit der dazwischen liegenden Bandscheibe sowie allen angrenzenden Strukturen wie Bändern, Nerven, Muskeln, Gefäßen und Gelenken bestehen. Die einzelnen Gelenke (Facettengelenke und Bandscheibengelenk) können keine isolierten Bewegungen durchführen, sondern alle Bewegungen laufen in allen drei Gelenken gleichzeitig ab.

Jedes einzelne dieser Segmente weist nur einen geringen Bewegungsumfang auf, doch in ihrer Gesamtheit ermöglichen sie eine hohe Beweglichkeit. Von allen Abschnitten der Wirbelsäule weist die Halswirbelsäule die größte Beweglichkeit auf, aber auch die größten interindividuellen Unterschiede. Die Halswirbelsäule weist folgende Bewegungsmöglichkeiten auf: Eine Flexion/Extension von jeweils 40°, eine Lateralflexion von 45° je Seite und eine Rotation von 60°-80°, ebenfalls in beide Richtungen (Moll und Moll 1995).

1.3 Ursachen von Instabilitäten der Halswirbelsäule

Instabilitäten der HWS, die eine operative Wiederherstellung der Stabilität notwendig machen, können neoplastischer, infektiöser, degenerativer oder traumatischer Genese sein.

In den folgenden Abschnitten dieser Arbeit wird jedes dieser Krankheitsbilder detailliert beschrieben und weiterhin aufgezeigt, in welchen Fällen die Indikation für eine operative Intervention gegeben ist.

1.3.1 Spondylodiszitis

Die Spondylodiszitis ist eine eher seltene Erkrankung, die 3-5% aller Osteomyelitiden ausmacht (Frangen et al. 2006). Es handelt sich um eine Infektion der Grund- und Deckplatten der Wirbel sowie der dazugehörigen Bandscheiben.

Geht das Entzündungsgeschehen primär vom Wirbelkörper aus, spricht man von einer Spondylitis. Sind allerdings die Bandscheiben zunächst befallen, und die Infektion breitet sich erst sekundär auf die Wirbelkörper aus, so bezeichnet man dies als eine Spondylodiszitis. In den meisten Fällen ist zum Zeitpunkt der Diagnosestellung die Entzündung bereits so weit fortgeschritten, dass sich nicht mit Sicherheit sagen lässt, wo die Infektion ihren Ursprung hatte, daher werden die beiden Begriffe häufig synonym verwendet.

Man unterscheidet bei der Spondylodiszitis zwischen einer spezifischen Form, die durch Mykobakterium tuberculosis hervorgerufen wird und einer unspezifischen Form, die durch Bakterien, Viren, Pilze oder Parasiten verursacht werden kann. Die Inzidenz der unspezifischen Spondylodiszitis liegt bei 1:250000, wobei Männer häufiger betroffen sind als Frauen (Verhältnis 1.5-2:1). Ihre häufigsten Erreger sind Staphylokokken (besonders Staphylococcus aureus, 20-84% aller unspezifischen spinalen Infektionen) und Streptokokken. Weltweit betrachtet, ist allerdings Tuberkulose immer noch die häufigste Ursache für spinale Infektionen, da die Inzidenz von Tuberkulose in Ländern der sogenannten 2. und 3. Welt deutlich höher als in den westlichen Ländern ist (Gouliouris et al. 2010).

Eine Infektion der Wirbelsäule kann sowohl auf endogenem als auch auf exogenem Weg stattfinden. Der endogenen Infektion geht eine lokale oder generalisierte Entzündung, wie zum Beispiel ein Harnwegsinfekt oder eine Sepsis voraus, bei der die Erreger dann entweder über die Blutbahn oder seltener über Lymphbahnen die Wirbel und Bandscheiben erreichen (Müller et al. 2004). Ein primärer Entzündungsherd, der in der Nähe der Wirbelsäule liegt, kann aber auch *per continuitatem* auf diese übergreifen. Als exogene Ursachen für eine Spondylodiszitis gelten iatrogen verursachte postoperative Wundinfektionen, wie sie beispielsweise nach Bandscheibenoperationen, lokale Infiltrationen oder Epiduralanästhesien auftreten können.

Obwohl die Erkrankung prinzipiell in jedem Alter auftreten kann, so zeigt sich doch ein Altersgipfel im 6. Lebensjahrzehnt. Als besonders gefährdet gelten darüber hinaus immunsupprimierte Patienten wie Diabetiker, Drogenabhängige, Tumorerkrankte oder Patienten mit HIV oder rheumatischen Erkrankungen (Müller et al. 2004, Sobottke et al. 2008).

Eine Spondylodiszitis kann unterschiedlich verlaufen. Der akute Verlauf zeichnet sich durch Fieber und stärkste Schmerzen im Bereich der betroffenen Wirbelregion aus. Der chronische Verlauf hingegen äußert sich durch sehr unspezifische Beschwerden, was die Diagnosestellung deutlich erschwert; es werden in der Literatur sogar Zeiträume von zwei bis sechs Monaten angegeben zwischen dem Auftreten der ersten Beschwerden und dem Zeitpunkt der Diagnosestellung (Frangen et al. 2006, Sobottke et al. 2008). Häufig treten belastungsabhängige,

nächtliche Rücken- oder Nackenschmerzen unklarer Genese auf, doch bis zu 50% aller Patienten bleiben beschwerdefrei. In nur 1/3 aller Fälle treten aufgrund eines wachsenden Epiduralabszesses neurologische Defizite wie sensomotorische Ausfälle oder Blasen-Mastdarmstörungen auf (Mylona et al. 2009).

Die Erkrankung kann hingegen aber auch akut verlaufen, was sich in durch Fieber und stärkste Schmerzen im Bereich der betroffenen Wirbel äußert.

Die zervikale Wirbelsäule ist im Gegensatz zu der lumbalen und der thorakalen Wirbelsäule mit 3% bis 6% seltener betroffen, aber oftmals früher mit neurologischen Defiziten und einem rascheren Krankheitsverlauf verbunden (Müller et al. 2004).

Aufgrund der häufig späten Diagnosestellung und des reduzierten Allgemeinzustandes der Patienten kann die Spondylodiszitis auch heute noch vital bedrohlich werden. Die Letalität wird in der Literatur mit 2-17% angegeben (Fragen et al. 2006, Schinkel et al. 2003, Sobottke et al. 2008). Sepsis, gegebenenfalls mit Multiorganversagen, neurologische Ausfälle durch intraspinale Abszesse, Abszedierung in die Umgebung und Meningitis stellen mögliche Komplikationen dar.

In der laborchemischen Untersuchung kann es zu einer Erhöhung der typischen Entzündungsparameter, wie der Blutsenkungsgeschwindigkeit, dem C-reaktiven Protein und Procalcitonin im Serum sowie der Leukozytenzahl kommen. Obwohl bei einer großen Mehrheit der betroffenen Patienten das C-reaktive Protein und sogar bei über 90% der Patienten die Blutsenkungsgeschwindigkeit erhöht ist, so gilt doch die Erhöhung dieser Parameter nicht als Beweis für das Vorliegen einer Spondylodiszitis, denn gerade beim chronischen Verlauf können die Blutwerte nicht oder nur geringfügig erhöht sein. Hinzu kommt, dass kein Zusammenhang zwischen den erhöhten Laborwerten und der Schwere der Infektion gefunden werden konnte (Gouliouris et al. 2010).

Als bildgebende Verfahren haben sich die Kernspintomographie und die Computertomographie am besten bewährt und sind als die Aussagekräftigsten anerkannt. Gerade zu Beginn einer Spondylodiszitis, aber auch im weiteren Verlauf, können Knochenveränderungen fehlen oder nur gering ausgeprägt sein, daher sind konventionelle Röntgenaufnahmen als diagnostisches Verfahren nicht geeignet. Auf MRT-Aufnahmen hingegen, lassen sich die gesamte Wirbelsäule sowie die Ausbreitung der Infektion auf den Spinalkanal und den paravertebralen

Raum beurteilen. Darüber hinaus lässt sich mithilfe der MRT-Aufnahmen feststellen, wenn Signalerhöhungen im Sinne einer Myelopathie vorliegen, wie sie in seltenen Fällen bei großen epiduralen Abszessen mit einer Myelonkompression auftreten können.

Das CT deckt sehr früh pathologische knöcherne Veränderungen auf, die in konventionellen Röntgenaufnahmen noch nicht wiedergegeben werden, ist aber dennoch dem MRT, das eine Spezifität von 92% und eine Sensitivität von 96% besitzt, unterlegen (Modic et al. 1985).

Um eine gezielte antibiotische Therapie durchführen zu können, ist ein Erregernachweis erforderlich. Die Methode mit dem geringsten Aufwand ist eine bakteriologische Untersuchung des Bluts. In 70% der antibiotisch nicht vorbehandelten Patienten gelingt beim Anlegen von zwei bis drei Blutkulturen, wie es empfohlen wird, ein Nachweis des Erregers (Nolla et al. 2002).

Bei Verdacht auf das Vorliegen einer Spondylodiszitis kann auch eine feingewebliche Untersuchung nach einer CT-gesteuerten Feinnadel- oder perkutanen Stanzbiopsie durchgeführt werden. Etwa bei der Hälfte der Patienten kann mit einer Identifikation des Erregers gerechnet werden. Das sicherste Verfahren stellt jedoch die intraoperative Biopsie dar. Hierbei kann die größte Menge an Gewebematerial entnommen werden, was in 75% der Fälle einen Erregernachweis ermöglicht (Nolla et al. 2002).

Das Ziel der Behandlung der Spondylodiszitis besteht in einer kompletten Ausheilung des Infektgeschehens, einer Stabilisierung des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts und einer Verminderung der Schmerzsymptomatik. Hierzu stehen konservative und operative Behandlungsmaßnahmen zur Verfügung.

Die Frage, wann ein operatives Vorgehen zu empfehlen ist, wird weiterhin kontrovers diskutiert, da in der Literatur nur inhomogene Patientenkollektive existieren. Die Behandlung richtet sich dabei nach der Schwere der Erkrankung sowie dem Allgemeinzustand und dem Neurostatus des Patienten. Bei einem mildem Verlauf, oder wenn sich das Risiko eines operativen Eingriffs für den Patienten als zu groß darstellt, kann eine konservative Therapie erwogen werden (Klößner et al. 2001, Schinkel et al. 2003). Die Grundlagen der konservativen Behandlung bestehen in einer gezielten Antibiotikatherapie nach Erregernachweis und einer Immobilisation zur Entlastung des infizierten Wirbelsäulenabschnitts durch Korsettbehandlung für mehrere Monate. Sollte es nach 4-6 Wochen der Ruhigstellung nicht zu einer Verbesserung

der klinischen Symptomatik kommen oder sollte gar eine Progredienz stattfinden, gilt das Fortführen der konservativen Therapie als nicht ausreichend (Klöckner et al. 2001, Schinkel et al. 2003).

Außer bei Versagen der konservativen Therapie ist eine umgehende operative Therapie bei einer Sepsis, neurologischen Ausfällen, Instabilitäten mit Wirbelkörperdestruktionen und intraspinalen Raumforderungen indiziert (Frangen et al. 2006). Über die Operationsstrategie herrscht kein Konsens. Der Zugangsweg, eine mögliche osteosynthetische Stabilisierung und auch ob ein- oder zweizeitiges Vorgehen erfolgen sollte, werden kontrovers diskutiert.

Frangen et al. favorisieren eine „optionale zweizeitige Operationstaktik“, bei der zunächst unter Antibiose eine dorsale Stabilisierung durchgeführt und bestehende Abszesse entfernt werden, sodass eine Dekompression des Spinalkanals erzielt wird. Sollte es aufgrund einer ausgeprägten Ausdehnung der Entzündung in das Bandscheibenfach und die angrenzenden Wirbelkörper nach diesem ersten Eingriff noch zu keiner Ausheilung des Infekts kommen, kann ein Zweiteingriff von ventral erfolgen. Bereits nach dem Ersteingriff wird in der Regel eine hohe Ausheilungsrate erzielt, sodass die zweite Operation nicht mehr notwendig wird. Dies ist vermutlich auf die ausreichende mechanische Stabilität nach dem dorsalen Eingriff zurückzuführen, die für die Infektausheilung von großer Bedeutung zu sein scheint (Frangen et al. 2006, Müller et al. 2004).

Suess et al. konnten ebenfalls zeigen, dass ein einzeitiges Vorgehen eine frühe postoperative Mobilisierung ermöglicht ohne, im Vergleich zu einer mehrzeitigen Eingriffsstrategie, die Morbidität zu erhöhen (Suess et al. 2007).

Bei der Implantation von Osteosynthesematerial im Infektionsgebiet kann es zur Keimbesiedlung der Metalloberfläche kommen, wodurch die Infektion aufrechterhalten wird (Fukuta et al. 2003). Rayes et al. berichten jedoch, dass eine Instrumentierung nach radikalem Debridement als sicher einzuschätzen ist und das Risiko eines Wiederauftretens der Infektion nicht erhöht, die Patienten aber sehr von der Stabilisierung profitieren und eine Heilung beschleunigt wird (Rayes et al. 2010).

Insgesamt wird die Ausheilungsrate nach operativer Therapie in der Literatur mit 90-95% angegeben (Frangen et al. 2006), während die Effektivität der konservativen Therapie mit Antibiotikagabe und Immobilisation hingegen mit nur 60-95% beschrieben wird (Rayes et al. 2010).

1.3.2 Trauma

Wirbelsäulenverletzungen entstehen durch direkte oder indirekte Gewalteinwirkungen, wobei Verkehrsunfälle mit über 31,5% die häufigste Ursache darstellen, gefolgt von Stürzen mit 25,3% (Chen et al. 2013).

Die Halswirbelsäule ist mit 29-55% öfter betroffen als der Thorakal- und der Lumbalbereich und macht 40% aller Querschnittssyndrome aus (American College of Surgeons 2008). Zwar können bereits geringere Kräfte an der Halswirbelsäule zu gravierenden Schädigungen führen, jedoch kommt es insgesamt in nur 10-20% der Fälle zu neurologischen Defiziten. Treten neurologische Defizite auf, so können diese allerdings bis zu einer kompletten Querschnittslähmungen reichen (Kaye und Nance 1990).

Es handelt sich entweder um Monoverletzungen der Wirbelsäule oder um Mehrfachverletzungen beziehungsweise Polytraumen. Da bei 20% aller polytraumatisierten Patienten eine Wirbelsäulenverletzung vorliegt, sollte bei diesem Patientenkollektiv bis zum Beweis des Gegenteils immer von einer Wirbelsäulenverletzung ausgegangen werden (Richter-Tutor et al. 1989). Ebenso gilt, dass sobald eine Verletzung sicher diagnostiziert wurde, nach einer zweiten gesucht werden sollte, denn da es sich in bis zu 20% der Fälle um eine 2-Etagenverletzung handelt. Verletzungen im Bereich der oberen Halswirbelsäule sollen sogar mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% mit einer zweiten Wirbelsäulenverletzung assoziiert sind (O'Dowd 2010). Insbesondere bei Patienten mit Morbus Bechterew ist ein komplettes screening mittels CT-Aufnahmen der gesamten Wirbelsäule indiziert.

Nach sorgfältiger klinischer Untersuchung und der Erhebung des neurologischen Status kommen zur Diagnostik bildgebende Verfahren zum Einsatz. Neben konventionellen Röntgenbildern in zwei Ebenen stehen die computertomographische und kernspintomographische Untersuchung zur Verfügung. Sobald der Verdacht auf eine Fraktur besteht, der Patient bewusstlos ist oder an neurologischen Defiziten oder Schmerzen leidet, besteht die Indikation zur radiologischen Untersuchung.

Como et al. empfehlen das CT als initiales Screening-Verfahren und äußern, dass konventionelle Röntgenbilder keine zusätzlichen Informationen liefern (Como et al. 2009).

Auch Holmes und Akkinepalli stellen bezüglich der Sensitivität eine deutliche Überlegenheit des CTs mit 98% gegenüber normalen Röntgenaufnahmen mit 52% fest (Holmes und Akkinepalli 2005).

MRT-Aufnahmen dienen vor allem der Darstellung von diskoligamentären Verletzungen und Knochenödemen. Hinweise auf eine derartige Verletzung stellen prävertebrale Hämatome oder eine Fraktur des Processus spinosus dar. Auch das sogenannte Teardrop-Phänomen, das bei einer knöchernen Absprengung an der Vorderkante der Basis des Wirbelkörpers zustande kommt, deutet auf eine komplexe instabile Verletzung hin. Darüber hinaus sind MRT-Aufnahmen zur Beurteilung des Rückenmarks bei bestehenden neurologischen Defiziten notwendig.

Es gelten unterschiedliche Klassifikationen zur Einteilung der Frakturen für die obere und die untere HWS.

Verletzungen der oberen HWS werden in Okzipitalkondylenfrakturen, atlantookzipitalen Dislokationen, Atlasfrakturen, atlantoaxiale Dislokationen, Densfrakturen und traumatischen Spondylolisthesen des Axis eingeteilt.

Okzipitalkondylenfrakturen sind sehr selten und werden nach Jeanneret in vier Typen eingeteilt:

Typ I: Schädelbasisfraktur, die zum Foramen magnum läuft und häufig den Canalis nervi hypoglossi (12. Hirnnerv) in den Bruch miteinbezieht.

Typ II: Ringfraktur der Schädelbasis um das Foramen magnum, bei der eine oder beide Hinterhauptkondylen betroffen sein können. Dieser Bruchtyp verläuft meistens tödlich.

Typ III: ein- oder beidseitige isolierte Kompressionsfraktur der Okzipitalkondylen, die gelegentlich in Kombination mit einem Bruch der Massa lateralis des Atlas auftritt.

Typ IV: Abrissfraktur der Ligamenta alaria uni- oder bilateral, wobei häufig eine atlantookzipitale Dislokation auftritt (Witt et al. 1994).

Ihre Behandlung erfolgt in der Regel durch Ruhigstellung mithilfe einer Zervikalstütze (z.B. Miami Collar) für 6 Wochen (Tscherne und Blauth 1998). Bei starken Dislokationen mit neurologischen Defiziten gelingt zumeist die Reposition und Immobilisation mit einem Halo-Fixateur für 6-12 Wochen, sodass in nur sehr seltenen Fällen eine okzipitozervikale Stabilisierungsoperation notwendig ist (Kandziora et al. 2010).

Atlantookzipitale Dislokationen treten ebenfalls selten auf, führen typischerweise zu einer Hirnnerven- und Hirnstammschädigung und enden zumeist noch am Unfallort letal (Schueller-Weidekamm 2008).

Ungefähr 2-13% aller Halswirbelfrakturen sind Atlasfrakturen (Tscherne und Blauth 1998). Es existieren nach Gehweiler et al. fünf Untergruppen, wobei Typ III, der sogenannten Jefferson-Fraktur (Jefferson 1920) eine besondere Bedeutung zukommt. Dabei handelt sich um eine kombinierte Verletzung des vorderen und hinteren Atlasbogens, die vor allem nach Stürzen aus geringer Höhe und Verkehrsunfällen auftritt (Gehweiler et al. 1976).

Tritt diese Fraktur in Kombination mit einer Läsion des Lig. transversum atlantis auf (Typ IIIb), ist sie als instabil einzustufen und muss entweder mittels einer externen Halo-Weste oder mittels dorsaler Verschraubung stabilisiert werden. Typ I umfasst eine isolierte Fraktur des vorderen und Typ II des hinteren Atlasbogens, während Typ IV eine isolierte Massa lateralis-Fraktur bezeichnet und Typ V eine isolierte Fraktur des Processus transversus. Mit Ausnahme von Jefferson-Frakturen und stark dislozierten Typ IV-Verletzungen, die gerade bei jungen Patienten zu einer Pseudoarthrose führen können und aus diesem Grund für 6-12 Wochen im Halo-Fixateur therapiert werden sollten, erfolgt die Behandlung von Atlasfrakturen mit einer weichen Zervikalorthese für 6-12 Wochen (Kandziora et al. 2010).

Der Dens axis ist mit 25% aller HWS-Verletzungen am häufigsten betroffen (Schueller-Weidekamm 2008). Die Einteilung geschieht nach Anderson und D'Alonzo in drei Typen (Anderson und D'Alonzo 1974).

Der seltene Typ I betrifft nur die Densspitze. Typ I-Frakturen mit Ausriss der Ligamenta alaria werden durch eine Fusionsoperation behandelt.

Typ II ist die häufigste Densfraktur und umfasst die Densbasis. Wenn keine Dislokation vorliegt, kann sie zwar konservativ therapiert werden, doch prinzipiell sind Frakturen vom Typ II als potenziell instabil einzustufen und werden daher standardmäßig durch anteriore Densverschraubung stabilisiert. Diese Operationsmethode ist aber gerade bei älteren Patienten mit einer hohen Morbidität verbunden, sodass in letzter Zeit häufig die dorsale Stabilisierung bevorzugt wird. Frangen et al. empfehlen diesen Zugang bei älteren Patienten, da hierbei gute klinische Resultate mit wenigen Komplikationen erreicht werden können (Fragen et al. 2007). Typ III-Frakturen sind gekennzeichnet durch einen Frakturverlauf durch den Axiskörper und können abhängig von der Größe des kaudalen Fragments stabil oder instabil sein. Bei instabilen Verletzungen mit einem kleinen kaudalen Fragment ist eine atlantoaxiale Stabilisierung indiziert, wohingegen sich bei stabilen Frakturen mit einem großen kaudalen Fragment eine anteriore Densverschraubung empfiehlt (Kandziora et al. 2010).

Die früher auch als *hangman`s fracture* bezeichnete traumatische Spondylolisthese des 2. Halswirbelkörpers tritt selten auf und verursacht selbst bei größeren Dislokationen selten neurologische Ausfallerscheinungen. Sie lässt sich nach Effendi et al. folgendermaßen einteilen:

Typ I: kaum dislozierte Isthmusfraktur (Dislokation <1 mm); Bandscheibe HW 2/3 intakt

Typ II: dislozierte Isthmusfraktur (Dislokation >1 mm); keine Luxation des Facettengelenks, jedoch Schädigung der Bandscheibe HW2/3

Typ III: dislozierte Isthmusfraktur (Dislokation >1 mm); Destruktion der Bandscheibe HW2/3 und ein- oder beidseitige Luxation der Facettengelenke HW2/3

(Effendi et al. 1981)

Während Typ I in der Regel mit einer 6-12-wöchigen harten Zervikalorthese versorgt wird, besteht die Standardtherapie bei Typ III-Verletzungen in einer ventralen monosegmentalen Spondylodese. Sollte in seltenen Fällen die Reposition über diesen Zugang nicht gelingen, kann eine dorsale Spondylodese erfolgen. Typ II wird bei intaktem vorderen Längsband gewöhnlich konservativ versorgt und bei zerrissenem vorderen Längsband mittels einer operativen Stabilisierung (Kandziora et al. 2010).

Für die mittlere und zervikothorakale HWS existiert bislang keine allgemeingültige Klassifikation, doch in Anlehnung an die Einteilung der thorakalen und lumbalen Frakturen nach Magerl

et al. (Magerl et al. 1994) lassen sich Kompressionsfrakturen (Typ A) von Distraktionsfrakturen (Typ B) und Rotationsfrakturen (Typ C) unterscheiden, wobei Distraktionsfrakturen, da sie häufig mit Bandrupturen einhergehen, als potentiell instabil einzustufen sind (Schueller-Weidekamm 2008).

Auf die Stabilität von Verletzungen der mittleren und zervikothorakale Halswirbelsäule hat besonders der diskoligamentäre Komplex einen großen Einfluss. Liegt ein Aufklaffen des vorderen Bandscheibenraumes oder der Processi spinosi vor, so deutet dies auf eine diskoligamentäre Ruptur hin. Weitere Hinweise auf eine diskoligamentäre Instabilität, die am häufigsten an den Segmenten HW4-6 zu beobachten ist, stellen eine Subluxation der Facettengelenke $< 50^\circ$ oder eine Diastase > 2 mm sowie eine Teardrop-Läsion dar (Schueller-Weidekamm 2008). In der Regel werden derartige Verletzung von ventral operiert, allerdings ist ein dorsaler Zugang bei Einengung des Spinalkanals oder des Foramen vertebrale und bei Luxationsfrakturen mit Beteiligung der Facettengelenke, die nicht geschlossen reponiert werden können, indiziert. Kombinierte Verfahren werden selten angewandt und beschränken sich meist auf Restinstabilitäten nach ventraler Versorgung (Laurer et al. 2010). Bei Verletzungen der subaxialen HWS kann es zwar zu Bewegungseinschränkungen kommen, doch diese werden oftmals von den Patienten subjektiv nicht wahrgenommen (Blauth et al. 1996). Darüber hinaus kann es zu Nackenschmerzen kommen, allerdings gaben in einer Studie 67,4% aller Patienten an, beschwerdefrei zu sein (Daentzer und Böker 2004). Hingegen besteht nach Frakturen der oberen HWS die Gefahr postoperativer okzipitaler Missempfindungen und Nackenschmerzen (Jefferson 1920) sowie insbesondere nach Densfrakturen die Möglichkeit der Ausbildung von Pseudoarthrosen (Tscherne und Blauth 1998). Bei Denspseudoarthrosen handelt es sich um ein Falschgelenk, das bei insuffizienter Ruhigstellung der Fraktur und einem persistierenden Bruchspalt entstehen kann.

1.3.3 Tumor

Während 30% aller Skelettmetastasen in der Wirbelsäule lokalisiert sind und den größten Anteil der Wirbelsäulentumoren ausmachen, betreffen nur 10% der primären Knochentumoren

wie zum Beispiel Riesenzelltumoren, Chordome oder Osteosarkome die Wirbelsäule (Campacci 1999).

Am häufigsten finden sich Metastasen in der Brustwirbelsäule (70%), gefolgt von der Lendenwirbelsäule (20%) und der Halswirbelsäule (10%) (Josten und Franck 2009). Die Knochen sind nach der Lunge und der Leber der dritthäufigste Ort für Metastasen (Greenlee et al. 2000).

Lässt sich der Primärtumor identifizieren, so handelt es sich mit absteigender Häufigkeit um Mamma- (50-85%), Prostata- (50-75%), Bronchial- (30-50%), Nierenzell- (30-50%) und Schilddrüsenkarzinome (39%) (Modaressi et al. 2013). In 3-10% aller Fälle bleibt der metastasierende Tumor allerdings unentdeckt (Rougraff et al. 1993, Rades et al. 2007, Ulmar et al. 2007).

Klinisch manifestieren sich Wirbelsäulenmetastasen am häufigsten durch Schmerzen, die von Osteolysen oder einem steigenden intraossären Druck durch die Metastase ausgelöst werden. Die Wirbelkörperdestruktion kann sekundär zu Instabilitäten führen, welche wiederum Schmerzen verursachen können und gegebenenfalls mit pathologischen Frakturen einhergehen (Josten und Franck 2009, Pilge et al. 2011).

In nur 10-20% aller Fälle entstehen neurologische Defizite aufgrund tumorinduzierter Kompression der Nervenwurzel oder des Rückenmarks (Sundaresan et al. 2004). Dabei handelt es sich eher um sensomotorische Defizite, da die Tumoren zu 90% vom Wirbelkörper ausgehen und somit die ventralen Anteile des Rückenmarks zuerst betroffen sind (Delank et al. 2011).

Die mittlere Überlebenszeit von Patienten mit spinalen Metastasen variiert stark in Abhängigkeit vom Primärtumor. So wird sie für Patienten mit einem Mammakarzinom mit 16 Monaten angegeben, für ein Prostatakarzinom mit 9,5 Monaten und für ein Bronchialkarzinom mit 3,2 Monaten (Linden et al. 2006, Tatsui et al. 1996). Generell sind zwei Jahre nach Diagnosestellung nur noch 10-20% der Patienten mit Wirbelsäulenmetastasen am Leben (Delank et al. 2011).

Nach einer ausführlichen Anamnese und klinischen Untersuchung dienen bildgebende Verfahren der weiteren Diagnostik. Konventionelle Röntgenbilder in zwei Ebenen verfügen aber nur über eine geringe Sensitivität, weil sie Osteolysen erst ab einem Verlust von 30-50% der Knochensubstanz nachweisen. Im CT hingegen kann bereits ab einem Knochenverlust von 15-

20% eine sichere Diagnostik erfolgen, und es dient außerdem der Einschätzung der Stabilitätsverhältnisse (Pfannenberg et al. 2004, Prott et al. 2002, Rybak und Rosenthal 2001).

Auch im MRT werden osteolytische Veränderungen früher nachgewiesen, und es lassen sich darüber hinaus Weichteilinfiltrationen und eventuelle Kompressionen neuraler Strukturen beurteilen.

Ein operatives Vorgehen empfiehlt sich nur bei einer prognostizierten Überlebenszeit von mindestens 3 Monaten. Indikationen für eine Operation sind die Progredienz neurologischer Symptome, eine segmentale Instabilität aufgrund der Tumordinfiltration und therapieresistente Schmerzen mit Frakturgefahr oder eine bereits eingetretener Fraktur.

Das Ziel des operativen Eingriffs sollte somit insbesondere eine Verbesserung der neurologischen Symptomatik sein. Dies wird durch eine Reduktion der Tumorgröße und eine suffiziente Dekompression des Spinalkanals erreicht.

Des Weiteren dient die Operation der Stabilisierung der Wirbelsäule, wodurch drohende pathologische Frakturen vermieden werden können und der Patient darüber hinaus mobilisierbar wird, sodass es zu weniger Komplikationen kommt.

Tokuhashi et al. entwarfen ein Evaluationssystem, das der individuellen Therapieplanung dienen soll. Folgende Parameter werden dabei berücksichtigt: Allgemeinzustand, Anzahl der extraspinalen Knochenmetastasen, Anzahl der Wirbelkörpermetastasen, Metastasen der inneren Organe, Lokalisation des Primärherds und Querschnittssymptomatik (Tokuhashi et al. 1990). Je nach errechnetem Punktstand resultiert daraus eine chirurgische oder palliative Therapieempfehlung. Das Evaluationssystem wird durchaus kontrovers diskutiert, da es auf einem kleinen Patientenkollektiv (< 75 Patienten) mit diversen Tumorentitäten basiert.

Für einige stark vaskularisierte Metastasen wie zum Beispiel die des Nierenzell- oder des Schilddrüsenkarzinoms ist es sinnvoll, eine präoperative Embolisation durchzuführen. Auf diese Art und Weise kann der intraoperative Blutverlust um bis zu 2/3 gesenkt werden, wodurch das Operationsrisiko verringert und eine präzisere und ausgedehntere Resektion ermöglicht wird (Rehak et al. 2008, Schaser et al. 2007).

Insgesamt handelt es sich um weniger als 10% aller tumorkranken Patienten mit spinalen Metastasen, die sich einer Operation unterziehen müssen (Simmons und Zheng 2006). Handelt es sich um einen multisegmentalen Befall kann ein alleiniges dorsales oder ein kombiniertes Verfahren erforderlich sein. Bei Patienten mit vorangegangener Strahlentherapie, Schluckbeschwerden oder einem schlechten Allgemeinzustand, der eine kombiniertes Verfahren nicht erlaubt, ist ebenfalls ein Eingriff von dorsal indiziert (Eleraky et al. 2010).

Eine Ausnahme stellt der okzipitozervikale Übergang dar. Für diese seltenen Tumoren, die nur 0,5% aller Wirbelsäulenmetastasen ausmachen (Sherk 1975), wird ein posteriorer Zugang favorisiert. In Abhängigkeit vom Ausmaß der Instabilität und der Subluxation wird bei der Operation der Okziput über Okzipitalplatten in die Stabilisierung mit einbezogen. Fournery et al. empfehlen sogar die Stabilisierung immer auf den Okziput auszudehnen, um eine bessere Fixierung zu erzielen und ein Implantatversagen zu vermeiden (Fournery et al. 2003).

Im Bereich des zervikothorakalen Übergangs ist das Verfahren der Wahl die dorsale Stabilisierung. Bedingt durch die höhere Mobilität, die die Halswirbelsäule im Vergleich zu der Brustwirbelsäule aufweist, sollte die Stabilisierung aus biomechanischen Gründen nicht in diesem Bereich enden, sondern es sollten jeweils zwei Segmente ober- und unterhalb mit einbezogen werden (Josten und Franck 2009).

Solitäre Wirbelsäulen kommen selten vor und können abhängig vom Allgemeinzustand des Patienten und der prognostizierten Lebenserwartung gegebenenfalls kurativ therapiert werden. In solchen Fällen empfiehlt sich entweder eine ventrale Instrumentierung oder ein kombiniertes Vorgehen, die eine En-bloc-Resektion erlauben. Um eine suffiziente Stabilität zu erzielen, kann der Defekt mittels eines Wirbelkörperersatzes in Form eines expandierbaren Titan-Cages überbrückt werden und anschließend durch eine 360°-Fusion versteift werden (Josten und Franck 2009).

Ein Wirbelkörperersatz ist ebenfalls bei einer Wirbelkörperdestruktion mit einem Knochenverlust von über 50% indiziert (Gradinger et al. 2006).

Weitere Therapieansätze sind die Strahlen- und Chemotherapie sowie die Therapie mit Bisphosphonaten.

Eine Strahlentherapie sollte sich immer einer Operation anschließen um ein Auftreten von Rezidiven zu vermeiden, das Operationsergebnis zu sichern und zu einer Schmerzlinderung beizutragen. Dabei ist zu beachten, dass eine höhere individuelle Dosis zwar zu einer besseren Linderung der Schmerzen führt, eine insgesamt höhere Gesamtdosis allerdings einen besseren antineoplastischen Effekt hat und eine Rekalzifizierung begünstigt (Wu et al. 2003, Sze et al. 2003, Chow et al. 2007).

Bei hormonsensitiven Tumoren wie beispielsweise dem Mamma- oder Prostatakarzinom kann eine Hormontherapie in Erwägung gezogen werden. Sind außer dem Knochen noch weitere Organe betroffen, so ist eine Polychemotherapie indiziert.

Eine Bisphosphonatgabe wird generell bei allen Patienten mit knöchernen Metastasen empfohlen. Bei einer Bisphosphonatgabe handelt es sich um eine antiosteolytische Therapie, da sie die Knochenresorption durch eine Osteoklastenhemmung reduzieren und somit pathologischen Frakturen vorbeugen sowie den Knochenschmerz senken können (Veri et al. 2007).

Nachteilig jedoch ist, besonders bei den parenteral verabreichten Bisphosphonaten, die im Gegensatz zu den oralen Bisphosphonaten stärker absorbiert und länger im Knochen gespeichert werden, dass sie zu Kiefernekrosen führen können. Aus diesem Grund sollte vor jeder Bisphosphonatgabe eine komplette Zahnsanierung durchgeführt werden.

Quan et al. konnten in einer Studie zum Outcome von palliativen Operationen bei Knochenmetastasen in der zervikalen und zervikothorakalen Wirbelsäule zeigen, dass von 27 Patienten bei über der Hälfte eine komplette Schmerzfreiheit erzielt werden konnte und somit die Qualität der verbliebenen Lebenszeit deutlich verbessert wurde (Quan et al. 2011).

In der Literatur finden sich auch von anderen Autoren Angaben zur postoperativen Schmerzlinderung, die zwischen 80% und 90% liegen. Darüber hinaus wird der Rückgang neurologischer Defizite mit bis zu 78% angegeben (Schaser et al. 2007, Sundaresan et al. 1991).

Für eine erfolgreiche Behandlung sind vor allem eine interdisziplinäre Therapiestrategie und eine frühe Diagnosestellung entscheidend.

1.3.4 Degenerative Erkrankungen

Die häufigste degenerative Erkrankung der Wirbelsäule ist die Spondylose. Es handelt sich dabei um eine progressive Krankheit, die vor allem bei älteren Menschen auftritt. Während sich nur bei 10% der 25-Jährigen eine zervikale Spondylose feststellen lässt, präsentieren sich 95% der 65-Jährigen mit einer derartigen degenerativen Veränderung der Halswirbelsäule (Shedid und Benzel 2007).

Bei der Spondylose kommt es aufgrund degenerativer Prozesse wie einer Abnahme der Bandscheibenhöhe oder einer Osteophytenbildung zu einer Einengung des Spinalkanals. Dies kann wiederum eine Myelonkompression mit den neurologischen Symptomen einer Myelopathie zur Folge haben (Shedid und Benzel 2007).

Findet hingegen eine Kompression der Nervenwurzel durch eine Einengung des Neuroforamens statt, so entwickelt sich eine Radikulopathie. In beiden Fällen ereignet sich entweder eine direkte Verletzung des Nervengewebes oder es entstehen sekundäre Schäden durch eine Ischämie. Die Anzahl der betroffenen Segmente sowie der Grad der Ausprägung variieren (Baptiste und Fehlings 2006).

In seltenen Fällen kann eine Einengung des Spinalkanals auch asymptomatisch bleiben, tritt jedoch eine Myelopathie auf, so kann sich diese durch eine Vielfalt an Symptomen äußern. Häufig manifestieren sich Gang- oder Feinmotorikstörungen, aber auch ein erhöhter Muskeltonus, eine Hyperreflexie, pathologische Reflexe wie beispielweise das Babinski-Zeichen oder auch Blasen-Mastdarmstörungen gelten als Zeichen einer Myelopathie (Harrop et al. 2007, Shedid und Benzel 2007).

Doch nicht nur alleine die Kompression des Rückenmarks kann zu dessen Verletzung führen, sondern auch Flexions- und Extensionsbewegungen, bei denen das Rückenmark wiederholt Kontakt mit den Spondylophyten hat, können Mikrotraumen hervorrufen (Shedid und Benzel 2007).

Im Gegensatz zu einer Myelopathie lassen sich bei einer Radikulopathie die Symptome einem bestimmten Dermatome zuordnen. Die neurologische Untersuchung ermöglicht anhand der typischen Schmerzausstrahlung, den Kraftgraden sowie den veränderten Reflexen Rückschlüsse auf das betroffene Segment zu ziehen. Je nachdem, welche Nervenwurzel komprimiert wird, zeigen sich dabei typische radikuläre Symptome (Harrop et al. 2007).

Sobald Patienten Symptome entwickeln, findet in der Regel keine spontane Verbesserung statt. Bereits 1956 konnten Clarke und Robinson zeigen, dass es bei 75% der Patienten, die eine Myelopathie aufwiesen, zu einem Fortschreiten der Erkrankung mit teilweise neu auftretenden neurologischen Defiziten kommt und nur bei 2/3 dieser Patienten eine Stabilisierung des Zustandes beobachtet werden konnte. Die übrigen Patienten zeigten eine stetige Progression des Krankheitsbildes (Clarke und Robinson 1956).

Handelt es sich bei den Beschwerden nur um Nackenschmerzen oder eine Radikulopathie ohne Myelopathie, kann eine rein konservative Therapie erfolgreich sein. Auch bei Patienten mit nur milden myelopathischen Symptomen kann ein konservativer Therapieversuch erwogen werden. Liegt allerdings eine radiologisch nachweisbare Pathologie (meistens Spinalkanalstenose) mit fortschreitender neurologischer Verschlechterung oder eine ausgeprägtere Myelopathie vor, ist ein chirurgisches Vorgehen indiziert (Bambakidis et al. 2005).

Die Wahl des operativen Zugangs, anterior, posterior oder kombiniert, geschieht in Abhängigkeit von der Lokalisation der Kompression, der Anzahl der betroffenen Segmente und des sagittalen Profils der Wirbelsäule.

Während Lee et al. unter Chirurgen eine Einigkeit über den Operationszeitpunkt feststellen konnten, zeigte sich kein Einvernehmen darüber, welcher Zugang zu favorisieren sei und führten diese Feststellung auf die Komplexität der Anatomie und des Zugangs von Wirbelsäulenoperationen zurück (Lee et al. 2011).

Bei Patienten mit einer steilen oder kyphotischen Halswirbelsäule ist die Durchführung einer alleinigen Laminektomie kontraindiziert, da das Risiko einer postoperativen Kyphose vorhanden ist, das anteriore pathologische Geschehen bestehen bleibt und somit das Rückenmark weiterhin geschädigt werden kann. In diesen Fällen sollte entweder ein anteriorer Zugang gewählt werden oder die Laminektomie sollte in Kombination mit einer dorsalen Instrumentierung durchgeführt werden. Bei fehlender Alignmentstörung sowie fehlenden Instabilitätszeichen hingegen, kann durchaus mit einer Laminektomie oder Laminoplastie ohne Spondylose ein suffizientes Ergebnis erzielt werden (Douglas und Cooper 2007).

Eine weitere jedoch seltene Erkrankung, die mit einer Myelopathie assoziiert sein kann, ist die Ossifikation des posterioren longitudinalen Ligaments (OPLL) durch eine Kalzifizierung des genannten Ligaments. Die Pathogenese dieser Erkrankung ist bislang nur unzureichend geklärt, doch man vermutet, dass auch hierbei nicht nur statische Faktoren wie die Kompression des Rückenmarks durch das ossifizierte Ligament eine Rolle spielen, sondern auch dynamische Faktoren wie intervertebrale Bewegungen, zur Entstehung einer spinalen Myelopathie beitragen (Azuma et al. 2010).

Sobald im MRT Signalsteigerungen im Myelon im Sinne einer Myelopathie vorliegen oder bereits neurologische Auffälligkeiten bestehen, sollte ein operativer Eingriff erfolgen. Die Wahl des Zugangs geschieht auch in diesem Fall in Abhängigkeit der Ausprägung der Myelopathie, der Anzahl der betroffenen Segmente, des sagittalen Profils und der Lokalisation der Pathologie. Es besteht hierbei eine Präferenz zu einem dorsalen Zugang je mehr Segmente betroffen sind (Choi et al. 2011).

Von den Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises, die zu der Notwendigkeit einer operativen Intervention im Bereich der Halswirbelsäule führen, spielen vor allem die rheumatoide Arthritis und die Spondylarthritiden eine Rolle. Bei beiden handelt es sich um chronisch entzündliche Erkrankungen. Die wichtigste Untergruppe der Spondylarthritiden ist mit einer Prävalenz in Deutschland von 0,3-0,5% die Spondylitis ankylosans, auch genannt Morbus Bechterew. Bezeichnend ist eine Beteiligung des Achsenskeletts, wobei alle drei Wirbelsäulenabschnitte betroffen sind, als auch der Sehnenansätze, besonders der unteren Extremitäten (Braun et al. 2011).

Klinisch zeigt sich die Spondylitis ankylosans typischerweise durch Rückenschmerzen, aber auch andere Organsysteme wie Herz, Lunge und Nieren können befallen werden. Die Betroffenen leiden häufig zusätzlich unter Osteopenien oder Osteoporose, sodass es leicht zu pathologischen Wirbelkörperfrakturen kommt.

Durchschnittlich manifestiert sich das Krankheitsbild sowohl bei Männern als auch bei Frauen um das 26. Lebensjahr. Während bei Männern zu einem früheren Zeitpunkt radiologische Veränderungen an der Wirbelsäule nachweisbar sind, ist bei Frauen die Schmerzsymptomatik ausgeprägter (Braun et al. 2011).

Die Therapie der Spondylitis ankylosans besteht vor allem in einer Bewegungstherapie sowie einer medikamentösen Behandlung mit nicht-steroidalen Antiphlogistika und TNF-Blockern (Braun et al. 2011). Im Falle pathologischer Frakturen ist jedoch eine Stabilisierungsoperation indiziert (Braun et al. 2011). Aufgrund der degenerativen Veränderungen können bereits Bagatelltraumen wie beispielsweise Stürze aus geringer Höhe zu schwerwiegenden Verletzungen wie Wirbelfrakturen mit neurologischen Defiziten führen, wobei der zerviko-thorakale Übergang (C6-Th2) am häufigsten betroffen ist (Altenbernd et al. 2009).

Bei der rheumatoiden Arthritis verursachen Entzündungsprozesse in den Synovialmembranen Erosionen der Gelenkknorpel und des subchondralen Knochens und führen auf diese Art und Weise zu schmerzhaften Gelenkzerstörungen. Im Bereich der Wirbelsäule resultieren daraus Instabilitäten, die erhebliche neurologische Defizite bis hin zum plötzlichen Tod bedingen können (Wolfs et al. 2009).

Erschwerend kommt hinzu, dass infolge der häufig über Jahre durchgeführten Kortisontherapie oftmals eine sekundäre Osteoporose vorliegt, die die Entstehung pathologischer Frakturen begünstigt.

Der optimale Zeitpunkt eines chirurgischen Eingriffs wird kontrovers diskutiert. Wolfs et al. stellten in einer Literaturübersicht fest, dass in der klinischen Verlaufskontrolle bei Patienten, die bereits neurologische Symptome aufwiesen und einer Operation unterzogen wurden, bessere Ergebnisse erzielt werden konnten als bei Patienten, an denen ein konservativer Therapieansatz verfolgt wurde.

Zu den anerkannten Indikationen für ein operatives Vorgehen zählen das Vorhandensein neurologischer Defizite, atlantoaxiale Subluxationen sowie eine radiologische Signalsteigerung im MRT (T2 Sequenzen) im Sinne einer Myelopathie (Wolfs et al. 2009).

Eine weitere Pathologie der HWS, die degenerativ, aber auch dysplastisch oder traumatisch bedingt sein kann, ist die sogenannte Spondylolisthese, das Gleiten eines Wirbelkörpers über den nächst kaudal gelegenen nach ventral. Die gebräuchlichste Einteilung des Schweregrads erfolgt nach Meyerding in vier Grade, wobei Grad IV fast nur lumbal auftritt und auch als Spondyloptose bezeichnet wird. Bei Meyerding-Grad I beträgt der Versatz der Wirbelkörper zueinander weniger als 25%, bei Grad II 25-50%, bei Grad III 50-75% und bei Grad IV mehr als 75%

(Meyerding 1932). Haben die Wirbelkörper vollständig den Kontakt zueinander verloren, spricht man von einer sogenannten Spondyloptose. Sie ist eine Sonderform der Spondylolisthese, die auch als Meyerding-Grad V bezeichnet wird und ausschließlich am lumbosakralen Übergang auftritt (Klöckner et al. 2001).

Eine weitere Einteilung erfolgte durch Dean et al., die zwei Typen der degenerativen Spondylolisthese unterscheiden. Bei dem häufiger vorkommenden Typ I tritt das Wirbelgleiten in einem Segment auf, das benachbart zu einem relativ schwer beweglichen Wirbelsäulenabschnitt liegt. Typ II hingegen kommt in spondylotisch veränderten Segmenten vor (Dean et al. 2009).

Auch Kawasaki et al. entwickelten eine Einteilung, die die Spondylolisthese nach ihrem Schweregrad unterschied. Eine schwere Spondylolisthese liegt demnach bei einer radiologisch nachweisbaren horizontalen Verschiebung von min. 3,5 mm vor, eine mäßige Spondylolisthese bei 2 mm-3,4 mm und eine milde Spondylolisthese bei weniger als 2 mm (Kawasaki et al. 2007).

Im Bereich der Halswirbelsäule sind am häufigsten die Wirbelsegmente HW3/4 und HW4/5 betroffen. Jiang et al. konnten als Leitsymptom Schmerzen in der Nacken- bzw. Okzipitalregion (51% der betroffenen Patienten) feststellen, sowie eine häufige Assoziation (63,7%) mit einer Myelopathie oder einer Radikulopathie (Jiang et al. 2011).

Eine operative Therapie einer radiologisch nachgewiesenen Spondylolisthese wird generell beim Vorliegen einer Instabilität und/oder einer Kompression des Rückenmarks oder einer Nervenwurzel mit neurologischem Defizit, bzw. bei therapieresistenten Schmerzsyndromen empfohlen (Jiang et al. 2011).

1.4 Fragestellung

In der vorliegenden retrospektiven Studie erfolgte die Datenerhebung von 96 Patienten, bei denen im Zeitraum von 2006 bis 2011 eine dorsale Spondylodese der Halswirbelsäule durchgeführt wurde, mit dem Ziel, den postoperativen klinischen Verlauf der Patienten evaluieren zu können. Zu diesem Zweck erfolgten die Auswertung der Krankenakten und der prä- und postoperativen Röntgen- und Computertomographieaufnahmen, die Erhebung des Nurick-Grades sowie die Befragung der Patienten mit einem standardisiertem Fragebogen, dem Neck Pain and Disability Index, als auch einem speziell von uns entworfenem Fragebogen. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in dem Abschnitt „Patienten und Methoden“ ab Seite 29.

In vielen Bereichen der Wirbelsäulen Chirurgie und speziell bezüglich Instrumentierungen der Halswirbelsäule von dorsal konnten bislang aufgrund kleiner Patientenkollektive, kurzer Beobachtungszeiträume und variierender Methoden, die die Vergleichbarkeit der Studien miteinander erschweren, keine allgemeingültigen Therapiestandards entwickelt werden. Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, den langfristigen Erfolg der dorsalen Spondylodese bezüglich des neurologischen Verlaufs nach der Operation, der Stabilität des Operationsergebnisses und der Patientenzufriedenheit, gemessen an subjektiven Beschwerden wie Nuchalgien, Brachialgien, Paresen und Sensibilitätsstörungen und deren Auswirkungen auf den Alltag, einschätzen zu können und diese Ergebnisse mit bereits vorhandenen Daten und Studien zu vergleichen.

Einen Schwerpunkt der Arbeit stellt dabei der Verlauf von Patienten mit einer Myelopathie dar. Die Pathogenese dieses Krankheitsbildes ist noch nicht vollständig geklärt und die Behandlungsansätze werden kontrovers diskutiert. Dabei wurde erhoben, welche Inzidenz die Myelopathie bezogen auf die vier Grunderkrankungen hatte und ob eine postoperative Besserung der Myelopathie zu verzeichnen war.

2. Patienten und Methoden

2.1 Patientenkollektiv und Studiendurchführung

Die Studie umfasst alle Patienten, bei denen in den Jahren 2006-2011 eine dorsale Spondylodese in der Klinik für Neurochirurgie der Universitätsklinik Göttingen durchgeführt wurde. Dabei handelt es sich um 96 Patienten im Alter von 15 bis 89 Jahren (Altersmedian 65,2 Jahre, ST 17,2). 61 Patienten (64%) waren männlich und 35 Patienten (36%) weiblich.

Von allen Patienten wurden anhand der Krankenakten und den CT- und MRT-Aufnahmen Daten zum prä-, peri- und frühpostoperativen Verlauf erhoben. Dokumentiert wurden dabei der neurologische Status, die Operationsindikation, die Anzahl der operierten Wirbelsegmente, die Schmerzmedikation, die Aufenthaltsdauer in der Klinik sowie das Auftreten von Komplikationen. Der klinische Langzeitverlauf konnte teils ebenfalls anhand der Krankenakten, aber auch mittels von den Patienten ausgefüllter Fragebögen verfolgt werden. In den Fragebögen wurde allerdings darüber hinaus auch nochmals auf die präoperative Situation eingegangen.

Bei den grundlegenden Pathologien, die den Eingriff notwendig machten, waren mit abnehmender Häufigkeit Degenerationen (31,3%), Traumen (30,2%), Infektionen (16,7%) sowie Neoplasien (13,5%). Darüber hinaus wurden Patienten mit einbezogen, bei denen bereits eine Stabilisierung der Wirbelsäule vorgenommen wurde und es sich jetzt um eine Revision der Operation handelte (8,3%). Ursachen hierfür waren entweder ein Versagen des Osteosynthesematerials durch Lockerung oder eine sekundär eingetretene Wirbelsäulenfehlstellung, hauptsächlich eine Kyphosierung.

Eine weitere Unterteilung der Patienten ergab sich anhand der Anzahl der operierten Wirbelsegmente, wobei zwischen sowohl einer monosegmentalen (34,4%) und einer bisegmentalen Operation (25,0%) als auch einer Operation über drei und mehr Segmente (40,6%) unterschieden wurde. Gleichermaßen wurde untersucht, ob bei den Patienten eine Laminektomie durchgeführt wurde und ob zusätzlich zur dorsalen Spondylodese eine Stabilisierung von ventral, eine sogenannte 360°-Fusion, stattgefunden hat.

Anhand postoperativer CTs der HWS wurde das Spondylodesematerial beurteilt und entschieden, ob es sich um eine korrekte Lage handelt.

Bezüglich des neurologischen Status wurden jeweils prä- und postoperativ Sensibilitätsstörungen, Paresen und das Vorhandensein einer klinischen Myelopathie berücksichtigt. Die postoperative Verlaufskontrolle erfolgte dreifach: Zum Zeitpunkt der Entlassung, die in der Regel 10 Tage postoperativ erfolgte, nach drei Monaten und nach sechs Monaten. Die 3-Monate-Nachuntersuchung fand im Median 72,5 Tage nach der Operation statt und wurde bei 57% der Patienten durchgeführt. Der Termin für die 6-Monate-Nachuntersuchung, die noch 30% der Patienten erfasst, lag zwischen 116 und 517 Tagen mit einem Median von 207 Tagen. Knapp 20% der Patienten nahmen zusätzlich eine letzte Nachuntersuchung wahr, die im Median 390 Tage postoperativ stattfand.

Wie bereits erwähnt, erhielten die Patienten außerdem Fragebögen, die der Evaluierung des Langzeitverlaufs dienten. Es handelte sich dabei um zwei Fragebögen: Zum einen wurden die Patienten gebeten, die Fragen für den Neck Pain and Disability Index (NPAD, siehe Anhang) zu beantworten. Dies ist ein Fragebogen, der entwickelt wurde, um die Intensität der Nackenschmerzen quantifizieren zu können sowie die damit verbundenen Auswirkungen auf den Alltag und das alltägliche Leben einschätzen zu können (Wheeler et al. 1999). Dabei wird mittels zwanzig Fragen ergründet, ob die Nackenschmerzen auf Bereiche wie zum Beispiel die Konzentration bei kognitiven Aufgaben, die Fähigkeit zu arbeiten, Schlaf, Körperpflege, die Fähigkeit sich zu erholen oder persönliche Beziehungen Einfluss haben. Bei jeder Frage stuft der Patient seine Beschwerden auf einer Visuellen Analogskala (VAS) zwischen 0 und 5 Punkten ein, wobei 0 keine Einschränkung und 5 die höchste Einschränkung bedeuten. Bei einer Höchstpunktzahl von 100 gilt, je höher die erreichte Punktzahl ist, desto schwerwiegender sind die Einschränkungen aufgrund der Nackenschmerzen einzustufen. Beantwortet ein Patient die Fragen nicht vollständig, so lässt sich der Grad der Behinderung auch prozentual ausdrücken.

Der NPAD wurde 1999 von Wheeler et al. entwickelt und stellt eine Weiterentwicklung des Neck Disability Index (NDI). Er gilt als gut reproduzierbar und ist für den Patienten leicht zu beantworten sowie für den Untersucher schnell auszuwerten (Wheeler et al. 1999). Die von

uns verwendete deutsche Version des NPAD existiert seit 2008 und weist ebenso wie die Originalversion eine hohe Validität und Reliabilität auf (Blozik et al. 2009, Scherer et al. 2008). Der zweite Fragebogen (siehe Anhang) wurde von uns erstellt und beinhaltet acht Fragen mit Unterpunkten, die sich auf Parameter beziehen, die auch in den klinischen Untersuchungen erhoben wurden. Dazu zählen Fragen zur Schmerzsymptomatik, zu der Fähigkeit Sport zu treiben und zu Arbeiten als auch Fragen zu noch vorhandenen Empfindungsstörungen und Kraftminderungen und zur Einschätzung der Lebensqualität. Bezüglich der Schmerzsituation wurden die Patienten einerseits gebeten ihre Schmerzen auf einer Skala von 1 bis 10 einzuschätzen und anzugeben, wo sie Schmerzen haben, andererseits wurde erfragt, ob derzeit noch Schmerzmittel eingenommen wurden beziehungsweise seit wann diese abgesetzt wurden. Hinsichtlich der Schmerzmedikation wurde während des Krankenhausaufenthalts vermerkt, ob den Patienten nicht-steroidale Antirheumatika (NSAR) oder Opiate verabreicht wurden und wenn ja, wie lange die Einnahmedauer war. Darüber hinaus wurde präoperativ mithilfe der Visuellen Analogskala (VAS) die subjektive Schmerzempfindung der Patienten erfasst. Bei der VAS handelt es sich um eine 100 mm lange horizontale Linie mit einer Beschreibung der extremen Stadien an den Endpunkten, in diesem Fall „keine Schmerzen“ und „unerträgliche Schmerzen“ (Wewers und Lowe 1990). Ergänzt wurden diese Daten anhand der Fragebögen in denen die Patienten gebeten wurden ihre Schmerzen vor und nach der Operation ebenfalls auf einer Skala von 1 bis 10 einzustufen.

Um eine Verbesserung beziehungsweise Verschlechterung der neurologischen Symptomatik zu überprüfen, wurde der Nurick-Grad vor und nach der Operation erhoben. Bei der Nurick-Skala handelt es sich um eines der gängigsten Klassifikationssysteme für Patienten mit zervikalen Myelopathien. Es erfolgt eine Einstufung des Patienten mit einem Grad von 0 bis V, wobei das Vorhandensein von Wurzelsyndromen, eine Beteiligung des Rückenmarks, Gangunsicherheiten und die Fähigkeit zu Arbeiten berücksichtigt werden. Sowohl bei Grad IV als auch bei Grad V liegt eine Arbeitsunfähigkeit vor. Der Unterschied der beiden Grade besteht darin, dass Patienten mit Grad IV mit Unterstützung noch in der Lage sind zu gehen, während Patienten mit Grad V nicht mehr geh- und stehfähig sind (Nurick 1972).

Kam es bei Patienten nach der Entlassung aus der Klinik zu einer Verbesserung oder Verschlechterung des Nurick-Grads, so wurde dieser zweimal erhoben, einmal zum Zeitpunkt der

Entlassung und einmal zur letzten Untersuchung. Nurick-Grad IV und V wurden von uns unter Grad IV zusammengefasst, da es bei einigen Patienten zum Beispiel aufgrund einer Analgesiedierung auf der Intensivstation nicht möglich war, zu unterscheiden, welcher Score ihnen zugeteilt werden muss. Hinzu kommt, dass die Kohorte die eventuell einen Score von V hätte, sehr klein wäre.

Die Studie wurde von der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen unter der Antragsnummer 19/1/11 genehmigt.

2.2 Operationsmethode

Bei der dorsalen Spondylodese handelt es sich um ein Operationsverfahren an der Wirbelsäule mit dem Ziel, die Stabilität der Wirbelsäule wiederherzustellen. Nach eingehender klinischer Befunderhebung und nach Aufnahme des neurologischen Status wird bei allen Patienten eine präoperative Computertomographie und häufig auch eine MRT-Aufnahme der HWS durchgeführt. Diese dient sowohl der Diagnostik als auch der präoperativen Operationsplanung, denn anhand der CT-Bilder findet die Auswahl der zu implantierenden Schrauben statt und darüber hinaus lassen sich mit der Verwendung von Kontrastmitteln anatomische Verhältnisse wie zum Beispiel der Verlauf der A. vertebralis beurteilen.

Die Operation erfolgt in Allgemeinanästhesie in sitzender Position, wobei der Kopf mittels einer Mayfield-Klemme fixiert wird und der Hautschnitt sich in der Mittellinie befindet. Ist eine Reposition der betroffenen Wirbel notwendig, geschieht dies entweder geschlossen unter Röntgenkontrolle oder offen wenn der Zugang bereits besteht. Nach subperiostaler Darstellung der zu instrumentierenden Wirbel und Eröffnung der Kortikalis im Bereich des Schraubeneintrittspunktes wird über ein Trokarsystems eine Bohrung von 2 mm Durchmesser mittels einer Diamantkugel durchgeführt. Im Anschluss wird eine Bohrhülse angebracht durch die hindurch die Bohrung für die Schraube erfolgt, wobei die Länge der Bohrung und somit die Schraubenlänge an der Bohrhülse eingestellt wird. Diese Bohrung findet zur Orientierung des Winkels und der Schraubenlage unter seitlicher Röntgenkontrolle statt und wird mit einer

pneumatischen Pistole durchgeführt. An dieser Stelle ist auch die vorherige Beurteilung spezieller anatomischer Verhältnisse anhand der CT-Aufnahmen von entscheidender Bedeutung.

Bei dem verwendeten Schrauben-Stab-System handelt es sich um das Neon[®] Implantatsystem von Ulrich Medizintechnik (Ulrich GmbH & Co. KG, Ulm). Es bietet im Vergleich zu früher zur Stabilisierung angewandten Drähten oder Platten-Schrauben-Systemen eine bessere biomechanische Stabilität und ist mit geringerer Invasivität anwendbar (Richter 2003). Die Schrauben sind in verschiedenen Längen erhältlich und werden über Stäbe miteinander verbunden. Verglichen mit anderen Implantatsystemen besitzen diese Stäbe mit 4,5 mm einen größeren Durchmesser, der ihnen eine höhere Biegefestigkeit verleiht. Darüber hinaus verfügt das Implantatsystem über verschiedene Schrauben-Stab-Verbinder, die insbesondere dann zum Einsatz kommen, wenn sowohl Pedikel- als auch Massa-lateralis-Schrauben verwendet werden, sowie Spacer, mit denen Höhenunterschiede zwischen den Schrauben und dem Stab ausgeglichen werden können. Hierdurch wird die Notwendigkeit der Stabbiegung verringert. Auch polyaxiale Verbinder, die in unterschiedlichen Längen erhältlich sind, tragen zur Reduktion der notwendigen Stabbiegung bei, denn sie können eine Winkelung zwischen Schraube und Stab von bis zu 16° in jeder Richtung ausgleichen.

Im Bereich HW3-7 können Massa lateralis-Schrauben mit in der Regel einem Durchmesser von 3,5 mm implantiert werden und für HW2 können Isthmusschrauben desselben Durchmessers verwendet werden. Seit einiger Zeit wird auch die Anwendung von Pedikelschrauben zur Stabilisierung der Halswirbelsäule empfohlen, da diese verglichen mit Massa lateralis-Schrauben eine höhere biomechanische Stabilität und eine höhere Ausreißkraft aufweisen. Dabei werden in der zervikalen Wirbelsäule meist 4,0-mm-Pedikelschrauben und in der hochthorakalen Wirbelsäule 5,0-mm-Schrauben eingebracht.

Das Standardverfahren für den Bereich HW1/2 ist zum einen die transartikuläre Verschraubung nach Magerl (Grob und Magerl 1987), wobei die Schrauben in der Mitte zwischen der kranialen und kaudalen Gelenkfacette eingedreht werden, als auch die HW1/HW2-Verschraubung nach Harms (Harms und Melcher 2001). In 15-20% der Fälle ist eine derartige Verschraubung jedoch aufgrund eines variablen Verlaufs der A. vertebralis nicht möglich. Manchmal kann die Operation dennoch durch die Wahl einer kürzeren Schraube, die die A. vertebralis

nicht erreicht, durchgeführt werden. Ist auch dies nicht durchführbar, können in solchen Fällen alternativ Laminahaken verwendet werden.

Sollte eine transartikuläre Verschraubung nicht durchführbar sein, können alternativ Massa lateralis-Schrauben in die Massa lateralis des 1. Halswirbels und Isthmusschrauben in HW2 appliziert werden. Isthmusschrauben werden wie bei der transartikulären Verschraubung eingebracht, haben aber mit 14-22 mm eine geringere Länge.

Auch im zervikalen subaxialen Bereich gilt die dorsale Massa lateralis-Instrumentierung nach Magerl als Standardverfahren, obwohl inzwischen Pedikelschrauben wegen ihrer bereits erwähnten höheren biomechanischen Stabilität alternativ verwendet werden. Jedoch sind Pedikelschrauben schwieriger in der Anwendung und mit einer höheren Komplikationsrate verbunden.

Bei der Operationstechnik nach Magerl im Bereich HW3-7 werden die im Durchschnitt 12-16 mm langen Schrauben 1-2 mm medial und oberhalb der Mitte der Massa lateralis, parallel zum Gelenkspalt und um 20-30° lateral divergierend appliziert.

Wird in diesem Abschnitt der Wirbelsäule eine Instrumentierung mit Pedikelschrauben durchgeführt, so erhöht sich zwar die Stabilität, doch gleichzeitig steigt das Risiko der Schädigung von Nerven und Gefäßen. Der Eintrittspunkt der Schrauben liegt lateral und kranial des Zentrums der Massa lateralis und sie werden in der Regel mit einer Konvergenz von 40-50° eingebracht.

Nach der Schraubenanlage wird die Stablänge vermessen, und der ausgewählte Stab wird mit einer Biegezange der sagittalen Kontur der Wirbelsäule angepasst. Bei Massa-lateralis-Schrauben kann der Stab medial oder lateral der Schrauben befestigt werden. Bei Pedikelschrauben hingegen empfiehlt sich in der Regel eine Befestigung medial der Schrauben, da ihr Eintrittspunkt wesentlich weiter lateral liegt. Über Verbinder wird der Stab dann auf vorher eingeschraubten Montagestiften mit Muttern befestigt, wodurch eine stabile Verbindung geschaffen wird. Während die Muttern aufgeschraubt werden, muss durch Festhalten des Stabes mit einer Stabfazzange ein Ausreißen der Schrauben unbedingt vermieden werden. Die überstehenden Montagestifte werden mittels eines Abtrenninstruments beseitigt.

Um eine höhere Primärstabilität zu erzielen, können obendrein Querstäbe angebracht werden. Ein derartiges Vorgehen empfiehlt sich im Bereich des zervikothorakalen Übergangs.

Nach Abschluss der Operation wird die Wunde mit einem schichtweisen Wundverschluss, einer tiefen Redon-Drainage, die dem Absaugen des Wundsekrets dient, und einem sterilem Wundverband versorgt. Außerdem findet direkt postoperativ eine röntgenologische Kontrolle der Schraubenlage statt.

2.2.1 Komplikationen

Zu den Komplikationen, die bei der Operation auftreten können, zählen die iatrogene Schädigung von Teilen des zentralen Nervensystems. So kann es aufgrund einer Schraubenfehlplatzierung zu einer Verletzung der Nervenwurzel oder des Myelons kommen. Am gefährdetsten sind dabei die Hinterwurzeln sowie der Ramus dorsalis. Sollte es zu einer Schädigung der Dura kommen, so ist eine Deckung des Lecks indiziert. Wird die Dura nach einer solchen Operation nicht suffizient verschlossen, so kann es passieren, dass Liquor über den operativen Zugang austritt und sich im weiteren Verlauf ein Fistelgang bildet. Sollte bei der postoperativen Inspektion der Wunde der Austritt einer wässrigen Flüssigkeit festgestellt werden, kann über den β_2 -Transferrin-Nachweis ermittelt werden, ob es sich um Liquorflüssigkeit handelt. Ist dies der Fall, sind aufgrund des hohen Infektionsrisikos unmittelbar Vorkehrungen zu treffen, um den Liquoraustritt zu verhindern. Zu erwägende Maßnahmen sind dabei das Übernähen der Wunde oder auch eine operative Wundrevision, bei der ein Duraverschluss durchgeführt wird.

Eine weitere mögliche Komplikation ist die Verletzung der Arteria vertebralis. In der Regel lässt sich durch das Einbringen der Schrauben eine suffiziente Blutstillung erzielen, anderenfalls muss die Arterie dargestellt und anschließend ligiert oder koaguliert werden, um so die Blutung zu stoppen. Im Bereich HW1/2 ist eine Darstellung der Arterie allerdings sehr anspruchsvoll, deshalb sollte ein irregulärer Verlauf der Arterie (*high riding artery*) möglichst präoperativ anhand einer CT-Angiographie ausgeschlossen werden.

Darüber hinaus gibt es das Implantat betreffende Komplikationen wie ein Implantatversagen oder eine Fehllage des Implantats. Unter einem Versagen des Implantats versteht man eine

Implantatlockerung, einen Bruch oder auch eine Dislokation. Die Ursachen für derartige Komplikation sind vielfältig, jedoch spielen die biologischen Voraussetzungen des Patienten auf der einen Seite und eine gute präoperative Planung sowie die Erfahrung und Kenntnisse des Operateurs auf der anderen Seite eine entscheidende Rolle. So sollte beispielsweise bei einer schlechten Knochenqualität entweder eine Augmentation des Schraubenlagers durchgeführt werden oder der zu instrumentierende Bereich sollte ausgeweitet werden.

Zu einem Implantatbruch kann es kommen, wenn das Implantat den mechanischen Ansprüchen nicht gerecht wird und eine Überlastung vorliegt. Auch bei dieser Problematik sind die Kenntnisse des Operateurs entscheidend, da sich ein Implantatbruch durch die Auswahl eines entsprechenden Implantats, das allen Anforderungen entspricht, vermeiden lässt.

Bei nicht ganz frischen Luxationen, kann sich eine Wiederherstellung des Alignements schwierig gestalten. Infolgedessen können auftretende Scherkräfte eine Schraubendislokation oder einen Korrekturverlust nach sich ziehen.

Eine eventuelle Schraubenfehlage sollte unmittelbar postoperativ mittels eines CTs diagnostiziert beziehungsweise ausgeschlossen werden. Liegt eine Schraubenfehlage vor, so muss entschieden werden, ob es sich um eine klinisch relevante Fehllage handelt, die eine Reoperation notwendig macht.

Eine weitere erwähnenswerte Schwierigkeit, die postoperativ durch eine Infektion im Bereich des Zugangs auftreten kann, ist die Wundheilungsstörung. Zu unterscheiden sind hierbei oberflächliche Wundheilungsstörungen, die konservativ behandelt werden können und bei denen eine sekundäre Wundheilung abgewartet werden kann, von tieferen Wundheilungsstörungen, die revisionspflichtig sind. Die Revision der Wunde umfasst ein möglichst frühes und konsequentes Debridement mit anschließender Spülung und gegebenenfalls der Anlage eines Vakuumverbandes. Dieser erzeugt einen Unterdruck, wodurch überschüssiges Wundsekret abgesaugt und die Blutzirkulation verbessert wird. Zeitgleich sollte eine spezifische Antibiotikatherapie eingeleitet werden und sofern es aufgrund der Infektion zu einem Stabilitätsverlust gekommen ist, so gilt es, diese Stabilität wieder herzustellen.

Eine selten auftretende Komplikation stellt das Epiduralhämatom dar, deren Inzidenz in der Literatur mit 0-1% angegeben wird (Glantz et al. 2010). Bei größeren oder länger dauernden Eingriffen wird in der Regel eine perioperative Antikoagulation zur Thromboseembolieprophylaxe durchgeführt. Es gibt Hinweise darauf, dass diese Chemoprophylaxe die Ausbildung eines Epiduralhämatoms begünstigt, jedoch konnte dies bislang nicht belegt werden.

2.3 Biometrie

Zur Beschreibung der Ergebnisse dieser retrospektiven, deskriptiv projizierten Studie wurden folgende Tests verwendet:

Zur Beschreibung der Abhängigkeit zwischen zwei klassifizierten Variablen wurde im Allgemeinen der Chi-Quadrat-Test nach der Maximum-Likelihood-Methode berechnet. Bei zu geringer Feldbesetzung, wenn also die Erwartungswerte zu gering waren, wurde bei einer 4-Felder-Tafel der exakte Test nach Fisher und Yates berechnet und bei größeren Tabellen der exakte Test nach Mehta und Patel.

Mit dem U-Test nach Mann und Whitney wurde ein Messwert zwischen zwei Gruppen verglichen, wenn keine Gaußsche Normalverteilung der Messwerte angenommen werden konnte. Bei geringen Fallzahlen (unter 20 Patienten) wurde anstelle des gewöhnlichen, approximativen U-Tests der exakte U-Test verwendet.

Die einfaktorielle Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis ersetzte den U-Test, wenn drei oder mehr Gruppen verglichen wurden.

Der Unterschied zwischen zwei Werten, die beim gleichen Patienten erhoben wurden, wurde mit dem Wilcoxon „matched pairs“ Test verglichen. Falls viele Rangbindungen, das heißt viele gleiche Werte, vorlagen, wurde der Vorzeichentest (sogenannter *sign test*) verwendet.

Die Kendallsche Rangkorrelation beschreibt die Abhängigkeit zweier Messungen. Die Werte müssen mindestens eine Rangreihenfolge wie beispielsweise Schweregrade haben. Bei Werten ohne vorgegebene Reihenfolge wie zum Beispiel Diagnosen ist es nicht möglich eine Korrelation herzustellen. Darüber hinaus setzt die Kendallsche Rangkorrelation keine Gaußsche

Normalverteilung voraus und erlaubt Rangbindungen (viele gleiche Werte). Korrelationen haben als Ergebnis zwei Zahlen, zum einen den Korrelationskoeffizienten τ , eine Zahl zwischen -1 und $+1$, und zum anderen den p-Wert. $\tau = +1$ bedeutet eine ideale Korrelation, $\tau = -1$ ist eine ideale gegensinnige Korrelation. Je näher der Korrelationskoeffizient an 1 oder -1 ist, desto enger ist die Abhängigkeit der beiden Messungen, während $\tau = 0$ besagt, dass keinerlei Abhängigkeit besteht. Wenn der Korrelationskoeffizient negativ ist, dann handelt es sich um eine gegensinnige Abhängigkeit. Der zweite Wert bei einer Korrelation, der p-Wert, besagt, ob überhaupt eine Beziehung vorhanden ist und ob sich der Koeffizient signifikant von Null unterscheidet. Je mehr Patienten im Test sind, desto kleiner darf der Koeffizient sein, um noch signifikant zu sein.

Ein Konfidenzintervall wird berechnet, um die Güte eines Schätzwertes zu beurteilen. Der aus der vorhandenen Stichprobe ermittelte Schätzwert repräsentiert vermutlich nicht den tatsächlichen Wert der Grundgesamtheit, und es ist kaum zu erwarten, dass er damit exakt übereinstimmt. Man darf aber vermuten, dass der wahre Wert in der näheren Umgebung des Schätzwertes liegt. Durch ein Konfidenzintervall (CI oder Vertrauensbereich) wird dieser unscharfe Ausdruck „nähere Umgebung“ präzisiert, da er einen Hinweis auf die Genauigkeit des errechneten Ergebnisses liefert und macht. Ein 95%-Konfidenzintervall gibt den Bereich an, der mit 95%-iger Wahrscheinlichkeit den ermittelten Parameter überdeckt.

Zur Überprüfung auf eine Gaußsche Normalverteilung wurde die Probitdarstellung mit den Grenzen nach Lillefors verwendet.

Um die Testergebnisse quantitativ vergleichen zu können, wurden p-Werte berechnet. Ein p-Wert unter $0,05$ wird als signifikant bezeichnet, und das Ergebnis wird als wesentlich interpretiert. Die p-Werte werden mit Stern-Symbolen gekennzeichnet:

$p < 0,05$ mit *, $p < 0,01$ mit ** und $p < 0,001$ mit *** .

Die p-Werte in deskriptiven Arbeiten stellen keine Irrtumswahrscheinlichkeiten dar, da es sich dann nicht um eine geplante prospektive Studie mit einer zu beweisenden Hypothese handelt, sondern sie dienen zur Beurteilung und zum Vergleich der verschiedenen Testergebnisse.

Die Bezeichnung „signifikant“ wird im statistischen Kontext reserviert, um Testergebnisse mit p-Werten unter 0.05 zu beschreiben, und nicht im weiteren bürgerlichen Sinn gebraucht (Haubitz 1995).

3. Ergebnisse

3.1 Alter und Geschlechtsverteilung

Die Studie beschreibt 96 Patienten im Alter von 15 bis 89 Jahren, von denen 61 Patienten (64%) männlich und 35 (36%) weiblich waren. Das mittlere Alter betrug 61,0+17,2 Jahre und der Altersmedian lag bei 65,2 Jahren (68%-CI von 42,1 bis 77,8 Jahren).

Bis zu einem Alter von 79 Jahren mussten hauptsächlich Männer operiert werden, während im höheren Alter (über 80 Jahre) der Anteil der Frauen überwiegt (Abbildung 1).

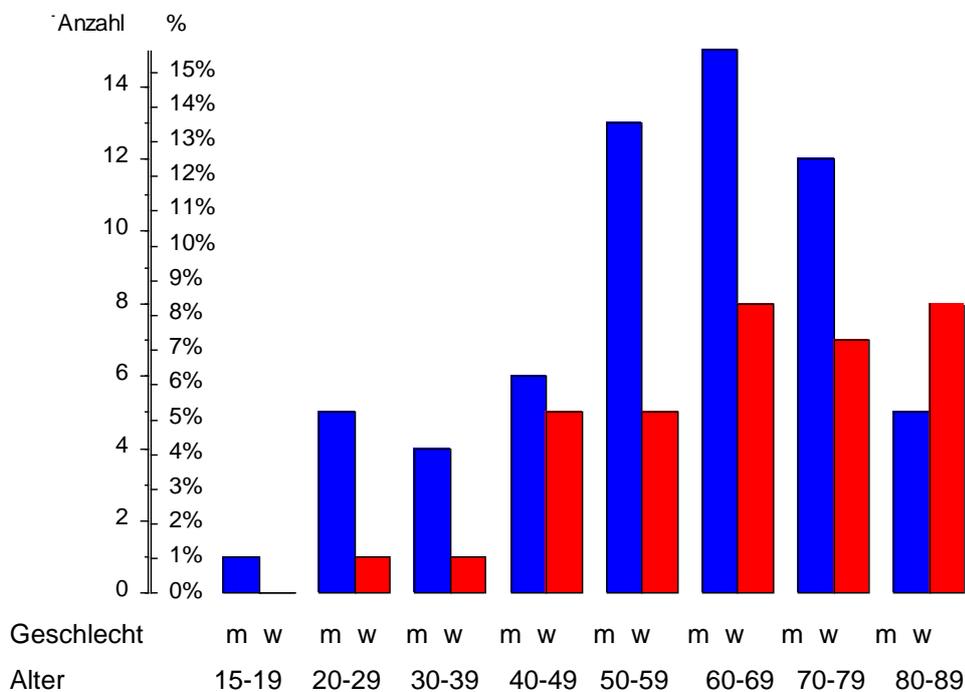


Abbildung 1. Alter der Patienten, unterteilt nach Geschlecht. Die Säulen stellen Anzahl und Prozentsatz der Patienten dar, n = 96

3.2 Grundlegende Pathologien

Der Eingriff erfolgte bei 16 Patienten (16,7%) aufgrund einer Spondylodiszitis und bei 13 Patienten (13,5%) aufgrund von Neoplasien. Eine häufigere Operationsindikation stellten Degenerationen und Traumen dar. Degenerative Veränderungen lagen bei 30 Patienten (31,3%) vor und bei 29 Patienten (30,2%) wurde im Voraus ein Trauma diagnostiziert. Bei nur 8 Patienten (8,3%) handelte es sich um eine Revisionsoperation, allerdings wurden diese signifikant häufiger bei den weiblichen Patienten (7 Patienten durchgeführt ($p=0,003$)). Das durchschnittliche Alter der Patienten, die einer Revisionsoperation unterzogen wurden, war mit einem MW von 75,5 (ST 14,2) signifikant höher als das Durchschnittsalter der übrigen Patienten (MW 59,7; ST 17,0; $p=0,004$ aus dem U-Test nach Mann und Whitney). Auf mögliche Gründe für diese Abweichung wird in der Diskussion noch genauer eingegangen.

3.3 Präoperative klinische Myelopathie

43 Patienten (46,7%), davon 28 Männer und 15 Frauen, wiesen eine präoperative klinische Myelopathie auf, die sich bei 34 Patienten im MRT bestätigte.

Bezogen auf die Grunderkrankung wurden 22 der 43 Patienten (51,2%) aufgrund von degenerativen Veränderungen behandelt, jeweils 8 Patienten (je 18,6%) befanden sich wegen einer Spondylodiszitis oder eines Traumas in Behandlung, bei 3 Patienten (7%) erfolgte die Operation aufgrund neoplastischer Erkrankungen und bei 2 Patienten (4,7%) wurde eine Revisionsoperation durchgeführt.

3.4 Präoperativer Neurostatus

Bei 91 Patienten konnte präoperativ erfasst werden, ob Sensibilitätsstörungen wie beispielsweise eine Hyp- oder Dysästhesie vorlagen. Dabei wiesen 41 Patienten (45,1%) ein sensibles Defizit auf. Auffällig war das Sensibilitätsstörungen signifikant häufiger bei männlichen Patienten (31 Patienten) auftraten ($p=0,019$ aus dem Chi-Quadrat-Test).

Präoperative Paresen wurden bei 43 von 92 Patienten diagnostiziert (46,7%). Die noch vorhandene Muskelkraft wurde durch die Kraftgrade von 0 bis 5 beschrieben, wobei 0 keine Muskelkontraktion und 5 normale Kraft bedeutet (Janda 1993). Von den 43 Patienten, die eine Parese aufwiesen, handelte es sich um 27 Männer und 15 Frauen.

Eine präoperative Querschnittssymptomatik konnte bei 29 Patienten (31,5%), davon 19 Männer, festgestellt werden.

3.5 Präoperative Schmerzanalyse mittels Visueller Analogskala

Da der VAS nicht routinemäßig bei allen Patienten erhoben wurde, konnte der Score präoperativ nur bei 37 der 96 Patienten festgestellt werden und lag im Mittel bei 4,8 (Abbildung 2). Es stellte sich heraus, dass er bei den männlichen Patienten mit $5,6 \pm 2,8$ höher war als bei den Patientinnen mit $3,2 \pm 3,5$ ($p=0,045$ aus dem U-Test nach Mann und Whitney), eine Altersabhängigkeit hingegen ließ sich nicht erkennen.

Insgesamt wurden präoperativ bei 71 von 91 Patienten Schmerzen festgestellt (78%).

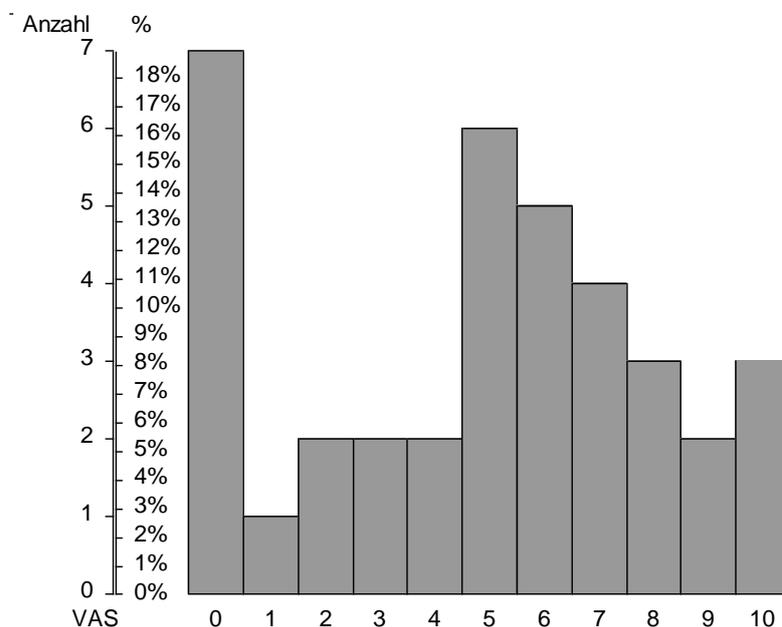


Abbildung 2. VAS von 37 der 96 Patienten. Die Säulen stellen Anzahl und Prozentsatz der Patienten mit dem genannten Skalenwert dar.

3.6 Anzahl der operierten Segmente und operatives Vorgehen

Bei 33 Patienten (34,4%) erfolgte eine monosegmentale Operation, 24 Patienten (25,0%) wurden bisegmental operiert und bei 39 Patienten (40,6%) betraf der Eingriff drei und mehr Segmente.

Die Operationsindikationen gestalteten sich je nach Anzahl der operierten Segmente wie folgt:

Indikation	Segmente						p
	1		2		3 und mehr		
	n	%	n	%	n	%	
Spondylodiszitis	4	25.00%	3	18.75%	9	56.25%	
Tumor	0	0.00%	5	38.46%	8	61.54%	
Degeneration	15	50.00%	8	26.67%	7	23.33%	0.013*
Trauma	12	41.38%	7	24.14%	10	34.48%	
Revision	2	25.00%	1	12.50%	5	62.50%	

Tabelle 1. Operationsindikation und Zahl der Segmente. Anzahl und Prozentsatz der Patienten. Die Prozente beziehen sich auf die Zeile, d.h. auf die Indikation. n = 96 Patienten, p aus dem Chi-Quadrat-Test.

Abbildung 3 zeigt die Verteilung des operativen Vorgehens. Dabei wurden in 88,5% der Fälle (85 Patienten) Massa lateralis-Schrauben verwendet, Pedikelschrauben kamen bei 27 Patienten (28,1%) zum Einsatz und bei 11 Patienten (11,6%) wurden Laminahaken benutzt. Bei 14 Patienten (14,6%), von denen 8 weibliche Patienten waren, handelte es sich dabei um eine kraneo-zervikale Stabilisierung. Eine zusätzliche ventrale Spondylodese wurde bei 25 Patienten (26,6%) durchgeführt.

Eine Laminektomie war bei 46 Patienten notwendig, wobei diese signifikant häufiger (76,1% aller Laminektomien) bei männlichen Patienten vorgenommen wurden ($p=0,0064$ aus dem Chi-Quadrat-Test).

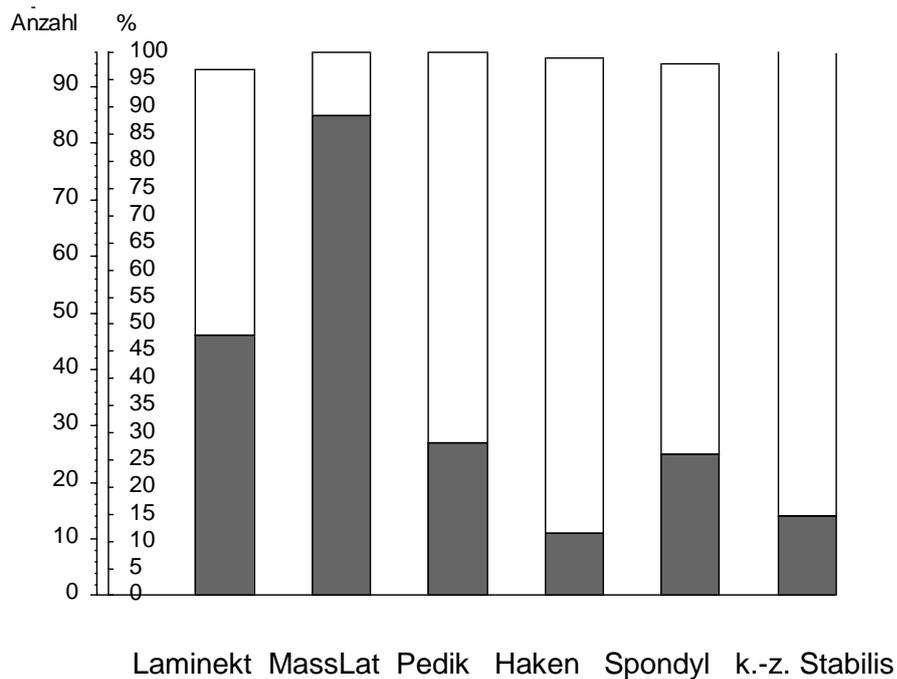


Abbildung 3. Anzahl und Prozentsatz der operativen Vorgehensweise.

Laminekt – Laminektomie, MassLat – Massa lateralis-Schrauben, Pedik – Pedikelschrauben, Haken – Laminahaken, Spondyl – zusätzliche Durchführung einer ventralen Spondylodese, k.-z. Stabilis – kranio-zervikale Stabilisierung

3.7 Zeitpunkt der postoperativen Untersuchungen

Die Ergebnisse einer postoperativen neurologischen Untersuchung zum Zeitpunkt der Entlassung lagen bei 82 Patienten vor. Eine mögliche Ursache für die fehlenden Daten besteht darin, dass einige Patienten im intubierten Zustand direkt von der Intensivstation in eine Rehabilitationsklinik verlegt wurden, wodurch eine Erhebung des Neurostatus von Intensivstationpatienten nicht immer möglich war.

Die 3-Monate-Nachuntersuchung wurde von 55 Patienten wahrgenommen und fand zwischen 41 und 164 Tagen postoperativ statt (Median 72,5 Tage bzw. 2,4 Monate).

An einer zweiten Nachuntersuchung 6 Monate postoperativ nahmen noch 29 Patienten teil. Sie wurde 116 bis 517 Tage nach der Operation durchgeführt mit einem Median von 207 Tagen (entsprechend 6,8 Monate).

Eine letzte Nachuntersuchung wurde noch lediglich bei 19 Patienten 206 bis 1168 Tage (Median 390 Tage bzw. 12,8 Monate) nach der Entlassung dokumentiert (Abbildung 4).

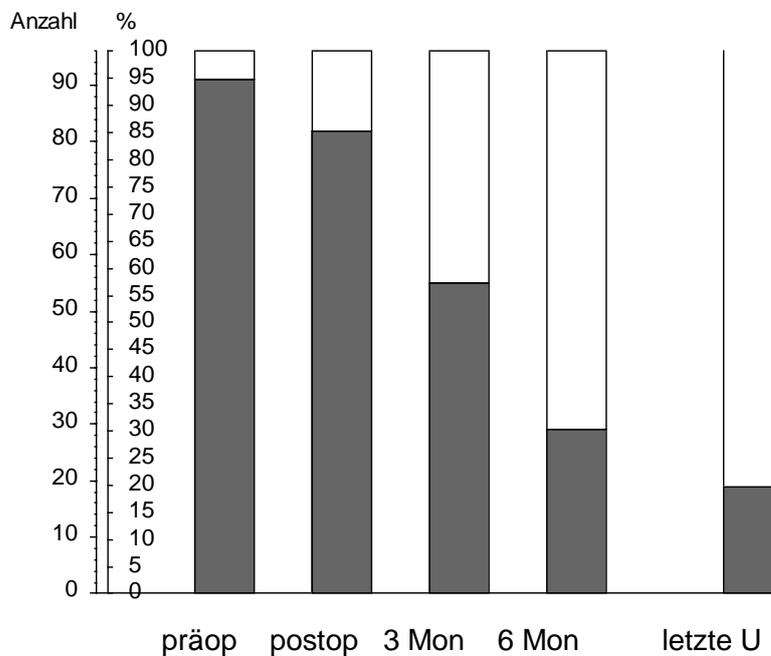


Abbildung 4. Zahl der untersuchten Patienten zu den verschiedenen Terminen. Anzahl und Prozentsatz der n = 96 Patienten.

Präop – präoperative Untersuchung, postop – postoperative Untersuchung, 3 Mon – Untersuchung nach 3 Monaten, 6 Mon – Untersuchung nach 6 Monaten, letzte U – letzte Untersuchung

3.8 Postoperative klinische Myelopathie

Abbildung 5 zeigt den postoperativen Verlauf der klinischen Myelopathie. Bei insgesamt 8 Patienten verbesserte sich der klinische Befund hinsichtlich einer klinischen Myelopathie, 3 Patienten wiesen bereits zum Zeitpunkt der Entlassung keine Anzeichen einer Myelopathie mehr auf, 4 Patienten erholten sich innerhalb der ersten 3 Monate und bei einem weiteren Patienten konnte zum Zeitpunkt seiner letzten Untersuchung, die nach 15 Monaten stattfand, keine Myelopathie mehr festgestellt werden.

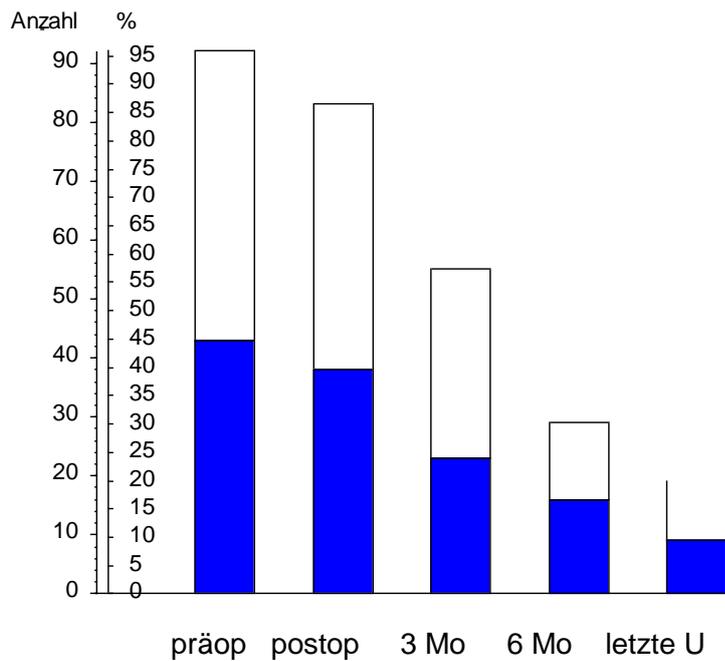


Abbildung 5. Verlauf der Myelopathie. ■ = ja, □ = nein.

3.9 Beurteilung der Myelopathie im Verlauf mittels Nurick-Skala

Anhand der vorliegenden Daten konnte der Nurick-Grad präoperativ bei 93 und postoperativ, zum Zeitpunkt der Entlassung, bei 87 Patienten erhoben werden. Vor der Operation lag der Mittelwert (MW) bei 2,26 (ST 1,58) und besserte sich bis zur Klinikentlassung auf einen MW von 1,92 (ST 1,52). Bei 18 Patienten kam es zwischen der Entlassung und der letzten Untersuchung zu einer weiteren Änderung des Nurick-Grad, sodass der MW sich auf 1,68 (ST 1,45) senkte (Abbildung 6). Es wurde bei keinem Patienten eine Verschlechterung des Nurick-Grad verzeichnet, hingegen konnte der Score bei 18 Patienten bis zur Entlassung verbessert werden und, wie bereits erwähnt, bei weiteren 18 Patienten im weiteren Verlauf.

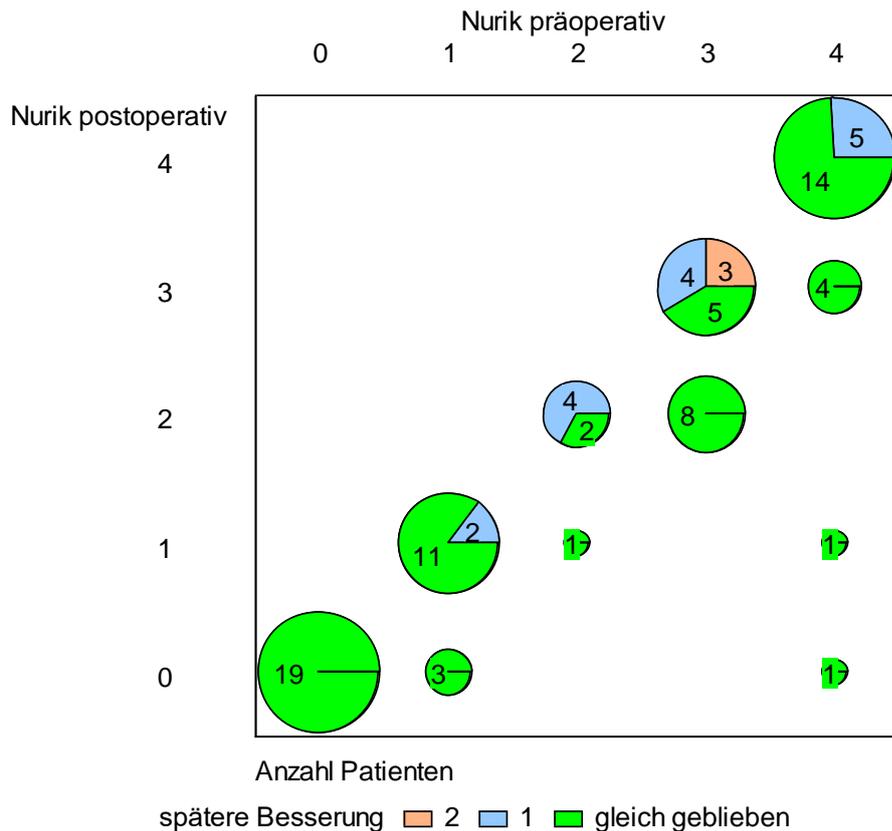


Abbildung 6. Nurick-Grade im Verlauf. Eine spätere Besserung bedeutet die Abnahme des Scores zwischen der Klinikentlassung und der letzter Untersuchung. Die Abnahme betrug 0 bis 2 Score-Punkte.

Alle Kreise unterhalb der Diagonalen beschreiben Patienten, bei denen perioperativ eine Besserung des Scores stattgefunden hat. Die blauen und roten Anteile der Kreise bezeichnen die Patienten, die erst in späteren Untersuchungen eine Besserung aufwiesen. Blau bedeutet eine Besserung des Scores um einen Punkt, während rot eine Besserung um zwei Punkte beschreibt.

Der Nurick-Grad weist sowohl eine Korrelation zum Alter der Patienten auf als auch zu der Anzahl der betroffenen Segmente. Je höher das Alter war, desto höher war auch der präoperative Score ($p=0,056$ in der Kendallschen Rangkorrelation). Je mehr Segmente allerdings operiert wurden, desto stärker sank der Score postoperativ ($p=0,0072$ in der Kendallschen Rangkorrelation).

Darüber hinaus ließ sich ein Zusammenhang zwischen dem präoperativen Grad und der Einnahmedauer von Opiaten verzeichnen. Je höher der Score lag, desto länger war auch die Einnahmedauer ($p=0,065$) und desto stärker nahm der Score postoperativ ab ($p=0,066$ in der Kendallschen Rangkorrelation).

Einen deutlichen Einfluss auf die Höhe des Scores hatten Paresen, eine Querschnittslähmung (jeweils $p<0,0001$) sowie das Vorhandensein einer Myelopathie ($p=0,0028$ aus dem U-Test nach Mann und Whitney).

Bezogen auf die pathologische Diagnose wurden folgende Entwicklungen der Nurick-Grade festgestellt:

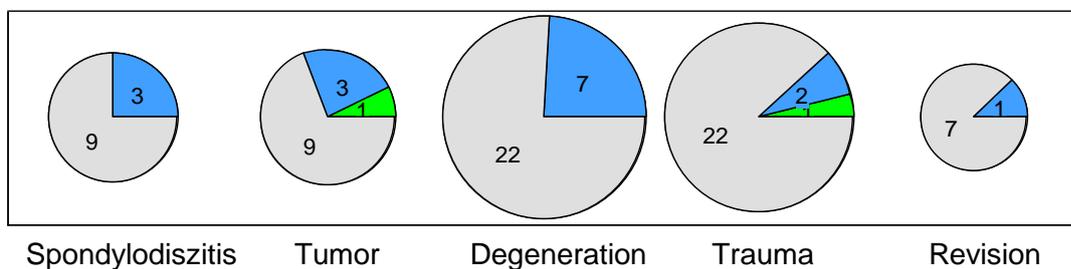


Abbildung 7. Besserung des Nurick-Scores prä- bis postoperativ abhängig von der pathologischen Diagnose.

■ um 2-4 Punkte, ■ um einen Punkt □ gleichgeblieben.

Es stellte sich heraus, dass Patienten mit einer Spondylodiszitis signifikant höhere Scores vor als auch nach der Operation aufwiesen. So lag der präoperative MW in dieser Gruppe bei 3,3 (ST 1,1, $p=0,0025$) und der postoperative MW betrug 2,8 (ST 1,4, $p=0,01$ aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis).

3.10 Postoperativer Neurostatus

Zum Zeitpunkt der Entlassung wurden bei 33 von 83 Patienten Paresen diagnostiziert. Diese reichten von leichten Paresen bis hin zur Plegie. Insgesamt konnten bei 10 Patienten, die präoperativ eine Parese aufwiesen, durch die Operation eine vollständige Rückbildung erreicht werden. Bei vier dieser Patienten war bereits bei der Entlassung keine Parese mehr

nachweisbar und bei den übrigen Patienten stellte sich die Besserung im weiteren Verlauf ein. Bei lediglich einem Patienten wurde postoperativ eine neu aufgetretene Parese festgestellt.

Von den 41 Patienten, die präoperativ Sensibilitätsstörungen aufwiesen, konnten diese durch den operativen Eingriff bei insgesamt 16 Patienten eine komplette Rückbildung erzielt werden. Die Besserung trat dabei in 9 Fällen direkt postoperativ ein, bei 4 Patienten zur 3-Monatsnachsuntersuchung und bei 3 Patienten zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung.

In 4 Fällen kam es zu einem neuen Auftreten einer Sensibilitätsstörung, wobei es sich in bei zweien lediglich um leichte Hypästhesien handelte, von denen sich eine sogar von alleine wieder zurückbildete. Die zwei anderen Patienten wurden beide aufgrund von Spinalkanalstenosen operiert und erst nach 10 und nach 11 Monaten traten Kribbelparästhesien auf, die vorher nicht bestanden.

Eine Besserung der Querschnittssymptomatik fand in 9 Fällen statt, davon 3 zum Zeitpunkt der Entlassung, 3 nach 3 Monaten, 2 nach 6 Monaten und einer zur letzten Untersuchung, die in diesem Fall nach 3 Jahren und 10 Monaten stattfand. Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass gerade Patienten mit einem Querschnittssyndrom häufig nicht mehr in der Klinik vorstellig werden, sondern die Weiterbehandlung in Rehabilitationszentren vorgenommen wird.

Im gesamten Verlauf wurden folgende klinische Befunde verzeichnet:

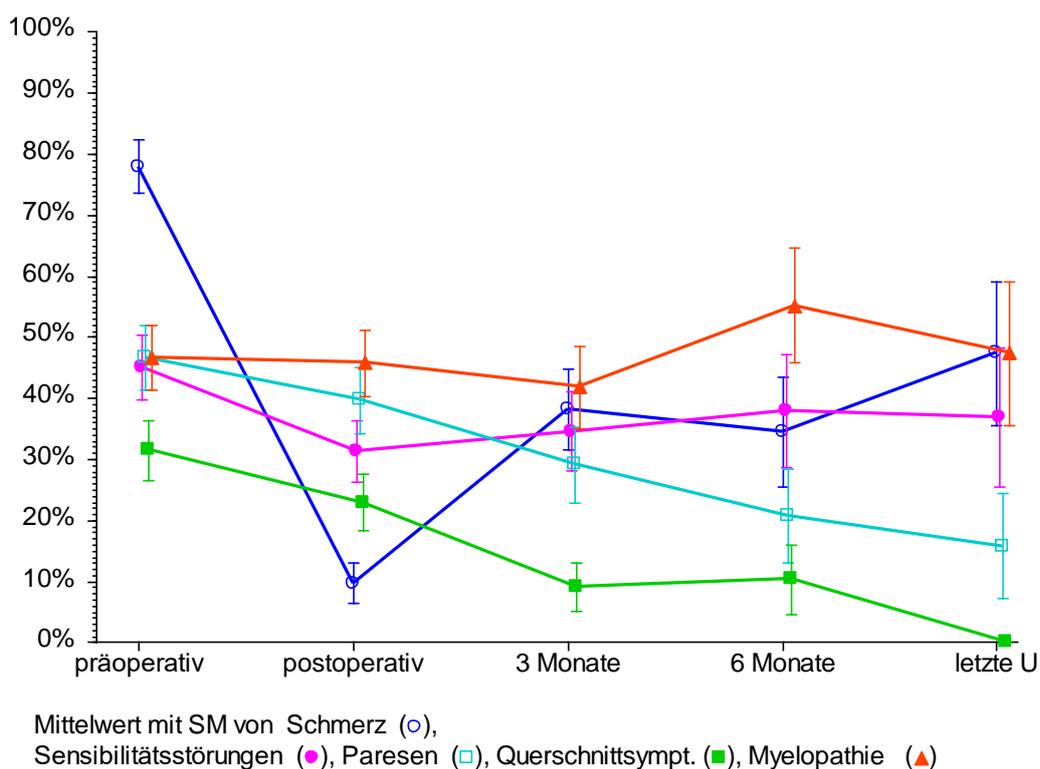


Abbildung 8. Verlauf der klinischen Symptome. Prozentsatz der Patienten, die zum jeweiligen Zeitpunkt Symptome aufwiesen. SM bezeichnet die Standardabweichung des Mittelwertes.

3.11 Postoperative Schmerzanalyse

Bezüglich der Schmerzsymptomatik konnte bei 57 Patienten eine postoperative Schmerzfreiheit erzielt werden, wenngleich dieser Zustand in 13 Fällen nicht dauerhaft war, da sich diese Patienten in den nachfolgenden Untersuchungen wieder mit Schmerzen vorstellten. Bei weiteren 12 Patienten traten zwar im Verlauf nochmal Schmerzen auf, die allerdings auch wieder erfolgreich behandelt werden konnten. Die anderen 44 Patienten blieben jedoch auch im weiteren Verlauf völlig schmerzfrei. Von 82 Patienten, bei denen es präoperativ möglich war festzustellen, ob sie unter Schmerzen litten, gaben fast 78% an Schmerzen zu haben, während zum Zeitpunkt der Entlassung nur noch 9,8% Schmerzen hatten. Lediglich 4 Patienten litten kontinuierlich unter Schmerzen ohne jede Besserung (siehe Abbildung 8).

Der Fragebogen zum Neck Pain and Disability Index (NPAD) wurde von 47 Patienten beantwortet und somit ausgewertet werden. Prozentual ausgedrückt wurden Werte zwischen 0% und 100% erreicht, wobei der Mittelwert $47,6 \pm 23,8\%$ betrug und keine signifikante Abweichung von der Gaußschen Normalverteilung vorlag (Abbildung 9).

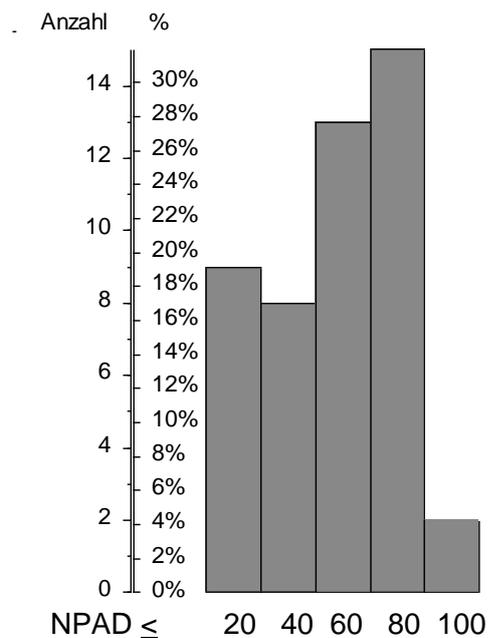


Abbildung 9. Anzahl und Prozentsatz der 47 ausgewerteten Fragebögen.

Die erreichten Werte des NPAD wiesen keine signifikante Korrelation mit dem Alter, dem Geschlecht, der Diagnose oder dem Auftreten von Komplikationen auf. Während die präoperativen Schmerzen ebenfalls keinen Einfluss auf den Index hatten, konnte hingegen ein starker Zusammenhang ($p < 0,0001$, aus dem U-Test nach Mann und Whitney) zu den postoperativen Schmerzen festgestellt werden, denn je höher diese waren, desto höhere Werte wurden auch beim NPAD erzielt.

Wurde bei Patienten eine kranio-zervikale Stabilisierung durchgeführt, so beeinflusste dies die Werte des NPAD. Die 9 betroffenen Patienten wiesen mit $65,3 \pm 20,7\%$ einen deutlich höheren Index auf als die übrigen 38 Patienten, deren Index im Mittel $43,5 \pm 22,7\%$ betrug ($p = 0,025$ aus dem U-Test nach Mann und Whitney).

Darüber hinaus konnte bei Patienten, die nach eigenen Angaben Schmerzmittel einnahmen, (24 Patienten) im Vergleich zu denen ohne Schmerzmedikation (22 Patienten) ein höherer

NPAD festgestellt werden (MW 56,2% entgegen einem MW von 36,0%). Besonders hoch war der Index mit 63,9% bei 9 Patienten, die Opiate einnahmen.

Obwohl keine signifikante Korrelation des NPAD mit dem Alter nachgewiesen wurde, stellten wir dennoch fest, dass Rentner deutlich niedrigere NPAD-Werte hatten (34,7% entgegen 50,8% bei den Patienten, die nicht arbeiteten und 58% bei den erwerbstätigen Patienten, $p=0,03$ aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis).

3.13 Dauer des stationären Aufenthalts

Die Dauer des Krankenhausaufenthalts betrug zwischen 4 und 116 Tagen (MW 21,9+-17,2 Tage). Die Liegedauer von 116 Tagen war jedoch auffällig lang. Es handelte sich dabei um einen 65-jährigen Patienten, der unter einer schweren multisegmentalen Spondylodiszitis litt. Die zweitlängste Liegedauer betrug 69 Tage. Auch lassen sich die teilweise langen Krankenhausaufenthalte dadurch erklären, dass es sich häufig um Patienten mit vielen Komorbiditäten handelt. Es konnte darüber hinaus ein Zusammenhang zwischen der Liegedauer und dem Alter der Patienten festgestellt werden, der jedoch nicht signifikant war ($p=0,066$, aus dem U-Test nach Mann und Whitney).

3.14 Einnahmedauer Opiate

Eine Analgesie mit Opiaten war bei 44 Patienten während ihres stationären Aufenthalts notwendig. 24 Patienten wurden keine Opiate verabreicht, es genügte eine NSAR-Therapie, und bei 28 Patienten fehlten Angaben zur Schmerzmedikation. Die kürzeste Einnahmedauer von Opiaten betrug einen Tag, die längste belief sich auf 30 Tage. Im Mittelwert wurden die Opiate 8,4 Tage benötigt mit einer Standardabweichung von 7,7. Generell stellte sich heraus, dass je mehr Segmente operiert und somit je mehr Schrauben bei einer Operation benötigt wurden, desto länger nahmen die Patienten Opiate ein ($p=0,0004$ in der Kendallschen Rangkorrelation). Eine Altersabhängigkeit ließ sich bei der Opioid-einnahmedauer hingegen nicht erkennen.

3.15 Komplikationen

Bei 13 Patienten (13,5%) traten postoperative Wundheilungsstörungen auf, von denen 5 (5,2%) konservativ behandelt werden konnten, während bei 8 Patienten (8,3%) eine chirurgische Wundrevision vorgenommen werden musste.

In einem Fall (1,0%) trat eine Nachblutung auf. In einem weiteren Fall (1,0%) bildete sich postoperativ eine Liquorfistel aus, die mittels einer Lumbaldrainage erfolgreich therapiert werden konnte.

Bei insgesamt nur drei Patienten (3,1%) kam es zu einem Implantatversagen oder einer revisionspflichtigen Schraubenfehlage: ein Patient wurde in der Erstoperation aufgrund einer Spondylodiszitis mit einem epiduralem Abszess von HW6 bis BW2 stabilisiert. Der Patient wies im weiteren Verlauf zunächst keine neurologischen Defizite auf. Drei Monate später allerdings stellte er sich erneut mit Nackenschmerzen sowie einer Paraparese der Beine vor. In einer Revisionsoperation wurden die durch nochmalige entzündliche Veränderungen gelockerten Pedikelschrauben in BW1 und 2 entfernt und die Spondylodese auf BW3 und 4 erweitert.

Bei einem weiteren Patienten, der von HW4 auf 5 mit Massa lateralis-Schrauben stabilisiert worden war, konnte 6 Monate postoperativ eine revisionsbedürftige Dislokation des Längsgestänges im Segment HW5 diagnostiziert werden.

Bei der dritten Patientin, die sich einer Reoperation unterziehen musste, war nach erfolgter Spondylodese von HW4 auf 5, eine persistierende Zervikobrachialgie C5 links aufgetreten. Es wurde eine Explantation der betroffenen Schraube zur Inspektion der Nervenwurzel veranlasst. In dieser Operation wurde eine Foraminotomie und eine Wurzeldekompression durchgeführt und eine kürzere Massa lateralis-Schraube eingebracht.

Es kam in keinem Fall zu einer iatrogenen Schädigung des zentralen Nervensystems oder der Arteria vertebralis.

Es ließ sich weder ein Zusammenhang der Komplikationen mit dem Alter oder dem Geschlecht noch mit der Anzahl der operierten Segmente oder der Operationsindikation erkennen.

3.16 Fragebogen: Patienteneinschätzung des funktionellen Status und der Schmerzsymptomatik

Die von uns entworfenen Fragebögen wurden insgesamt von 56 Patienten ausgefüllt zurückgesendet, von denen 50 Patienten Angaben zu ihrer präoperativen Schmerzsymptomatik machten und 55 Patienten zur postoperativen Schmerzsymptomatik. Auf der VAS- Skala von 1 bis 10 lag der Mittelwert der präoperativen Patienteneinschätzung bei 6,0 mit einer Standardabweichung von 3,3 und postoperativ bei 3,4 (ST 2,2). Während vor der Operation das Maximum von 10 erreicht wurde, betrug der höchste postoperative Wert 8 (Abbildung 10). Die Angaben zu den präoperativen Schmerzen in den Fragebögen zeigen eine starke Korrelation mit den Werten auf der VAS, die vor der Operation im Krankenhaus aufgenommen wurden ($p=0,014$ in der Kendallschen Rangkorrelation).

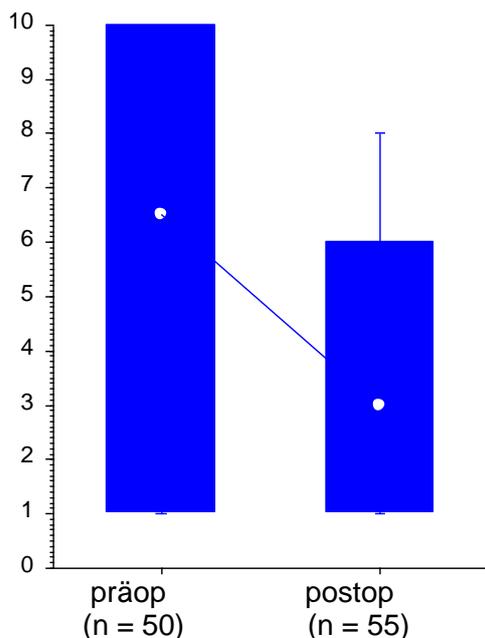


Abbildung 10. Schmerz vor und nach der Operation im Fragebogen zur dorsalen Fusion der Halswirbelsäule.

Präop – präoperativer Schmerzscore, postop – postoperativer Schmerzscore

Während präoperativ überdurchschnittlich hohe Schmerz-Scores bei den Pathologien Spondylodisitis (MW 8,7; ST 1,5), Neoplasie (MW 6,5; ST 3,4) und Degeneration (MW 6,7; ST 3,0) erzielt wurden, erreichten postoperativ die Krankheitsbilder Degeneration und Trauma mit MW 4,1 (ST 2,3) und MW 4,0 (ST 2,3) die höchsten Scores. Besonders bei Patienten mit einem

infektiösen Geschehen wurde durch die Operation eine starke Verbesserung der Schmerzen erreicht (postoperativ MW 1,4; ST 0,5).

Diese Ergebnisse stimmen auch damit überein, dass postoperativ besonders häufig Patienten mit degenerativen Erkrankungen (63,2%) oder Traumen (58,8%) angaben, weiterhin Schmerzmittel einzunehmen ($p=0,016$, aus dem U-Test nach Mann und Whitney, Abbildung 11).

Insgesamt nahmen 25 Patienten nach wie vor Schmerzmittel zu sich, jedoch handelte es sich in nur 10 Fällen um die Einnahme von Opiaten.

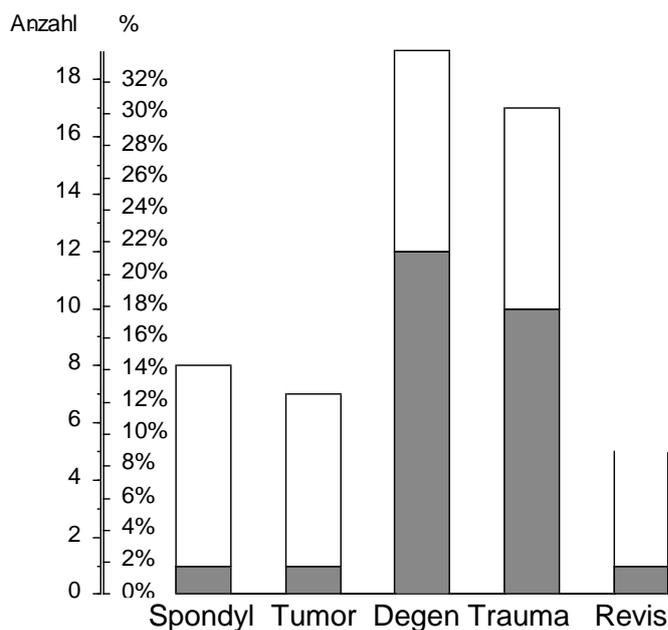


Abbildung 11. Pathologische Diagnose und spätere Schmerzmitteleinnahme. ■ = mit Schmerzmitteln, □ = ohne Schmerzmittel.

Spondyl – Spondylodiszitis, Tumor – Tumor, Degen – Degeneration, Trauma – Trauma, Revis - Revision

Lediglich 8 von 55 Patienten (14,6%) waren berufstätig, davon übten 3 eine körperliche Tätigkeit aus. Bei allen drei Patienten, die noch in der Lage waren, eine körperliche Tätigkeit auszuführen, wurde zuvor lediglich eine monosegmentale Operation durchgeführt.

Von den 8 Patienten, die noch arbeiteten, waren 7 Männer und arbeiteten im Schnitt $7,5 \pm 2,2$ Stunden/Tag. Die einzige Patientin, die berufstätig war, arbeitete 8 Stunden/Tag.

Von den übrigen 47 Patienten (85,5%), die nicht erwerbstätig waren, waren 16 in Rente, einer arbeitslos und 19 arbeitsunfähig. 11 Patienten erklärten nicht arbeitsunfähig zu sein, gingen aber dennoch keiner Arbeit nach.

Bei den Patienten, die nach eigenen Angaben arbeitsunfähig waren, konnten 4 bereits geraume Zeit vor der Operation keiner Tätigkeit mehr nachgehen, eine Patientin aufgrund einer infantilen Zerebralparese.

Nach der Nurick-Klassifikation gelten Patienten mit einem Nurick-Grad von III oder höher als arbeitsunfähig. Vergleicht man die Angaben in den Fragebögen bezüglich einer Arbeitsunfähigkeit mit dem postoperativen Nurick-Grad, so stellt sich heraus, dass nur 7 dieser Patienten entsprechend ihrem Score nicht mehr in der Lage wären zu arbeiten. Die 4 Patienten, die bereits vor der Operation arbeitsunfähig waren, weisen alle einen Nurick-Grad von III oder höher auf.

21 von 55 Patienten (38,2%) erwähnten, weiterhin Sport treiben zu können, was durchschnittlich auf alle 55 Patienten bezogen 1,6 Stunden/Woche (ST 2,2) entspricht. Die dabei erwähnten Sportarten reichten von Wandern, Radfahren, Schwimmen und Gymnastik bis hin zu Handball und Klettern. Im Mittelwert betrug die von den Sportlern dafür aufgewandte Zeit 4,4 Stunden/Woche (ST 3,1). Je älter die Patienten waren, desto weniger Wochenstunden brachten sie für sportliche Aktivitäten auf ($p=0,0019$ in der Kendallschen Rangkorrelation).

Ebenso trieben Patienten mit Paresen durchschnittlich weniger Sport (0,6 Stunden/Woche im Gegensatz zu 2,3 Stunden/Woche, $p=0,14$ aus dem U-Test nach Mann und Whitney), während Patienten, bei denen eine monosegmentale Operation durchgeführt wurde, sich im Schnitt mehr körperlich betätigten (2,5 Stunden/Woche entgegen Patienten mit 2 und mehr Segmenten 1,1 Stunden/Woche, $p=0,029$ aus dem U-Test nach Mann und Whitney).

Der Nurick-Score war bei den Patienten, die sich sportlich betätigten präoperativ ($p=0,027$) und besonders postoperativ ($p=0,0059$ aus dem U-Test nach Mann und Whitney) signifikant niedriger als bei den übrigen Patienten.

4. Diskussion

Anhand klinischer Nachuntersuchungen und der Auswertung von Krankenakten konnten wir die Krankengeschichten von 96 Patienten verfolgen, die sich zwischen 2006 und 2011 im Universitätsklinikum Göttingen aufgrund von zervikalen Instabilitäten einer Instrumentierung mit oder ohne Dekompression unterzogen. Die Genese dieses Krankheitsbildes ist multifaktoriell und kann durch Traumen, Infektionen sowie durch degenerative oder neoplastische Veränderungen hervorgerufen werden.

4.1 Korrelation des Geschlechts und des Alters mit der grundlegenden Pathologie

In dem von uns nachuntersuchten Patientengut überwog, jedoch nicht signifikant, mit 61 Patienten (64%) gegenüber 35 Patienten (36%) das männliche Geschlecht. Das Durchschnittsalter lag bei 65,2 Jahren (15 bis 89 Jahre), wobei der Altersmedian bei Frauen mit 66,9 Jahren höher war als bei Männern mit 61,6 Jahren. Besonders bis zu einem Alter von 39 Jahren wurden hauptsächlich Männer operiert, während gerade im höheren Alter (über 80 Jahre) mehr Frauen operiert wurden, wobei keine dieser Abweichungen eine statistische Signifikanz erreichte.

Signifikante Abweichungen vom Durchschnittsalter konnten bei den Patienten der Trauma- und der Spondylodiszitisgruppe gefunden werden. So lag das Durchschnittsalter für Patienten mit Traumen mit 53 Jahren deutlich unter dem durchschnittlichen Alter des Patientenguts. Laut einer Studie von DeVivo und Chen ist seit den 70er Jahren das durchschnittliche Alter für Rückenmarksverletzungen von 28,3 auf 37,1 Jahre deutlich angestiegen, wobei mit 27,2% besonders häufig die obere HWS (HW1-HW4) betroffen ist (DeVivo und Chen 2011).

Während bei den unter 45-Jährigen Autounfälle die häufigste Verletzungsursache ist, stellen bei den über 45-Jährigen Stürze das größte Risiko für Rückenmarksverletzungen dar (Chen et al. 2013).

Ein auffällig hohes durchschnittliches Alter mit 75 Jahren liegt hingegen bei den Revisionsoperationen vor. Von den 8 Revisionen, die durchgeführt wurden, fanden 7 bei Patientinnen statt,

was 20% aller Operationen bei den Patientinnen ausmacht. Hingegen wurde lediglich bei einem Mann eine Revision durchgeführt (1,6% der Operationen der männlichen Patienten). Möglicherweise stellen Komorbiditäten, die bei Frauen häufiger auftreten, wie beispielsweise Osteoporose, sowie der größere Anteil der Frauen unter den Patienten, die im höheren Alter operiert wurden, einen Grund dafür dar, dass Revisionsoperationen bei den von uns untersuchten Patienten häufiger bei Frauen durchgeführt wurden. Allerdings ist die Inzidenz der Revisionen in unserem Kollektiv zu gering, um über die Ursachen dieser Verteilung eine Aussage treffen zu können.

Bei allen anderen Operationsindikationen ließen sich keine signifikanten Unterschiede in der Geschlechterverteilung erkennen.

Eine weitere signifikante Abweichung bezüglich des Alters konnte bei der Patientengruppe, die aufgrund einer Spondylodiszitis operiert wurden, festgestellt werden. Hier ergab sich ein Durchschnittsalter von 70 Jahren. Dies deckt sich mit einer umfassenden Studie zu den Inzidenzraten der Spondylodiszitis, die etwa 3000 Patienten einschloss, die zwischen 2002 und 2003 landesweit in Frankreich operiert wurden. Sie belegt, dass ein höheres Lebensalter eine Prädisposition für eine Spondylodiszitis darstellt. Während die Inzidenz in der Altersgruppe von 50-70 Jahren noch mit 3,5/100000 angegeben wird, so steigt sie bei über 70-Jährigen auf 6,5/100000 an (Grammatico et al. 2008).

4.2 Kurz- und Langzeitanalyse des neurologischen Status

Das klinische Symptom der zervikalen Myelopathie ist bislang nur unzureichend untersucht und prospektive, randomisierte Studien zu dem Krankheitsbild als Evidenz-basierte Daten zu dessen Behandlung sind limitiert. Das Leitsymptom der zervikalen Myelopathie stellt eine langsam zunehmende Gangstörung in Form eines spastisch, ataktischen Gangbildes dar. Hinzu kommen Sensibilitätsstörungen der Beine, insbesondere der Tiefensensibilität (Temperatur, Schmerz), Feinmotorikstörungen der Hände sowie im fortgeschrittenen Stadium auch Störungen der Blasen- und Mastdarmfunktion. Die Patienten leiden initial auch häufig unter Schulter-Nacken-Schmerzen, wobei bis zur Manifestation der Myelopathie mehrere Jahre vergehen können.

Ursache dieser Symptomatik ist eine Schädigung des Rückenmarks aufgrund einer direkten Kompression oder auch einer Kompression der versorgenden Gefäße, die in der Regel durch degenerative Veränderungen der Wirbelsäule wie osteophytäre Randzackenbildungen, eine Ossifikation des posterioren longitudinalen Ligaments oder eine Vorwölbung der Bandscheibe in den Spinalkanal hervorgerufen wird. Aufgrund der Pathogenese ist gewöhnlich nicht mit einer spontanen Besserung der Symptome zu rechnen, sondern es kommt im Gegenteil im Allgemeinen zu einer schleichenden klinischen Verschlechterung. Mehrere Studien zeigten, dass durch ein operatives Vorgehen die Progredienz der Beschwerden aufgehalten oder sogar eine Verbesserung der Neurologie erzielt werden konnte, wie bereits Edwards et al. beschrieben haben (Edwards et al. 2003).

Sampath et al. führten eine prospektive Studie durch, bei der sie die chirurgische und konservative Therapie für Patienten mit zervikaler Myelopathie miteinander verglichen und konnten eine Überlegenheit einer chirurgischen Intervention bezüglich der Verbesserung der Schmerz-situation und des funktionellen Status feststellen. In der Gruppe der konservativ behandelten Patienten hingegen stellte sich hier keine signifikante Besserung ein (Sampath et al. 2000).

In einer weiteren Studie konnte gezeigt werden, dass die Myelopathie zwar durch die Operation nicht beseitigt wurde, besonders Patienten mit moderater bis schwerer Myelopathie jedoch bezüglich der Schmerzsituation und den motorischen Defiziten von der Operation profitierten (Martinez et al. 2013).

In unserem Patientenkollektiv führten die operativen Maßnahmen zur Besserung der präoperative Symptome. Von den 43 Patienten, bei denen präoperativ eine Myelopathie diagnostiziert wurde, konnten bei 8 Patienten die klinischen Symptome beseitigt werden. Bei den übrigen Patienten blieb die Symptomatik zwar bestehen, jedoch wurde in dem Beobachtungszeitraum keinerlei Verschlechterung verzeichnet und es kam bei keinem Patienten zu einer neu aufgetretenen klinischen Myelopathie.

Die meisten Empfehlungen gehen dahin, dass bei einer schweren Myelopathie oder zunehmenden Beschwerden eine chirurgische Intervention erfolgen sollte, um eine weitere Progredienz zu verhindern. Lenehan et al. propagieren bei ausgeprägten neurologischen Defiziten selbst ohne Frakturen oder Instabilitäten eine möglichst frühzeitige chirurgische Dekompression, da sie bei frühzeitig operierten Patienten wesentlich bessere Resultate verzeichnen konnten (Lenehan et al. 2010).

Da das Krankheitsbild der Myelopathie allgemein in der zweiten Lebenshälfte mit einem Gipfel zwischen dem 50. und 60. Lebensjahr auftritt und wir es mit einer alternden Bevölkerung zu tun haben, ist für die Zukunft mit einer tendenziell steigenden Inzidenz zu rechnen. Mit dem Ziel auch gerade älteren Patienten die Bewältigung alltäglicher Aufgaben und Aktivitäten zu ermöglichen, ist es notwendig weitere Studien durchzuführen, um evidenzbasierte Aussagen über Therapiemöglichkeiten und -indikationen treffen zu können.

Hinsichtlich den übrigen dokumentierten neurologischen Defiziten, den Sensibilitätsstörungen, Paresen und Querschnittssyndrome, konnten ebenfalls bei vielen Patienten Verbesserungen beobachtet werden. Eine komplette Rückbildung der präoperativ bestehenden Symptome konnte bei 16 der 41 Patienten mit Sensibilitätsstörungen, bei 10 von 43 Patienten mit Paresen und bei 9 Patienten von 29 mit einer Querschnittssymptomatik erreicht werden. Hingegen traten sehr selten neue Defizite auf, die vor der Operation noch nicht bestanden. So wies ein Patient (1%) eine neu aufgetretene Parese auf und bei 4 Patienten (4,2%) kamen neue Sensibilitätsstörungen hinzu. Dabei ist zu bemerken, dass zwei dieser Sensibilitätsstörungen lediglich diskrete Hypästhesien waren, von denen in einem Fall eine Rückbildung im Verlauf beobachtet wurde. In den beiden anderen Fällen handelte es sich um Kribbelparästhesien die erst 10 beziehungsweise 11 Monate postoperativ auftraten, sodass hierbei nicht von einem direkten Zusammenhang mit der Operation ausgegangen werden kann.

4.3 Quantifizierung der Myelopathie mittels Nurick-Skala

Der Nurick-Score ist eines der am häufigsten verwendeten Klassifikationssysteme zur Einschätzung des Schweregrades einer Myelopathie. Obwohl es mehrere Skalen und Indizes zur Erfassung der funktionellen Einschränkung gibt, die als valide und sensitiv gelten, existiert bislang noch kein „Goldstandard“ unter den Klassifikationssystemen (Singh et al. 2013).

Die Quantifizierung des Schweregrades ist sinnvoll und notwendig, da sie neben den klinischen Parametern eine objektive Entscheidungshilfe für Behandlungsoptionen sowie die Einschätzung des optimalen Zeitpunkts für einen operativen Eingriff bietet. Der Nurick-Score ist dabei einfach in der Anwendung und erfasst die Leitsymptome einer klinischen Myelopathie.

In unserem Patientenkollektiv konnte eine deutliche Verbesserung des Nurick-Score zum Zeitpunkt der Entlassung im Vergleich zum Aufnahmezustand verzeichnet werden (von 2,3 auf 1,9). Diese Besserung betraf 18 Patienten und bei 18 weiteren Patienten wurde in den Nachuntersuchungen eine Verbesserung festgestellt. In anderen Studien wurde teilweise sogar bei einem noch deutlich höheren Prozentsatz an Patienten eine positive Entwicklung beobachtet (Revanappa und Rajshekhar 2011, Scheufler und Kirsch 2007).

Einen interessanten Aspekt bemerkten wir bei dem Zusammenhang zwischen der Arbeitsunfähigkeit und dem Nurick-Grad. Der Klassifikation nach gelten Patienten mit einem Grad III und höher als arbeitsunfähig. Diesbezüglich stellten wir eine Diskrepanz fest, denn von den 19 arbeitsunfähigen Patienten wiesen lediglich 9 einen Score von III oder IV auf. Die übrigen Patienten wären der Bewertung zufolge eigentlich in der Lage gewesen einer Tätigkeit nachzugehen. Im Hinblick auf die erwerbstätigen Patienten hingegen ließ sich feststellen, dass sie alle einen Score zwischen 0 und 2 hatten.

Revanappa und Rajshekhar machten in einer Studie mit 93 Patienten ebenfalls die Beobachtung, dass Abweichungen zwischen dem Score und dem tatsächlichen Beschäftigungsverhältnis bestehen. Allerdings stellte sich die Situation genau umgekehrt dar, nämlich dass Patienten, die als arbeitsunfähig einzustufen waren, dennoch eine Tätigkeit ausübten. Die Autoren vermuteten als Gründe hierfür, dass für bestimmte Betätigungen die vollständige Funktion der unteren Extremitäten nicht notwendig sei oder auch, dass einige Patienten aus finanziellen Gründen dazu gezwungen seien, erwerbstätig zu bleiben. Es muss an dieser Stelle hinzugefügt werden, dass die Studie in Indien durchgeführt wurde, wo nichtarbeitsfähige Patienten geringere oder keine Sozialleistungen zu erwarten haben.

Möglicherweise sind die besseren Sozialleistungen in Deutschland auch ein Faktor, weshalb wir die umgekehrte Beobachtung machten. Eine weitere Erklärung könnte sein, dass beispielsweise Feinmotorikstörungen, wie sie auch schon bei Grad 0-II auftreten können, in manchen Berufen zu einer Arbeitsunfähigkeit führen.

Um tatsächlich eine Aussage darüber treffen zu können, ob ein Patient in Lage ist zu arbeiten, bedarf es vermutlich weiterer, detaillierterer Klassifikationssysteme.

4.4 Analyse der Schmerzsymptomatik im Verlauf

Zur Quantifizierung der Nackenschmerzen wurde unseren Patienten der Neck Pain and Disability Index (NPAD) zugesandt, der aus 20 Fragen aufgebaut ist, jeweils bestehend aus 6 Antwortmöglichkeiten auf einer Visuellen Analogskala von 0 bis 5. Zusammen mit dem Neck Pain Index (NPI) handelt es sich um den einzigen Fragebogen, der sich einzig und allein auf die Nackenschmerzen bezieht und die damit einhergehenden Einschränkungen. Die hohe Reliabilität, Validität und Spezifität des Originalindex als auch der übersetzten Versionen konnten schon in verschiedenen Studien bestätigt werden (Blozik et al. 2009, Scherer et al. 2008, Wheeler et al. 1999).

Die Gültigkeit dieser Kriterien stellten wir gleichfalls an unserem Patientenkollektiv fest. So war der Zusammenhang des Index zu den Angaben über die postoperative Schmerzsituation hoch signifikant ($p < 0,0001$) und diejenigen Patienten, die weiterhin Schmerzmittel einnahmen, wiesen mit einem NPAD von 56,2% gegenüber den übrigen Patienten mit 36,0% deutlich höhere Werte auf ($p = 0,0016$).

Dass der Index in der Lage ist Nackenschmerzen von chronischen, an anderen Stellen des Körpers lokalisierten Schmerzen zu unterscheiden offenbart sich durch die wesentlich höheren Scores, die Patienten mit kranio-zervikalen Stabilisierungen erreichen (MW $65,3\% \pm 20,7\%$ entgegen $43,5\% \pm 22,7\%$). Diese Patientengruppe ist in ihrer Beweglichkeit des Kopfes stark eingeschränkt, was großen Einfluss auf die Aktivitäten des täglichen Lebens hat und sich in den Ergebnissen des NPAD widerspiegelt.

Blozik et al. zeigten, dass der NPAD auch eine sehr hohe Sensitivität besitzt und in der Lage ist, klinisch relevante Veränderungen zu detektieren (Blozik et al. 2009). Wie auch in der vorliegenden Arbeit wurde in der Studie mit 411 Teilnehmern von Blozik et al. die deutsche Version des NPAD verwendet. Die Autoren stellten fest, dass sich sowohl ein höherer Bildungsgrad als auch ein höheres Alter positiv auf die Werte des NPAD auswirkten. Hingegen hatten Depressionen, Ängstlichkeit und mangelnde soziale Unterstützung einen negativen Einfluss auf die Resultate.

Zwar bestand in unserem Patientengut keine signifikante Korrelation des Alters mit dem Gesamtscore des NPAD, jedoch konnte bezüglich einzelner Fragen ein relevanter Zusammenhang festgestellt werden. Je älter die Patienten waren desto niedrigere Scores wurden bei den Fragen erreicht, wie ausgeprägt die Nackenschmerzen seien, wenn sie am stärksten sind

($p=0,03$), ob die Nackenschmerzen bei der Erholung stören ($p=0,039$) und ob durch die Schmerzen persönliche Beziehungen beeinträchtigt werden ($p=0,023$). Lediglich bei der Frage, ob es ihnen schwer falle über Kopf zu arbeiten, wiesen jüngere Patienten niedrigere Werte auf, jedoch ohne Signifikanz. Dieser Punkt könnte allerdings auch darauf zurückzuführen sein, dass es älteren Menschen im Allgemeinen größere Schwierigkeiten bereitet Arbeiten über dem Kopf zu bewältigen.

Betrachtet man die Scores der Patienten, die sich bereits in Rente befinden, so stellt sich ebenfalls heraus, dass sie mit einem MW von 34,7% (ST 18.9) signifikant ($p=0,03$ aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis) unter den Werten der Patienten liegen, die arbeiten (MW 58,0%) und derer, die aus anderen Gründen nicht arbeiten (MW 50,9%).

Es zeigte sich eine deutliche Besserung der Schmerzsituation zwischen der Aufnahme ins Krankenhaus und der Entlassung. Während präoperativ noch fast 80% der Patienten unter Schmerzen litten, verringerte sich dies postoperativ auf nur 9,8%.

Anhand des von uns entworfenen Fragebogens konnte die postoperative Schmerzsituation bei 55 Patienten auch im weiteren Verlauf nachvollzogen werden und bei der Auswertung dieser Daten ließ sich ebenso eine eindeutige Verbesserung der Schmerzsymptomatik nachweisen. Den Schmerzscore, den die Patienten auf einer VAS-Skala für den Zeitraum nach der Operation angaben, war mit einem MW von 3,4 im Vergleich zu einem Ausgangswert von 6,0 stark gesunken. Diese Ergebnisse decken sich mit denen anderer Studien, die ebenfalls zeigten, dass chirurgische Maßnahmen zur Besserung der Schmerzsituation beitragen (Martinez et al. 2013, Scheufler und Kirsch 2007).

4.5 Wahl des operativen Zugangs und Sicherheit des Eingriffs

Die dorsale Spondylodese hat gegenüber der ventralen Spondylodese den Vorteil, dass weniger wesentliche Strukturen verletzt werden können. So sind ventrale Strukturen wie beispielsweise der Ösophagus, der Laryngeus nerv, die Trachea und ventrale Gefäße (A. carotis interna, A. carotis externa, V. jugularis) bei einem dorsalen Zugang nicht gefährdet. Andere wichtige Strukturen wie das Rückenmark, Nervenwurzeln, die A. vertebralis und kleinere Gefäße können sowohl bei einem Eingriff von dorsal als auch von ventral verletzt werden. Besonders bei

adipösen Patienten oder Patienten mit einem anatomisch kurzem Hals kann sich eine Herangehensweise von ventral sehr schwierig gestalten, während hier häufig ein posteriorer Zugang leichter durchzuführen ist (Komotar et al. 2006).

Bei beiden Operationsmethoden kann die Dekompression der Nervenwurzeln unter direkter Sicht erfolgen, sodass hier keine Überlegenheit einer der beiden Methoden zu bemerken ist. Nachteilig ist bei dem posterioren Zugang allerdings festzustellen, dass die Patienten nach der Operation durch das intraoperative Ablösen der Muskulatur häufig unter Nackenschmerzen leiden. Darüber hinaus ist es nicht möglich pathologische Veränderungen wie zum Beispiel Osteophyten, die sich ventral im Spinalkanal befinden, zu beseitigen. Dies gilt jedoch auch umgekehrt, wenn also der Zugang von ventral erfolgt, während das pathologische Geschehen dorsal lokalisiert ist (Wiggins und Shaffrey 2007).

Auch das sagittale Profil der HWS spielt bei der Auswahl des Zugangs eine entscheidende Rolle. Während bei erhaltener Lordose oder einer geraden Wirbelsäule der Zugang von posterior erfolgen kann, empfiehlt sich bei einer kyphotischen Deformität der HWS der Zugang von ventral, da auf diese Weise die Kyphose reduziert oder bei einigen Patienten sogar korrigiert werden kann. Sollten drei oder mehr Segmente betroffen sein, bietet sich bei vorhandener Kyphose ein kombiniertes Verfahren von dorsal und ventral an, wobei zwar die Morbidität erhöht ist, aber auch ein stabiles Ergebnis erzielt wird (Douglas und Cooper 2007). Liegt keine Kyphose vor und sind gleichzeitig drei oder mehr Segmente betroffen, erfolgt die Operation für gewöhnlich von dorsal, da dieserart eine zügige Dekompression multipler Segmente stattfinden kann (King et al. 2009). Zahlreiche Arbeiten der vergangenen Jahre vergleichen den dorsalen mit dem ventralen Zugang bei Stabilisierungsoperationen, doch leider liegen zu diesem Thema bislang keine randomisierten, kontrollierten Studien vor. Die Vergleichbarkeit mehrerer Studien gestaltet sich auch sehr schwierig und ist meistens nur eingeschränkt möglich. Die Gründe dafür sind vielfältig und liegen vor allem in einem uneinheitlichen Krankheitsbild und in uneinheitlichen Methoden. Häufig wird nur eine Erkrankung untersucht, die Patientenkollektive sind sehr klein oder die Untersuchungskriterien unterscheiden sich stark voneinander.

Dennoch konnte Sicherheit und Effektivität der dorsalen Spondylodese bereits in mehreren Studien gezeigt werden (Wiggins und Shaffrey 2007) und bestätigten sich in guten klinischen Nachuntersuchungsergebnissen, wie auch bei dem von uns untersuchten Patientenkollektiv.

Gegenüber konservativen Behandlungsansätzen und älteren Operationsmethoden wie beispielsweise der Cerclage ist bei der Spondylodese der Gewinn an biomechanischer Stabilität ausreichend, um in der Regel eine sofortige Mobilisation ohne äußere Hilfsmittel und einen frühen Rehabilitationsbeginn zu ermöglichen. Bei konservativen Therapieansätzen zu denen die Ruhigstellung der HWS, Wärmetherapie, Massagen und die medikamentöse Behandlung zählen, werden zudem nicht die Ursachen der Beschwerden beseitigt, sondern es werden lediglich Symptome behandelt.

Durch eine sorgfältige präoperative Diagnostik anhand bildgebender Untersuchungsmethoden wie der Computertomographie ist es möglich, die optimale Operation für den Patienten auszuwählen und somit sicherzugehen, dass alle pathologischen Veränderungen beseitigt werden können und das Operationsrisiko minimiert wird.

Bezüglich der Komplikationen sind die dorsalen Stabilisierungseingriffe risikoarm. Bei der am häufigsten eingetretenen Komplikation in unserer Studie handelte es sich um eine postoperative Wundheilungsstörung, wie es bei 13 Patienten (13,5%) der Fall war. 8 dieser Wundheilungsstörungen (8,3%) mussten chirurgisch revidiert, während bei den übrigen Patienten konservative Maßnahmen ausreichend waren. Alle anderen Komplikationen wie Nachblutungen, Implantatversagen oder Liquorfisteln, traten nur in einzelnen Fällen auf (zusammen 5,2%). Diese Ergebnisse sind vergleichbar mit denen anderer Studien. Campbell et al. untersuchten 202 Patienten nach einer Wirbelsäulenoperation und stellten ebenfalls als häufigste schwerwiegende Komplikation mit 11,4% die tiefe Wundheilungsstörung fest, bei der eine chirurgische Revision notwendig war (Campbell et al. 2011).

Da es sich bei den aufgetretenen Komplikationen selten um schwerwiegende Komplikationen, wie zum Beispiel ein Implantatversagen, handelte, kann von einer insgesamt hohen Sicherheit der Operationsmethode ausgegangen werden.

Neurologische Komplikationen aufgrund einer iatrogenen Schädigung des Rückenmarks oder der Nerven kamen in dem von uns untersuchten Patientengut nicht vor. Derartige Komplikationen entstehen häufig durch Fehler in der Operationsplanung oder bei der Operationstechnik und können demnach weitestgehend vermieden werden, indem eine umfassende präoperative Planung stattfindet, bei der die optimale Technik und der optimale Zugang für die individuelle Situation des Patienten ausgewählt werden.

Es konnte keinerlei Korrelation der Komplikationen mit dem Alter, dem Geschlecht, der Operationsindikation oder der Anzahl der operierten Segmente nachgewiesen werden.

Campbell et al. untersuchten 202 Patienten mit einer Wirbelsäulenoperation und konnten ebenfalls keinen signifikanten Anstieg der Komplikationen bei einer höheren Zahl der instrumentierten Segmente feststellen (Campbell et al. 2011). Allerdings verzeichneten sie ein größeres Komplikationsrisiko mit steigendem Alter (>65 Jahre). Eine mögliche Erklärung hierfür ist das häufigere Auftreten von Komorbiditäten im höheren Alter wie Diabetes mellitus, Osteoporose oder Herzerkrankungen, die den Allgemeinzustand der Patienten und ihre Wundheilung beeinflussen können.

Für unser Patientenkollektiv liegen keine Hinweise vor, die auf das Auftreten von klinisch relevanten Instabilitäten im Verlauf hindeuten. So waren keine Revisionen notwendig und es kam darüberhinaus zu einer Besserung der Schmerzsituation. Diese Daten unterstreichen die biomechanische Effizienz und Sicherheit der Operation und lassen auf ein stabiles operatives Ergebnis nach Dekompression und dorsaler Spondylodese der HWS schließen.

In letzter Zeit sind speziell für die Wirbelkörper HW2 und HW7 als Alternative zur Verwendung von Massa lateralis- und Pedikelschrauben die Laminaschrauben vorgeschlagen worden. In diesen anatomischen Abschnitten gestaltet sich der Verlauf der Arteria vertebralis sehr variabel, wodurch eine sichere Schraubenplatzierung ohne Arterienverletzung teilweise nicht möglich ist. Der reguläre Eintritt der A. vertebralis in die HWS befindet sich bei HW6, in 5,4% jedoch (Matula 1997) verläuft die Arterie bereits durch das Foramen von HW7. Im Bereich der oberen Wirbelsäule kann die Vertabralarterie an HW2 eine zu hohe Lage haben, man spricht von einer sogenannten „High-riding“-Vertebralarterie, die eine Schraubenplatzierung ohne Gefäßverletzung unmöglich macht. Neben der Gefahr des Verblutens des Patienten kann eine Verletzung der Arterie gravierende Folgen wie Infarkte des Cerebellums oder sogar lebensbedrohliche Infarkte des Gehirnstamms nach sich ziehen. Bei der Insertion von Laminaschrauben ist ein derartiges Risiko deutlich minimiert (Jang et al. 2010).

HW7 weist häufig sehr dünne Massae laterales auf, weshalb hier wegen der überlegenen biomechanischen Stabilität in der Regel die technisch sehr anspruchsvollen Pedikelschrauben verwendet werden. Einige Autoren vertreten die Meinung, dass bei biomechanischer Äquivalenz zu den Pedikelschrauben die technische Handhabung der Laminaschrauben einfacher sei

und darüber hinaus keine Navigation notwendig sei, da die Lamina sowie alle relevanten Strukturen direkt eingesehen werden können. Die einzige Gefahr bei der Insertion der Laminaschrauben besteht darin, in den Spinalkanal zu penetrieren und neurale Elemente zu verletzen. (Jang et al. 2010, Ma et al. 2010).

Bislang liegen zu diesem Thema nur wenige klinische Serien und Erfahrungswerte vor, doch die Laminaschrauben könnten in Zukunft eine sinnvolle Alternative für die Fälle darstellen, bei denen aufgrund anatomischer Varianten eine Massa lateralis- oder Pedikelschraubenplatzierung nicht möglich ist.

4.6 Limitierungen der Studie

Die vorliegende Arbeit erfüllt die Voraussetzung, dass es sich bei den von uns untersuchten Patienten bezüglich Alter und Geschlecht um ein recht homogenes und repräsentatives Kollektiv handelt. Das Ziel einer möglichst vollständigen Dokumentation der Krankheitsdaten konnte bis zum Zeitpunkt der Entlassung erreicht werden. Laut Sackett et al. ist in der evidenzbasierten Medizin bei einem Ausscheiden von bis zu 5% der Probanden vor Beendigung der Studie mit keiner besonderen Bias zu rechnen, während ab einem Follow-up-Verlust von 20% eine ernsthafte Gefährdung der Validität gegeben ist (Sackett et al. 1999). Zum Zeitpunkt der Entlassung liegen uns noch die Daten von 85,4% der Patienten vor, wodurch sich keine Gefährdung der Validität ergibt. Zu späteren Untersuchungszeitpunkten erhöht sich die Abbruchrate, dennoch konnten die Krankheitsverläufe teilweise mittels der Fragebögen nachvollzogen werden. An dieser Stelle ist anzumerken, dass sich die Beurteilungskriterien von Sackett et al. ursprünglich auf prospektive Studien beziehen. Vergleichbare Kriterien zur Bewertung retrospektiver Studien wurden bislang nicht aufgestellt.

Ein häufiges Problem der Wirbelsäulenchirurgie besteht darin, dass sehr wenige „Goldstandards“ existieren, die auf größeren klinischen Studien basieren (Lee et al. 2011). Oftmals sind die Patientenkollektive zu klein, der Beobachtungszeitraum zu kurz und die Kriterien und Methoden zu unterschiedlich, sodass nur eine eingeschränkte Vergleichbarkeit möglich ist.

Eine Möglichkeit, Studien besser miteinander vergleichbar zu machen und subjektive Parameter zu quantifizieren, ist die Verwendung standardisierter Instrumente mit gesicherter Reliabilität und Validität. In unserer Studie eignete sich hierzu die Nurick-Skala sowie der Neck Pain

and Disability Index. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass es sich bei Scores und Indizes immer um eine Zusammenfassung und Vereinfachung handelt und somit möglicherweise ein Informationsverlust stattfinden kann. Hingegen ermöglichen Scores wie die Nurick-Skala eine objektivere Evaluierung von subjektiven Beschwerden. In unserem Patientenkollektiv fassten wir für die Auswertung Patienten mit Nurick Grad IV und solche mit Grad V zusammen, da es sehr wenige Patienten mit Grad V gab und in einigen Fällen eine Unterscheidung zum Beispiel aufgrund einer Sedierung nicht möglich war, sodass diese Gruppe keine statistische Signifikanz erreicht hätte. Diese Vereinfachung ist jedoch als eine Einschränkung der Arbeit zu betrachten.

Trotz fehlender „Goldstandards“ liegen in der Wirbelsäulenchirurgie zahlreiche Studien zu den verschiedensten Prozeduren und Vorgehensweisen vor, dennoch wären prospektiv angelegte größere Multicenterstudien in einigen Bereichen wünschenswert.

5. Zusammenfassung

Die Genese segmentaler Instabilitäten kann degenerativer, traumatischer, infektiöser oder neoplastischer Natur sein und erfordert besonders beim Auftreten neurologischer Defizite einen chirurgischen Eingriff in Form einer Dekompression- und Stabilisierungsoperation.

Ziel der vorliegende retrospektiven Arbeit war es, die klinisch-neurologischen Langzeitergebnisse von 96 Patienten zu analysieren, bei denen im Zeitraum von 2006 bis 2011 im Universitätsklinikum Göttingen eine dorsale Spondylodese im Bereich der Halswirbelsäule durchgeführt wurde. Zur Datenerhebung und klinischen Beurteilung wurden die Krankenakten der Patienten sowie die prä- und postoperativen Röntgen- und CT-Untersuchungen herangezogen. Darüber hinaus erfolgte die Quantifizierung des postoperativen Funktionsstatus, der allgemeinen Schmerzsymptomatik und insbesondere der Nackenschmerzen sowohl durch einen individuell erstellten Fragebogen als auch durch den standardisierten Neck Pain and Disability Index (NPAD).

Von den 96 Patienten mit dem durchschnittlichen Alter von 65,2 Jahren (15 bis 89 Jahre) waren 61 Patienten (64%) männlich und 35 (36%) weiblich.

Eine monosegmentale Instrumentierung wurde in 33 Fällen (34,4%) durchgeführt, eine bisegmentale Instrumentierung in 24 Fällen (25,0%) und eine Instrumentierung über drei und mehr Segmente fand bei 39 Patienten (40,6%) statt. Als Indikation für die Operation waren degenerative Veränderungen (31,3%), Traumata (30,2%), entzündliche Erkrankungen (16,7%) und maligne Neoplasien (13,5%) am häufigsten vertreten.

Die abschließende Auswertung der Daten zeigte, dass es sich bei der dorsalen Spondylodese um ein effektives und komplikationsarmes Verfahren handelt. Bei den meisten Komplikationen handelte es sich um einfachere Komplikationen wie beispielsweise Wundheilungsstörungen, die bei 13,5% der Patienten vorlagen und in 8 Fällen (8,3%) revisionsbedürftig waren. In nur drei Fällen (3,6%) kam es zu einem Implantatversagen, sodass die Implantate wieder chirurgisch entfernt werden mussten und erneut eine Stabilisierung vorgenommen wurde.

Im Hinblick auf die neurologische Situation konnten durch die Operation bei 16 von 41 Patienten Sensibilitätsstörungen aufgehoben werden, insbesondere wurden bestehende Paresen bei 10 von 43 Patienten beseitigt, und eine verbesserte Querschnittssymptomatik wurde bei

9 Patienten festgestellt. Um die komplexe Frage der Verlauf einer Myelopathie beurteilen zu können, verwendeten wir den Nurick-Score, den wir prä- und postoperativ erhoben. Dabei beobachteten wir bei 18 Patienten eine Verbesserung des Scores von durchschnittlich 2,3 auf 1,9 zum Zeitpunkt der Entlassung sowie eine Besserung des Scores bei weiteren 18 Patienten in den klinischen Nachuntersuchungen.

Besonders stark profitierten die Patienten von der Operation bezüglich der Schmerzsituation. Anhand der Fragebögen zeigte sich, dass die Schmerzen auf einer Visuellen Analogskala von einem präoperativen Mittelwert von 6,0 auf einen postoperativen Mittelwert von 3,4 gesenkt werden konnten. In unserem Patientenkollektiv waren keine Verlängerungen der Spondylodese oder zusätzliche ventrale Eingriffe erforderlich, und es kam nur in Einzelfällen zu einem Implantatversagen. Dies und die verbesserte Schmerzsymptomatik deuten darauf hin, dass es im weiteren Verlauf zu keinen Instabilitäten der Halswirbelsäule kam und sich die dorsale Spondylodese als sichere und effiziente Operationsmethode darstellt, die den Patienten sowohl einen großen Gewinn bezüglich des neurologischen und funktionellen Status als auch der Schmerzsymptomatik bringen kann.

6. Anhang

6.1 Fragebögen

Fragebogen: Neck Pain and Disability Index

1. Wie stark sind Ihre Nackenschmerzen heute?

kein Schmerz ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ stärkster Schmerz

2. Wie stark sind Ihre Nackenschmerzen durchschnittlich?

kein Schmerz ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ stärkster Schmerz

3. Wie schlimm sind die Nackenschmerzen, wenn sie am stärksten sind?

kein Schmerz ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ unerträglich

4. Wird Ihr Schlaf von den Nackenschmerzen beeinträchtigt?

kein Schmerz ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ kann nicht schlafen

5. Wie stark sind die Nackenschmerzen im Stehen?

kein Schmerz ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ stärkster Schmerz

6. Wie stark sind die Nackenschmerzen im Gehen?

kein Schmerz ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ stärkster Schmerz

7. Wird das Autofahren durch Ihre Nackenschmerzen beeinträchtigt?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ kann nicht fahren

8. Werden Ihre Alltagsaktivitäten durch die Nackenschmerzen beeinträchtigt?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ immer

9. Stören Sie die Nackenschmerzen, während Sie sich erholen?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ immer

10. Wird Ihre Arbeit durch die Nackenschmerzen beeinflusst?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ kann nicht arbeiten

11. Beeinträchtigen Sie Ihre Nackenschmerzen beim Essen oder bei der Körperpflege (Waschen, Ankleiden etc.)?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ immer

12. Werden Ihre persönlichen Beziehungen (Familie, Freunde, Sexualität etc.) durch die Nackenschmerzen beeinträchtigt?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ immer

13. Wie stark haben die Nackenschmerzen Ihre Lebensperspektiven und Ihre Zukunft verändert?

nicht verändert ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ völlig verändert

14. Beeinflusst der Nackenschmerz Ihre Gefühle?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ völlig

15. Beeinflusst der Nackenschmerz Ihr Denkvermögen oder Ihre Konzentrationsfähigkeit?

gar nicht ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ völlig

16. Wie steif ist Ihr Nacken?

gar nicht steif ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ völlig steif

17. Wie stark ist die Beweglichkeit Ihres Kopfes gestört?

nicht gestört ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ kann meinen Kopf nicht bewegen

18. Wie schwer fällt es Ihnen, den Kopf nach oben oder unten zu richten?

gar nicht schwer ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ sehr schwer

19. Wie schwer fällt es Ihnen (aufgrund Ihrer Nackenschmerzen) über Kopf zu arbeiten?

keine Probleme ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ kann nicht über Kopf
arbeiten

20. Wie gut helfen Ihnen Schmerztabletten gegen Ihre Nackenschmerzen?

völlige Schmerzfreiheit ___0___ ___1___ ___2___ ___3___ ___4___ ___5___ keine Linderung

Fragebogen: Patienteneinschätzung des funktionellen Status und der Schmerzsymptomatik

1. Wie schätzen sie Ihren Schmerzen auf einer Skala von 1 bis 10 ein?

a) vor der Operation ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

b) nach der Operation ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

2. Haben Sie Schmerzen? Ja Nein

Wenn ja, wo haben Sie Schmerzen?

Rechts: Arm Bein Schulter Nacken sonstiges

Links: Arm Bein Schulter Nacken sonstiges

3. Leiden Sie an Empfindungsstörungen? Ja Nein

Wenn ja, wo?

Rechts: Hand Arm Bein Schulter Nacken sonstiges

Links: Hand Arm Bein Schulter Nacken sonstiges

4. Liegt bei Ihnen eine Kraftminderung vor? Ja Nein

Wenn ja, wo?

Rechts: Hand Arm Bein sonstiges

Links: Hand Arm Bein sonstiges

5. Wie schätzen Sie Ihre Lebensqualität auf einer Skala von 1 bis 10 ein?

a) vor der Operation ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

b) nach der Operation ① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩

6. Arbeiten Sie momentan? Ja Nein

Wenn nein, seit wann sind Sie arbeitsunfähig? _____

Wenn ja, wie viele Stunden/Tag arbeiten Sie? _____ Stunden/Tag

Handelt es sich um eine körperliche Tätigkeit? Ja Nein

7. Treiben Sie Sport? Ja Nein

Wenn ja, um welche Sportart handelt es sich? _____

Wie viele Stunden/Woche machen Sie Sport? _____ Stunden/Woche

8. Nehmen Sie derzeit noch Schmerzmittel ein? Ja Nein

Wenn ja, welche Schmerzmittel nehmen Sie und in welcher Dosis?

Falls Sie keine Schmerzmittel mehr einnehmen, wann haben Sie diese abgesetzt?

6.2 Nurick-Skala

(Nurick 1972)

Grade	Radikuläre Symptomatik	Rückenmark-Symptomatik	Gangstörung	Beschäftigungsverhältnis
0	Ja	Nein	Keine Gangstörung	Möglich
I	Ja	Ja	Keine Gangstörung	Möglich
II	Ja	Ja	Leichte Gangstörung	Möglich
III	Ja	Ja	Mäßige Gangstörung	Nicht möglich
IV	Ja	Ja	Gehen nur mit Unterstützung möglich	Nicht möglich
V	Ja	Ja	Bettlägerig, auf Rollstuhl angewiesen	Nicht möglich

7. Literaturverzeichnis

Abumi K, Itoh H, Taneichi H, Kaneda K (1994): Transpedicular screw fixation for traumatic lesions of the middle and lower cervical spine: description of the techniques and preliminary report. *J Spinal Disord* 7, 19-28

Altenbernd J, Bitu S, Lemburg S, Peters S, Seybold D, Meindl R, Nicolas V, Heyer CM (2009): Wirbelfrakturen bei Patienten mit Spondylitis ankylosans: Eine retrospektive Analyse von 66 Patienten. *Röfo* 181, 45-53

American College of Surgeons: ATLS: Advanced Trauma Life Support Course for Doctors (Student Course Manual). 8. Auflage; American College of Surgeons, Chicago 2008

An HS, Coppes MA (1997): Posterior cervical fixation for fracture and degenerative disc disease. *Clin Orthop* 335, 101-111

Anderson LD, D'Alonzo RT (1974): Fractures of the odontoid process of the axis. *J Bone Joint Surg Am* 56, 1663–1674

Anderson PA, Henley MB, Grady MS, Montesano PX, Winn HR (1991): Posterior cervical arthrodesis with AO reconstruction plates and bone graft. *Spine* 16, 72-79

Azuma Y, Kato Y, Taguchi T (2010): Etiology of cervical myelopathy induced by ossification of the posterior longitudinal ligament: determining the responsible level of OPLL myelopathy by correlating static compression and dynamic factors. *J Spinal Disord Tech* 23, 166–169

Bambakidis NC, Feiz-Erfan I, Klopfenstein JD, Sonntag VK (2005): Indications for surgical fusion of the cervical and lumbar motion segment. *Spine* 30, 2-6

Baptiste DC, Fehlings MG (2006): Pathophysiology of cervical myelopathy. *Spine J* 6, 190-197

Benzel EC: Spine Surgery: Techniques, Complication Avoidance, and Management. 3. Auflage; Elsevier, Philadelphia 2012

Blauth M, Schmidt U, Dienst M, Knop C, Lobenhoffer P, Tscherne H (1996): Langzeitergebnisse von 57 Patienten nach ventraler interkorporeller Spondylodese der unteren Halswirbelsäule. Unfallchirurg 99, 925–939

Blozik E, Himmel W, Knoch MM, Herrmann-Lingen C, Scherer M (2009): Sensitivity to change of the Neck Pain and Disability Scale. Eur Spine J 20, 882-889

Braun J, Rudwaleit M, Sieper J (2011): Spondyloarthritiden. Internist 52, 657-670

Campanacci M: Bone and soft tissue tumors. Clinical features, imaging, pathology and treatment. 2. Auflage; Springer Medizin Verlag, Berlin 1999

Campbell PG, Yadla S, Malone J, Maltenfort MG, Harrop JS, Sharan AD, Ratliff JK (2011): Complications related to instrumentation in spine surgery: a prospective analysis. Neurosurg Focus 31, E10

Chen Y, Tang Y, Vogel LC, Devivo MJ (2013): Causes of spinal cord injury. Top Spinal Cord Inj Rehabil 19, 1-8

Choi BW, Song KJ, Chang H (2011): Ossification of the posterior longitudinal ligament: a review of literature. Asian Spine J 5, 267–276

Chow E, Harris K, Fan G, Tsao M, Sze WM (2007): Palliative radiotherapy trials for bone metastases: a systematic review. J Clin Oncol 25, 1423–1436

Clarke E, Robinson PK (1956): Cervical myelopathy: a complication of cervical spondylosis. Brain 79, 483-510

Como JJ, Diaz JJ, Dunham CM, Chiu WC, Duane TM, Capella JM, Holevar MR, Khwaja KA, Mayglothling JA, Shapiro MB (2009): Practice management guidelines for identification of cervical spine injuries following trauma: update from the eastern association for the surgery of trauma practice management guidelines committee. *J Trauma* 67, 651-659

Daentzer D, Böker DK (2004): Operative Stabilisierung traumatischer Instabilitäten der unteren Halswirbelsäule. *Unfallchirurg* 107, 175–180

Dean CL, Gabriel JP, Cassinelli EH, Bolesta MJ, Bohlman HH (2009): Degenerative spondylolisthesis of the cervical spine: analysis of 58 patients treated with anterior cervical decompression and fusion. *Spine J* 9, 439–446

Delank KS, Wendtner C, Eich HT, Eysel P (2011): Therapy of spinal metastases. *Dtsch Arztebl Int* 108, 71-80

DeVivo MJ, Chen Y (2011): Trends in new injuries, prevalent cases, and aging with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 92, 332-338

Douglas AF, Cooper PR (2007): Cervical corpectomy and strut grafting. *Neurosurgery* 60, 137-142

Edwards CC II, Riew KD, Anderson PA, Hilibrand AS, Vaccaro AF (2003): Cervical myelopathy. Current diagnostic and treatment strategies. *Spine J* 3, 68-81

Effendi B, Roy D, Cornish B, Dussault RG, Laurin CA (1981): Fractures of the ring of the axis. A classification based on the analysis of 131 cases. *J Bone Joint Surg Br* 63-B, 319-327

Eleraky M, Setzer M, Vrionis FD (2010): Posterior transpedicular corpectomy for malignant cervical spine tumors. *Eur Spine J* 19, 257-262

Fourney DR, York JE, Cohen ZR, Suki D, Rhines LD, Gokaslan ZL (2003): Management of atlantoaxial metastases with posterior occipitocervical stabilization. *J Neurosurg* 98, 165-170

Frangen TM, Kälicke T, Gottwald M, Andereya S, Andress HJ, Russe OJ, Müller EJ, Muhr G, Schinkel C (2006): Die operative Therapie der Spondylodiszitis. Eine Analyse von 78 Patienten. *Unfallchirurg* 109, 743–753

Fukuta S, Miyamoto K, Masuda T, Hosoe H, Kodama H, Nishimoto H, Sakaeda H, Shimizu K (2003): Two-stage (posterior and anterior) surgical treatment using posterior spinal instrumentation for pyogenic and tuberculous spondylitis. *Spine* 28, E302-E308

Gehweiler JA, Duff DE, Martinez S, Miller MD, Clark WM (1976): Fractures of the atlas vertebra. *Skelet Radiol* 1, 97-102

Glantzbeck MP, Bono CM, Wood KB, Harris MB (2010): Postoperative spinal epidural hematoma: a systematic review. *Spine* 35, E413-20

Gouliouris T, Aliyu SH, Brown NM (2010): Spondylodiscitis: update on diagnosis and management. *J Antimicrob Chemother* 65, iii11-24

Grading R, Töpfer A, Gollwitzer H: Wirbelkörperprothesen. In: Grading R, Gollwitzer H (Hrsg.): *Ossäre Integration*. Springer Medizin Verlag, Heidelberg 2006, 88-93

Grammatico L, Baron S, Rusch E, Lepage B, Surer N, Desenclos JC, Besnier JM (2008): Epidemiology of vertebral osteomyelitis (VO) in France: analysis of hospital-discharge data 2002-2003. *Epidemiol Infect* 136, 653-660

Greenlee RT, Murray T, Bolden S, Wingo PA (2000): Cancer statistics, 2000. *CA Cancer J Clin* 50, 7–33

Grob D, Magerl F (1987): Operative Stabilisierung bei Frakturen von C1-C2. *Orthopäde* 16, 46-54

Hadra BE (1891): Wiring of the vertebrae as a means of immobilization in fractures and Pott`s disease. Med Times Reg 22, 423-425

Harms J, Melcher RP (2001): Posterior C1–C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation. Spine 26, 2467–2471

Harrop JS, Hanna A, Silva MT, Sharan A (2007): Neurological manifestations of cervical spondylosis: an overview of signs, symptoms, and pathophysiology. Neurosurgery 60, 14-20

Haubitz I: Beschreibung statistischer Methoden. Würzburg 1995

Holmes JF, Akkinepalli R (2005): Computed tomography versus plain radiography to screen for cervical spine injury: a meta-analysis. J Trauma 58, 902–905

Jang SH, Hong JT, Kim IS, Yeo IS, Son BC, Lee SW (2010): C7 posterior fixation using intralaminar screws : early clinical and radiographic outcome. J Korean Neurosurg Soc 48, 129-133

Jefferson G (1920): Fracture of the atlas vertebra. Report of four cases and review of those previous reported. Br J Surg 7, 407–422

Jiang SD, Jiang LS, Dai LY (2011): Degenerative cervical spondylolisthesis: a systematic review. Int Orthop 35, 869–875

Josten C und Franck A (2009): Tumoren und Metastasen an der Wirbelsäule. Trauma Berufskrankh 11, 46-52

Junghanns H (1951): Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheibe. Langenbecks Arch Chir 267, 393-417

Kandziara F, Schnake K, Hoffmann R (2010): Verletzungen der oberen Halswirbelsäule. Teil 2: Knöcherne Verletzungen. Unfallchirurg 113, 1023-1041

Kawasaki M, Tani T, Ushida T, Ishida K (2007): Anterolisthesis and retrolisthesis of the cervical spine in cervical spondylotic myelopathy in the elderly. J Orthop Sci 12, 207–213

Kaye JJ, Nance EP jr (1990): Thoracic and lumbar spine trauma. Radiol Clin North Am 28, 361–377

King JT, Abbed KM, Gould GC, Benzel EC, Ghogawala Z (2009): Cervical spine reoperation rates and hospital resource utilization after initial surgery for degenerative cervical spine disease in 12338 patients in Washington State. Neurosurgery 65, 1011-1022

Klößner C, Valencia R, Weber U (2001): Die Einstellung des sagittalen Profils nach operativer Therapie der unspezifischen destruierenden Spondylodiszitis: ventrales oder ventrodorsales Vorgehen – ein Ergebnisvergleich. Orthopäde 30, 965–976

Komotar RJ, Mocco J, Kaiser MG (2006): Surgical management of cervical myelopathy: indications and techniques for laminectomy and fusion. Spine J 6, 252-267

Laurer H, Sander A, Maier B, Marzi I (2010): Frakturen der Halswirbelsäule. Orthopäde 39, 237-246

Lee JY, Hohl JB, Fedorka CJ, Devin C, Brodke DS, Branch CL Jr, Vaccaro AR (2011): Surgeons agree to disagree on surgical options for degenerative conditions of the cervical and lumbar spine. Spine 36, E203-212

Lenehan B, Fisher CG, Vaccaro A, Fehlings M, Aarabi B, Dvorak MF (2010): The urgency of surgical decompression in acute central cord injuries with spondylosis and without instability. Spine 35, 180-186

Linden YM van der, Steenland E, Houwelingen HC van, Post WJ, Oei B, Marijnen CAM, Leer JWH (2006): Patients with a favourable prognosis are equally palliated with single and multiple fraction radiotherapy: results on survival in the Dutch Bone Metastasis Study. *Radiother Oncol* 78, 245–253

Ma W, Feng L, Xu R, Liu X, Lee AH, Sun S, Zhao L, Hu Y, Liu G (2010): Clinical application of C2 laminar screw technique. *Eur Spine J* 19, 1312-1317

Magerl F, Seemann P-S: Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In: Kehr P, Weidner A (Hrsg): *Cervical Spine*. Springer. New York 1986, 322-327

Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S (1994): A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J* 3, 184–201

Martinez R, v. Eckardstein K, Woschek N, Rohde V: Outcome of disease-related myelopathy after cervical posterior decompression plus instrumentation. 64. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Neurochirurgie (DGNC). Düsseldorf, 26.-29.05.2013. German Medical Science GMS Publishing House, DocDI.08.04. [[doi: 10.3205/13dgnc230](https://doi.org/10.3205/13dgnc230)]

Matula C, Trattig S, Tschabitscher M, Day JD, Koos WT (1997): The course of the prevertebral segment of the vertebral artery: anatomy and clinical significance. *Surg Neurol* 48, 125-131

Meyerding HW (1932): Spondylolisthesis. *Surg Gynecol Obstet* 54, 371–377

Modarelli K, Bode-Lesniewska B, Studer G, Hofer S, Fuchs B (2013): Knochenmetastasen – Abklärung und Therapie. *Schweiz Med Forum* 13, 571-579

Modic MT, Feiglin DH, Piraino DW, Boumprey F, Weinstein MA, Duchesneau PM, Rehm S (1985): Vertebral osteomyelitis: assessment using MR. *Radiology* 157, 157-166

Moll KJ, Moll M: Anatomie: Kurzlehrbuch zum Gegenstandskatalog. 14. Auflage; Jungjohann Verlag, Neckarsulm 1995

Müller EJ, Russe OJ, Muhr G (2004): Osteomyelitis der Wirbelsäule. Orthopäde 33, 305–315

Mylona E, Samarkos M, Kakalou E, Fanourgiakis P, Skoutelis A (2009): Pyogenic vertebral osteomyelitis: a systematic review of clinical characteristics. Semin Arthritis Rheu 39, 10-17

Nolla JM, Ariza J, Gómez-Vaquero C, Fiter J, Bermejo J, Valverde J, Escofet DR, Gudiol F (2002): Spontaneous pyogenic vertebral osteomyelitis in nondrug users. Semin Arthritis Rheum 31, 271-278

Nurick S (1972): The pathogenesis of the spinal cord disorder associated with cervical spondylosis. Brain 95, 87–100

O'Dowd JK (2010): Basic principles of management for cervical spine trauma. Eur Spine J 19, 18-22

Pfannenberg AC, Eschmann SM, Claussen CD, Bares R (2004): Bild gebende Diagnostik von Metastasen in Hirn, Knochen, Leber und Lunge. Onkologe 10, 504–516

Pilge H, Holzapfel BM, Prodinge PM, Hadjamu M, Gollwitzer H, Rechl H (2011): Diagnostik und Therapie von Wirbelsäulenmetastasen. Orthopäde 40, 185-196

Prott F-J, Micke O, Schlehuber E, Scharding BJ, Rinast E (2002): Die Wertigkeit der Magnetresonanztomographie (MRT) unter ökonomischen Aspekten bei der Bestrahlungsplanung von Wirbelkörpermetastasen. Eine Kosten-Nutzen-Analyse. Radiologe 42, 388–391

Quan GM, Vital JM, Pointillart V (2011): Outcomes of palliative surgery in metastatic disease of the cervical and cervicothoracic spine. J Neurosurg Spine 14, 612-618

Rades D, Fehlauer F, Veninga T, Stalpers LJA, Basic H, Hoskin PJ, Rudat V, Karstens JH, Schild SE, Dunst J (2007): Functional outcome and survival after radiotherapy of metastatic spinal cord compression in patients with cancer of unknown primary. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 67, 532–537

Rayes M, Colen CB, Bahgat DH, Higashida T, Guthikonda M, Rengachary S, Eltahawy HA (2010): Safety of instrumentation in patients with spinal infection. *J Neurosurg Spine* 12, 647-659

Rehak S, Krajina A, Ungermann L, Ryska P, Cerny V, Talab R, Kanta M, Bartos M (2008): The role of embolization in radical surgery of renal cell carcinoma spinal metastases. *Acta Neurochir* 150, 1177–1181

Revanappa KK, Rajshekhar V (2011): Comparison of Nurick grading system and modified Japanese Orthopaedic Association scoring system in evaluation of patients with cervical spondylotic myelopathy. *Eur Spine J* 20, 1545-1551

Richter M (2003): Dorsale Instrumentierung der Halswirbelsäule mit dem „neon occipito-cervical system“, Teil 1: Atlantoaxiale Instrumentierung. *Operat Orthop Traumatol* 15, 70-89

Richter-Tutor M, Krueger P, Betz A, Schweiberer L (1989): Frakturen der Wirbelsäule. *Orthopäde* 18, 164–170

Rogers WA (1942): Treatment of fracture-dislocation of the cervical spine. *J Bone Joint Surg Am* 24, 245-258

Rougraff BT, Kneisl JS, Simon MA (1993): Skeletal metastases of unknown origin: A prospective study of a diagnostic strategy. *J Bone Joint Surg Am* 75, 1276–1281

Roy-Camille R, Roy-Camille M, Demeulenaere C (1970): Osteosynthese du rachis dorsal, lombaire et lombosacree par plaque metalliques vissees dans les pedicles vertebraux et les apophyses articulaires. *Presse Medicale* 78, 1447-1448

Roy-Camille R, Saillant G, Mazel C: Internal fixation of the unstable cervical spine by a posterior osteosynthesis with plates and screws. Lippincott, Philadelphia, 1989

Rybak LD, Rosenthal DI (2001): Radiological imaging for the diagnosis of bone metastases. Q J Nucl Med 45, 53–64

Sackett DL, Strauss SE, Richardson WS, Rosenberg W, Haynes, RB: Evidenzbasierte Medizin. EBM-Umsetzung und -Vermittlung. Deutsche Ausgabe von Kunz R, Fritsche L. W. Zuckschwerdt Verlag, München 1999

Sampath P, Bendebba M, Davis JD, Ducker TB (2000): Outcome of patients treated for cervical myelopathy. A prospective, multicenter study with independent clinical review. Spine 25, 670-676

Schaser K-D, Melcher I, Mittlmeier T, Schulz A, Seemann HJ, Haas NP, Disch AC (2007): Chirurgisches Management von Wirbelsäulenmetastasen. Unfallchirurg 110, 137–162

Scherer M, Blozik E, Himmel W, Laptinskaya D, Kochen MM, Herrmann-Lingen C (2008): Psychometric properties of a german version of the neck pain and disability scale. Eur Spine J 17, 922-929

Scheufler K-M, Kirsch E (2007): Percutaneous multilevel decompressive laminectomy, foraminotomy, and instrumented fusion for cervical spondylotic radiculopathy and myelopathy: assessment of feasibility and surgical technique. J Neurosurg Spine 7, 514-520

Schiebler TH: Anatomie. Histologie, Entwicklungsgeschichte, makroskopische und mikroskopische Anatomie, Topographie. 9. Auflage; Springer Medizin Verlag, Berlin 2005

Schinkel C, Gottwald M, Andress HJ (2003): Surgical treatment of spondylodiscitis. Surg Infect 4, 387-91

Schueller-Weidekamm C (2008): Trauma der Halswirbelsäule. Diagnose, Prognose und Management. Radiologe 48, 480-487

Schünke M: Funktionelle Anatomie. Topographie und Funktion des Bewegungssystems. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2000

Shedid D, Benzel EC (2007): Cervical spondylosis anatomy: pathophysiology and biomechanics. Neurosurgery 60, 7-13

Sherk HH (1975): Lesions of the atlas and axis. Clin Orthop Relat Res 109, 33-41

Simmons E, Zheng Y (2006): Vertebral tumors: surgical versus nonsurgical treatment. Clin Orthop Relat Res 443, 233-247

Singh A, Tetreault L, Casey A, Laing R, Statham P, Fehlings MG (2013): A summary of assessment tools for patients suffering from cervical spondylotic myelopathy: a systematic review on validity, reliability and responsiveness. Eur Spine J, Epub 5. September 2013

Sobottke R, Seifert H, Fätkenheuer G, Schmidt M, Goßmann A, Eysel P (2008): Current diagnosis and treatment of spondylodiscitis. Dtsch Arztebl Int 105, 181-187

Suess O, Weise L, Brock M, Kombos T (2007): Debridement and spinal instrumentation as a single-stage procedure in bacterial spondylitis/spondylodiscitis. Zentralbl Neurochir 68, 123-132

Sundaresan N, Digiacinto GV, Hughes JE, Cafferty M, Vallejo A (1991): Treatment of neoplastic spinal cord compression: results of a prospective study. Neurosurgery 29, 645–650

Sundaresan N, Boriani S, Rothman A, Holtzman R (2004): Tumors of the osseous spine. J Neurooncol 69, 273-290

Sze WM, Shelley MD, Held I, Wilt TJ, Mason MD (2003): Palliation of metastatic bone pain: single fraction versus multifraction radiotherapy — a systematic review of randomised trials. *Clin Oncol* 15, 345–352

Tatsui H, Onomura T, Morishita S, Oketa M, Inoue T (1996): Survival rates of patients with metastatic spinal cancer after scintigraphic detection of abnormal radioactive accumulation. *Spine* 21, 2143–2148

Tokuhashi Y, Matsuzaki H, Toriyama S, Kawano H, Ohsaka S (1990): Scoring system for the preoperative evaluation of metastatic spine tumor prognosis. *Spine* 15, 1110–1113

Tscherne H, Blauth M: *Tscherne Unfallchirurgie: Wirbelsäule*. Springer Medizin Verlag, Berlin 1998

Ulmar B, Huch K, Kocak T, Catalkaya S, Naumann U, Gerstner S, Reichel H (2007): Der prognostische Einfluss von Primärtumor und Höhe des befallenen Wirbelsäulenabschnitts bei 217 operativen Patienten mit Wirbelsäulenmetastasen unterschiedlicher Entität. *Z Orthop* 145, 31–38

Veri A, D'Andrea MR, Bonginelli P, Gasparini G (2007): Clinical usefulness of bisphosphonates in oncology: treatment of bone metastases, antitumoral activity and effect on bone resorption markers. *Int J Biol Markers* 22, 24–33

Wewers ME, Lowe NK (1990): A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Res Nurs Health* 13, 227-236

Wheeler AH, Goolkasian P, Baird AC, Darden BV (1999): Development of the Neck Pain and Disability Scale. Item analysis, face, and criterion-related validity. *Spine* 24, 1290-1294

Wiggins GC, Shaffrey CI (2007): Dorsal surgery for myelopathy and myeloradiculopathy. *Neurosurgery* 60, 71-81

Witt AN, Rettig H, Schlegel KF: Spezielle Orthopädie. Wirbelsäule-Thorax-Becken. 1. Auflage; Thieme Verlag, Stuttgart 1994

Wolfs JF, Kloppenburg M, Fehlings MG, van Tulder MW, Boers M, Peul WC (2009): Neurologic outcome of surgical and conservative treatment of rheumatoid cervical spine subluxation: a systematic review. *Arthritis Rheum* 61, 1743-1752

Wu JS, Wong R, Johnston M, Bezjak A, Whelan T (2003): Meta-analysis of dose-fractionation radiotherapy trials for the palliation of painful bone metastases. *Int J Radiat Oncol Biol Phys* 55, 594–605

Danksagung

Ich bedanke mich herzlichst bei Prof. Dr. med. Veit Rohde für die Vergabe des Themas und die Möglichkeit, mich mit dem Fach Neurochirurgie auseinandersetzen zu dürfen.

Mein ganz besonderer Dank gilt Prof. Dr. med. Ramon Martinez-Olivera für die stets motivierende persönliche und fachliche Betreuung. Seine fortwährende Unterstützung und die uneingeschränkte Zeit, die er sich nahm, ermöglichten es mir, diese Doktorarbeit durchführen zu können.

Mein großer Dank gilt auch Frau Dr. Imme Haubitz für die Hilfe bei der statistischen Auswertung. Mit großem Engagement stand sie mir immerzu mit Rat und Tat zur Seite.

Lebenslauf

Am 15.04.1985 wurde ich, Nadja Valentina Becker, geborene Woschek, als einziges Kind des Ehepaares Sonja Susanne und Reinhard Johannes Woschek in Bad Hersfeld geboren.

Meine Schulbildung erfolgte von 1991 bis 2004 in Bad Hersfeld. Zunächst besuchte ich die „Linggschule“ in Bad Hersfeld und anschließend seit 1995 den Gymnasialzweig der Gesamtschule Geistal, Bad Hersfeld. 2001 wechselte ich auf die Modellschule Obersberg, Bad Hersfeld, und erlangte dort 2004 die allgemeine Hochschulreife.

Zum Wintersemester 2004/2005 immatrikulierte ich mich für das Studium der Zahnheilkunde an der Georg-August-Universität in Göttingen. 2004 erhielt ich ein Sportstipendium für Tennis von der Boise State University in Boise, Idaho (USA), an der ich dann von August 2004 bis Mai 2005 zwei Auslandssemester absolvierte.

Im Oktober 2005 begann ich das Studium der Zahnheilkunde in Göttingen. Die zahnärztliche Vorprüfung bestand ich im April 2008. Ich beendete 2010 das Studium mit der Note „sehr gut“ und erhielt am 23.11.2010 die zahnärztliche Approbation.

Im Herbst 2009 nahm ich die Arbeit an der vorliegenden Dissertation auf.

Von Juni 2011 bis Juni 2013 war ich als Vorbereitungsassistentin in der Zahnarztpraxis am Markt Dr. Becker und Partner in Holzminden tätig, in der ich auch seit Juni 2013 als angestellte Zahnärztin mit den Tätigkeitsschwerpunkten Endodontologie und Kieferorthopädie arbeite.

Im September 2013 begann ich ein Curriculum der Endodontologie an der Haranni Akademie in Herne, das ich im März 2014 erfolgreich abschloss. An derselben Akademie absolvierte ich im September 2015 erfolgreich ein Curriculum der Kieferorthopädie.