

Aus der Klinik für Neurochirurgie, Campus Virchow-Klinikum
der Medizinischen Fakultät der Charité-Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Segmentale Bewegungserhaltung nach PMMA-assistierter
Fusionsoperation an der Halswirbelsäule

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

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Daniel Köppen
aus Pasewalk

Gutachter/in: 1. Priv.-Doz. Dr. med. S. Kroppenstedt
 2. Prof. Dr. med. T. Mittlmeier
 3. Priv.-Doz. Dr. med. P. T. Ulrich

Datum der Promotion: 07.09.2012

I.	Inhaltsverzeichnis.....	03
II.	Abkürzungsverzeichnis.....	05
III.	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	06
IV.	Diagrammverzeichnis.....	07
	Zielstellung.....	08
1	Einleitung	09
1.1	Die anteriore zervikale Diskektomie.....	10
1.2	Polymethylmethacrylat.....	11
1.2.1	Die Geschichte des PMMA	11
1.2.2	Die Chemie des PMMA.....	12
1.3	Cervical Intervertebral Fusion Cage (CIFC).....	14
1.4	Anschlusssegmentdegeneration und Anschlusssegmenterkrankung.....	15
2	Methodik.....	17
2.1	Studientyp	17
2.2	Patientenkollektiv	17
2.3	Gruppeneinteilung.....	17
2.3.1	Baseline-Charakteristika der Gruppen A ¹ , A ²	18
2.3.2	Baseline-Charakteristika der Gruppen B ¹ , B ²	19
2.4	Die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion mit PMMA	19
2.5	Postoperative klinische Daten.....	20
2.5.1	Visuelle Analogskala (VAS).....	20
2.5.2	The Neck Disability Index (NDI).....	22
2.5.3	Odoms-Score.....	23
2.6	Postoperative radiologische Daten.....	23
2.6.1	Segmentaler und zervikaler Lordosewinkel der HWS.....	23
2.6.2	Beurteilung der zervikalen Bewegung	25
2.6.3	Beurteilung der segmentalen Bewegung.....	25
	2.6.3.1 Bewegung im operierten Segment	25
	2.6.3.2 Bewegung in den Anschlusssegmenten.....	26
2.6.4	Anschlusssegmentdegeneration der HWS	26
2.7	Statistische Auswertung	27
3	Ergebnisbeschreibung.....	29
3.1	Ergebnisse klinischer Daten Gruppen A ¹ , A ²	29
3.1.1	Alter der Patienten	29

3.1.2	Zeitraum zwischen OP und Untersuchung	30
3.1.3	VAS rechter Arm, linker Arm, Nacken	31
3.1.4	Odoms-Score.....	32
3.1.5	Neck Disability Index	33
3.2	Ergebnisse radiologischer Daten Gruppen A ¹ , A ²	34
3.2.1	Zervikaler und segmentaler Lordosewinkel, Bewegung der HWS.....	34
3.2.2	Bewegung im operierten Segment	35
3.2.3	ROM kranial des operierten Segments.....	36
3.2.4	Anschlusssegmentdegeneration der Gruppen A ¹ , A ²	37
3.3	Ergebnisse klinischer Daten der Gruppen B ¹ , B ²	38
3.3.1	Alter der Patienten	38
3.3.2	Zeitraum zwischen OP und Untersuchung	39
3.3.3	VAS rechter Arm, linker Arm, Nacken	40
3.3.4	Odoms-Score.....	41
3.3.5	Neck Disability Index	42
3.4	Ergebnisse radiologischer Daten der Gruppen B ¹ , B ²	43
3.4.1	Zervikaler und segmentaler Lordosewinkel, Bewegung der HWS.....	43
3.4.2	ROM kranial des operierten Segments.....	44
4	Diskussion.....	45
4.1	Die Fusionsrate im Literaturvergleich.....	45
4.2	Das klinische Ergebnis im Literaturvergleich	48
4.3	Degeneration und Erkrankung der Anschlusssegmente	49
4.4	Grenzen der Studie	52
4.5	Die derzeitige Anwendung von PMMA in der HWS-Chirurgie.....	53
4.6	Der aktuelle Trend in der HWS-Chirurgie	54
4.7	Schlussfolgerung der Studie	55
5	Zusammenfassung	56
6	Literaturverzeichnis.....	58
7	Danksagung	68
8	Lebenslauf.....	69
9	Publikationsliste	71
10	Erklärung	72

II. Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACD	Anteriore zervikale Diskektomie (ohne Fusion/ Spacer)
ACDF	Anteriore zervikale Diskektomie und Fusion
AS	Anschlusssegment
ASD	Anschlusssegmentdegeneration
ASE	Anschlusssegmenterkrankung
BaSO ₄	Bariumsulfat
BPO	Dibenzoylperoxid
CIFC	Cervical Intervertebral Fusion Cage
CT	Computertomographie
Diagr.	Diagramm
DmpT	Dimethyl-p-Toluidin
E-Modul	Elastizitätsmodul
HO	heterotope Ossifikation
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
IAR	momentane Rotationsachse (engl. instantaneous axis of rotation)
MMA	Methylmethacrylat
MRT	Magnetresonanztomographie
NDI	Neck Disability Index
NN	Neutral Null
ODI	Oswestry Low Back Pain Disability Index
PASW	Predictive Analysis SoftWare
PEEK	Polyetheretherketon
PMMA	Polymethylmethacrylat (Knochenzement)
ROM	Bewegungsumfang (engl. range of motion)
SD	Standardabweichung (engl. standard deviation)
Tab.	Tabelle
TDR	totaler Bandscheibenersatz (engl. total disc replacement)
UHMWP	Ultra-High Molecular Weight Polyethylene/ Polyurethane
VAS	Visuelle Analogskala
ZrO ₂	Zirkoniumdioxid

III. Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 01: Die initiale Reaktion der Polymerisation des MMA	13
Abb. 02: Patientenfluss	18
Abb. 03: Procedere der PMMA-Spondylodese	21
Abb. 04: Beispiel für die Darstellung einer visuellen Analogskala.....	22
Abb. 05: Odoms-Score.....	23
Abb. 06: Darstellung der Vermessung des segmentalen- und des zervikalen Lordosewinkels	24
Abb. 07: Beispiel zur Berechnung der zervikalen Beweglichkeit.....	25
Abb. 08: Funktionsaufnahmen der HWS bei nicht erhaltener und erhaltener segmentaler Bewegung HWK 5/6.....	27
Abb. 09: Kriterien zur Beurteilung der Degeneration der HWS	28
Abb. 10: Algorithmus der statistischen Auswertung	28
Tab. 01: Literaturübersicht des klinischen Ergebnisses und der Fusionsrate nach PMMA-assistierter ACDF.....	47
Tab. 02: Literaturübersicht der Inzidenz von ASD/ ASE	51

IV. Diagrammverzeichnis

Diagr. 01: Patientenalter der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	29
Diagr. 02: Nachuntersuchungszeitraum der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	30
Diagr. 03: Schmerzen laut VAS der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	31
Diagr. 04: OP-Zufriedenheit auf dem Odoms-Score der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	32
Diagr. 05: NDI der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	33
Diagr. 06: Stellung und Beweglichkeit der HWS der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	34
Diagr. 07: Bewegung der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move} im operierten Segment.....	35
Diagr. 08: ROM der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	36
Diagr. 09: ASD der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}	37
Diagr. 10: Patientenalter der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}	38
Diagr. 11: Nachuntersuchungszeitraum der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}	39
Diagr. 12: Schmerzen laut VAS der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}	40
Diagr. 13: OP-Zufriedenheit auf dem Odoms-Score der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}	41
Diagr. 14: NDI der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}	42
Diagr. 15: Stellung und Beweglichkeit der HWS der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}	43
Diagr. 16: ROM der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}	44

Zielstellung

Die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion (ACDF) gehört heute zu den etablierten operativen Verfahren bei der Therapie degenerativer Erkrankungen der Halswirbelsäule. Die Grundlagen dafür wurden bereits 1955/58 von Smith und Robinson^{1, 2}, sowie 1958 von Cloward³ gelegt.

Untersuchungsergebnisse sprechen jedoch dafür, dass nach einer segmentalen Fusion möglicherweise die angrenzenden Wirbelsäulensegmente frühzeitiger degenerieren. Der aktuelle Trend in der Behandlung monosegmentaler Bandscheibenerkrankungen geht daher Richtung Bewegungserhalt.

Ziel dieser Arbeit ist die Klärung der Frage, ob sich Bewegungserhalt im Vergleich zu Bewegungsrestriktion positiv auf das klinisch-radiologische Outcome auswirkt.

Da es bei der Verwendung von PMMA zu einem unzureichenden Fusionsergebnis mit Bildung einer beweglichen Pseudoarthrose im operierten Segment kommen kann, wurden Daten von Patienten nach PMMA-assistierter anteriorer zervikaler Diskektomie (ACD) erhoben, statistisch ausgewertet und mit den Ergebnissen aktueller Literatur verglichen.

Einleitung

Verschleißerscheinungen der Bandscheiben, der Wirbelkörper oder der Wirbelgelenke sind keine Seltenheit. Die Lendenwirbelsäule ist davon am meisten betroffen. In 20-30% der Fälle jedoch ist die Halswirbelsäule degenerativ erkrankt⁴.

Die Auswirkungen für den Patienten sind zum einen lokale Schmerzzustände, zum anderen Irritationen nervaler Strukturen, Radikulopathien oder Myelopathien. Wird eine Therapie notwendig, erfolgt diese zunächst konservativ, also medikamentös und physiotherapeutisch. Besteht bereits initial eine ausgeprägte Pathologie mit entsprechender Klinik oder versagt die konservative Therapie mit Aggravierung und Progredienz des bestehenden neurologischen Defizits, so bleibt die chirurgische Intervention das therapeutische Mittel der Wahl.

Dass die Erkrankung der Wirbelsäule in Deutschland nicht vernachlässigbar ist, macht eine Untersuchung von Krankenkassen und Rentenversicherungsanstalten deutlich. Diese zeigt auf, dass 20 Prozent aller Arbeitsunfälle und 50 Prozent aller vorzeitig gestellten Rentenanträge eine bandscheibenbedingte Erkrankung zu Grunde liegt⁵.

Einer Studie aus dem Jahr 2000 ist zu entnehmen, dass zwischen 1993 und 1996 in Deutschland 60.000 Operationen infolge degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen durchgeführt wurden. Fast 82 Prozent dieser Eingriffe fanden auf Grund intervertebraler Diskopathien statt⁶.

Obwohl die HWS generell weniger betroffen ist, kann davon ausgegangen werden, dass sich jenseits des 70. Lebensjahres bei fast allen Menschen mehr oder weniger stark ausgeprägte spondylotische Halswirbelsäulenveränderungen zeigen⁵. Die zervikale Myelopathie wurde in einer älteren Studie sogar als häufigste Wirbelsäulenerkrankung in Deutschland und den USA bei Patienten ab dem 55. Lebensjahr angenommen⁷. Aus einer Arbeit aus dem Jahr 2001 geht hervor, dass in Deutschland jährlich ca. 8600 Patienten allein an der Halswirbelsäule operiert werden⁸. Schirmer veröffentlichte drei Jahre später ähnliche Zahlen zu Operationen an der HWS⁹.

1.1 Die anteriore zervikale Diskektomie

Bei einem degenerativen Bandscheibenleiden der Halswirbelsäule kann es durch Kompression zu Ausfällen, Beeinträchtigung des zervikalen Rückenmarkes oder einzelner Nervenwurzeln kommen¹⁰. Als Standard der chirurgischen Behandlung hat sich dabei der anteriore Zugang mit Entfernung der Bandscheibe durchgesetzt.

Robinson beschreibt eine Methode der anterioren zervikalen Diskektomie mit anschließender Fusion, bei der ein hufeisenförmiger trikortikaler Knochenblock in den Zwischenwirbelraum implantiert wird. Während der Diskektomie bleibt die knöcherne Deckplatte des Wirbelkörpers erhalten und der trikortikale Span wird in den Zwischenwirbelraum eingeklemmt. Mit dieser Technik erreicht der Operateur in 71% der Fälle ein gutes oder sehr gutes klinisches Ergebnis¹¹.

Bei der Methode nach Cloward soll die Fusion durch Einklemmen eines zylindrischen Knochendübels in eine zylindrisch vorgebohrte Öffnung im Zwischenwirbelraum erreicht werden³.

Der Knochen wird bei dieser Methode als Abstandhalter genutzt, um die Höhe des Bandscheibenfaches und die Weite der Neuroforamina wiederherzustellen und zu erhalten. Bei vorheriger Formung der Knochendübel kann eine normale segmentale Lordose der HWS geschaffen werden. Außerdem fördert er die biologische Fusion und trägt damit zur Langzeitstabilität und Lastenübertragung bei.

Die Vorteile der Knocheneigenspende sind zum einen die fusionsfördernden Eigenschaften, zum anderen die positiven physiologischen Eigenschaften des Knochens gegenüber physikalischen Kräften. Außerdem birgt die Eigenspende nicht das Risiko einer Infektion oder einer Abstoßungsreaktion¹². Nachteilig für die Patienten ist das dreimonatige Tragen eines zervikalen Stützkragens, was die Fusion bei der Robinson-Methode unterstützt. Auch das Nicht-Einwachsen des Implantats sowie Dübelbruch oder -dislokation wurden beschrieben^{13, 14}, genauso wie Sinterung mit sekundärer Kyphosierung der HWS¹⁵. Zusätzlich können Schmerzen und Hämatome, aber auch Nervenverletzungen, Infektionen oder Deformationen des Beckenkamms als Probleme an der Knochenentnahmestelle auftreten¹⁶⁻¹⁸.

Um die „graft-site morbidity“ bzw. Probleme, die bei der Implantation von nicht körpereigenem Material entstehen, zu vermeiden, bevorzugen einige Operateure die anteriore Diskektomie ohne anschließende Implantation eines Abstandhalters (ACD)¹⁹. Verglichen mit der ACDF bedeutete dies nicht nur einen geringeren

Kostenaufwand, sondern auch eine kürzere Operationsdauer mit geringerem chirurgischem Aufwand sowie eine kürzere Krankenhausliegezeit und weniger Krankenfehltag²⁰⁻²². Obwohl eine hohe Rate an Spontanfusionen nach Diskektomien ohne Spondylodese beschrieben wird²³, tritt bei bis zu einem Prozent der Patienten eine postoperative Instabilität im diskektomierten Segment auf²⁴. Bei diesem Operationsverfahren findet auch keine Wiederherstellung der Höhe des Zwischenwirbelraums statt. Dies könnten Gründe dafür sein, dass bei den nach diesem Verfahren operierten Patienten postoperativ häufiger Nackenschmerzen und ein schlechteres Langzeitergebnis beschrieben werden²⁵.

1.2 Polymethylmethacrylat

Knochenzement (PMMA) wurde als Platzhalter nach zervikaler Diskektomie 1967 von Grote und Röttgen etabliert²⁶. Die Vermeidung der Komorbidität nach autologer Knochenspende stellt beim Einsatz dieses Kunststoffes einen Vorteil dar²⁷. Des Weiteren soll durch die interkorporale Fusion eine Instabilität verhindert werden. PMMA weist positive mechanische Eigenschaften auf und ähnelt in diesen dem Knochen. Da der Kunststoff aber eine physikalische Barriere darstellt, kann es zu keiner echten knöchernen Verbindung kommen. Daher muss das Implantat für eine Fusion knöchern umbaut werden. Die daraus resultierende, signifikant verlängerte Fusionszeit, die im Schnitt zwei Jahre beträgt²⁸, begünstigt wiederum den Einbruch des Knochenzements in den Wirbelkörper, Dislokation oder Kyphosierung des operierten Segments²⁹. Bei einem Teil der Patienten kommt es zu keiner Fusion oder zum Transplantatbruch mit Bildung einer Pseudoarthrose^{8, 30} und erhaltender segmentaler Bewegung.

1.2.1 Die Geschichte des PMMA

Bereits 1901 stellte Otto Röhm seine These der Polymerisation von Methacrylaten vor. Es dauerte 27 Jahre, bis diese These von dem Pharmazeuten und Chemiker Röhm umgesetzt worden war. 1928 ließ er zusammen mit dem Kaufmann Otto Haas die Anwendung von PMMA als Plastikmaterial patentieren. Das von ihm 1933 entwickelte Plexiglas, ein glasklarer, alterungsbeständiger und harter Kunststoff,

wurde 1937 auf der Weltausstellung in Paris mit dem Grand Prix und einer Goldmedaille ausgezeichnet.

1936 beantragte die Firma Kulzer ein Patent für ein Gemisch, das bei Erhitzung auf 100°C vernetzt und aushärtet. Die erste klinische Nutzung fand auf dem Gebiet der Neurochirurgie statt, als 1938 erstmals kraniale Defekte von Affen mit diesem Stoff gedeckt wurden³¹. Mit den gesammelten Erfahrungen standen die Ärzte jedoch einer Nutzung in der plastischen Chirurgie am Menschen skeptisch gegenüber. So wurde das erste hitzevernetzende Polymer, mit dem Namen Paladon 65 zwar zur Versorgung kranialer Defekte am Menschen genutzt, die Platten wurden jedoch vorher im Labor gefertigt und später dann intraoperativ an den Bestimmungsort angepasst³². 1943 wurde das erste kalthärtende Polymer, entwickelt von den Firmen Kulzer und Degussa, patentiert. Damit wurde eine entscheidende Grundlage für die heutige medizinische Nutzung geschaffen.

1958 war es dann Sir John Charnley, der als Erster erfolgreich eine Femurkopfprothese mit selbsthärtendem Knochenzement im Femur verankerte und damit einen weiteren, entscheidenden Grundstein für die klinische Nutzung von Knochenzement auf Basis von Polymethylmethacrylat legte³³.

1.2.2 Die Chemie des PMMA

Das PMMA besteht in seiner Ursprungsform aus einem Zwei-Komponenten-System, welches zum einen ein Polymer-Pulver in einer Packung und zum anderen die monomere MMA-Flüssigkeit in einer Ampulle beinhaltet.

Im Pulver befinden sich sphärische MMA oder PMMA-Kopolymere und Dibenzoylperoxid (BPO), die als Initiator der radikalischen Polymerisation bzw. der Selbststauhärtung dienen.

Die flüssige Phase besteht aus Methylmethacrylat, einem Ester der Methacrylsäure mit einer polymerisierbaren Doppelbindung, dem aromatischen Amin-N,N-Dimethyl-p-Toluidin (DmpT) als Aktivator der Radikalbildung und einem Stabilisator zur Vermeidung einer unerwünschten Polymerisation bei Lagerung.

C-C-Doppelbindungen des Methacrylats sind Voraussetzungen für die Polymerisation. Der Initiator und der Aktivator bilden Radikale (kurzlebige reaktive Verbindungen), die eine Addition an reaktive C-C-Doppelbindungen des MMA und somit die Polymerisation ermöglichen (siehe Abb. 01). Diese chemische

Redoxreaktion läuft exotherm mit einer Polymerisationswärmemenge von 57 kJ (13,8 kcal) pro Mol MMA³⁴ ab. Zusätzlich wird zur Grünfärbung des Zementes Chlorophyll hinzugefügt. Eine radiologische Sichtbarkeit wird durch Zirkoniumdioxid (ZrO₂) oder Bariumsulfat (BaSO₄) erreicht, wobei Zirkoniumdioxid trotz seiner stärkeren abrasiven Eigenschaften bevorzugt verwendet wird, da Bariumsulfat größere osteolytische Veränderungen hervorruft und die Möglichkeit des Freiwerdens toxischer Bariumionen bei der Verwendung besteht^{35, 36}.

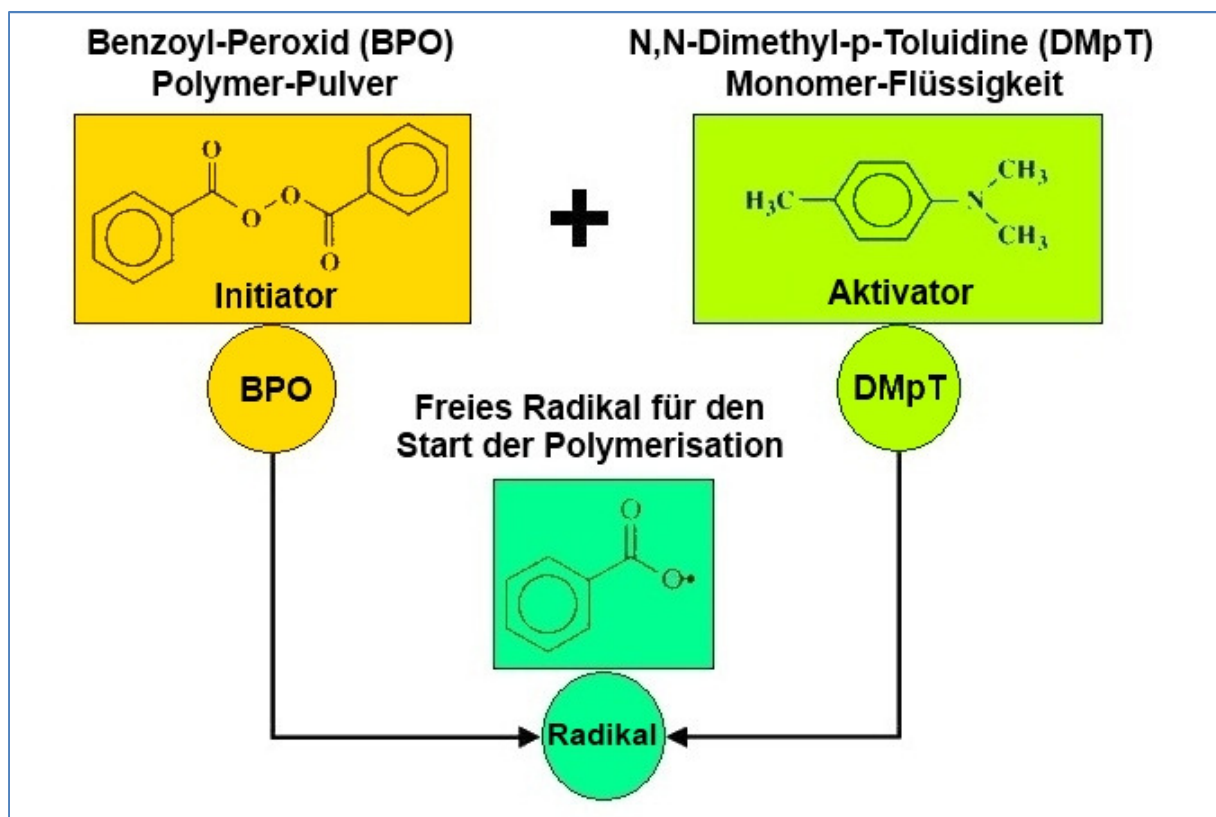


Abb. 01: Die initiale Reaktion der Polymerisation des MMA - BPO des Pulvers und DMpT der Flüssigkeit reagieren unter Bildung von Radikalen, die den Vernetzungsprozess des Knochenzementes ermöglichen.

Im Umgang mit Knochenzement können vier verschiedene Phasen mit der dazugehörigen Viskosität beschrieben werden.

In der kurzen, ca. eine Minute langen Mischungsphase werden Pulver und Flüssigkeit zusammengeführt und sorgfältig zu einem einheitlichen Brei verrührt.

Die darauf folgende Ruhephase, die in Abhängigkeit vom verwendeten Zement einige Minuten beträgt, muss abgewartet werden, so dass das Material einen optimalen, nicht klebrigen Zustand erreicht.

Jetzt folgt die eigentliche Arbeitsphase, die wiederum vom Knochenzement und dem Geschick des Operateurs abhängig ist und mehrere Minuten in Anspruch nimmt. Die Viskosität muss in dieser Phase gering genug für eine einfache Verarbeitung, jedoch auch groß genug für eine optimale Implantation sein.

Die vierte und letzte Härtingsphase ist die Periode des finalen Aushärtungsprozesses und der Entwicklung der Polymerisationshitze von 40°C-47°C in vivo^{37, 38}. Hierbei kann es zu einer Volumenreduktion von bis zu 21% des entstehenden harten PMMAs gegenüber dem nicht polymerisierten MMA kommen. Dies würde zum Beispiel bei einem Liter MMA-Ausgangsmaterial ein Volumen von 790ml PMMA ergeben. Da eine Einschätzung des Implantats unter diesem Umstand schwierig ist, werden zwei Drittel der Methylmethacrylat-Komponente bereits vorpolymerisiert. Die theoretische Volumenabnahme beträgt also, wenn auch nicht vollständig eliminiert, statt 21 nur 6-7 Prozent³⁴.

1.3 Cervical Intervertebral Fusion Cage (CIFC)

Bereits 1979 wurde erstmals die Verwendung eines schraubenartigen, intervertebralen Cages beschrieben³⁹. Der aus Edelstahl gefertigte „Bagby-Korb“ wurde mit autologer Spongiosa gefüllt und formschlüssig in den Intervertebralraum der HWS eines Pferdes implantiert. Er diente der Behandlung des Wobbler-Syndroms, einer zervikalen Fehlstellung als Auslöser von Rückenmarksschädigungen. Verglichen mit der Cloward-Methode konnte so ein besseres Ergebnis erzielt werden⁴⁰. Ab 1983 arbeiteten Bagby und Kuslich zusammen mit einer Gruppe von Bio-Ingenieuren an einem humanen Implantat, welches 1988 vorgestellt wurde⁴¹. Der sogenannte „Bagby and Kuslich“ (BAK) Cage wurde, wenn auch initial lumbal, mit klinisch großem Erfolg eingesetzt⁴².

Die Einführung der CIFCs fand mit dem Ziel statt, eine schnelle und sichere Operationsmethode zu etablieren, bei der sich eine stabile Versteifung ausbildet und Probleme, die sich aus der Knocheneigenspende ergeben, nicht auftreten. Der Cage sollte zudem auch die Fähigkeit besitzen, die natürliche Höhe des Zwischenwirbelraums, der Neuroforamina und die Lordose der HWS wieder herzustellen⁴³.

Cages können in verschiedene Design-Gruppen eingeteilt werden⁴³. Es werden schraubenartige Cages (horizontaler Zylinder) sowie Cages im Box- und Zylinder-Design (vertikale Ringe) unterschieden. Bei all diesen Konstruktionsprinzipien ist eine

Befüllung mit Knochenmaterial zur Fusionsverbesserung möglich. Die teilweise lordotische Formung soll die natürliche Haltung der HWS wiederherstellen. Eine möglichst große Auflagefläche hat das Ziel, das Einbrechen des Implantats in die Wirbelendplatten zu verhindern. Kleine Zacken oder Zähne verankern den Cage neben dem Einklemmen zusätzlich und beugen so Dislokationen vor. Außerdem wird versucht, durch große Poren und eine raue Oberfläche eine optimale Grundlage zum Einwachsen des Knochens (osteokonduktiv) zu schaffen.

Industriell hergestellte Cages werden in unterschiedlichen Materialien angeboten. Jedes Material soll dabei jedoch die Eigenschaften der Histokompatibilität, biomechanischen Stabilität und radiologischen Beurteilbarkeit erfüllen⁴³. Die aktuell am häufigsten verwendeten Materialien sind Titan, Karbon und PEEK.

Jedes Material hat dabei seine Vor- und Nachteile. Titan ist als Metall röntgendicht, sehr langlebig und robust. Auf Grund seines im Vergleich zum Knochen 10-mal höheren Elastizitätsmoduls besteht jedoch gegenüber Kunststoff eine höhere Sinterungstendenz. Außerdem ist eine Beurteilung des Implantats und benachbarter Strukturen in der MRT-Bildgebung durch Streuartefakte erschwert. Die Kunststoffe Karbon und PEEK sind dem Knochen in ihren Materialeigenschaften ähnlicher als Titan. So verhält sich Karbon physikalisch ähnlich wie Knochenkortikalis, wobei PEEK der Knochenspongiosa am nächsten ist. Beide Materialien sind dabei durchlässig für Röntgenstrahlung, was beispielsweise eine radiologische Lagekontrolle, wenn nicht mit kleinen Metallmarkern versetzt, schwierig macht. Im MRT entstehen jedoch keine Artefakte und auch nahe gelegene Strukturen bleiben gut beurteilbar. Ein mögliches Risiko könnte in einem Abrieb von Kunststofffasern liegen, was zu einer Entzündungs- und Fremdkörperreaktion führen kann⁴⁴.

1.4 Anschlusssegmentdegeneration und Anschlusssegmenterkrankung

Vor fast einhundert Jahren wurde die spinale Fusion fast zeitgleich von Albee⁴⁵ und Hibbs⁴⁶ beschrieben. Mit steigender Anzahl der spinalen Operationen stieg auch die Furcht vor Spätkomplikationen⁴⁷. Die postarthrodetische Anschlusssegmentdegeneration (engl: adjacent segment degeneration; ASD) beschreibt dabei radiologische Veränderungen im Sinne einer Degeneration in den an die Fusion angrenzenden Segmenten. Es fehlt jedoch ein zur Bildgebung passendes klinisches Korrelat bzw. eine klinische Symptomatik. Entwickeln sich aus dieser Degeneration

neue Symptome, wird dies als Anschlusssegmenterkrankung bezeichnet (engl: adjacent segment disease; ASE). Der genaue Mechanismus der Entstehung von Veränderungen der Anschlusssegmente war und ist Gegenstand der Forschung. Studienergebnisse zeigen, dass sowohl Operationen mit als auch ohne zervikale Spondylodese degenerative Veränderungen im Sinne einer ASD zur Folge haben können⁴⁸⁻⁵⁰, wobei die Prävalenz des Auftretens einer ASE bei Untersuchungen nach zervikaler Spondylodese zwischen 9% und 17% liegt⁵⁰⁻⁵². Insgesamt betrachtet ist das Outcome der Patienten mit und ohne Versteifungsoperation ähnlich^{49, 53, 54}.

Ein Ansatzpunkt für die Erklärung der scheinbar erhöhten Inzidenz von ASD und ASE nach Fusionsoperationen ist die allgemeine Veränderung der Biomechanik der HWS. Dies hat eine signifikante Erhöhung des intradiskalen Drucks⁵⁵ in den angrenzenden Segmenten und eine deutliche Zunahme der Belastung auf die Endplatten⁵⁶ zu Folge. Untersuchungen bei Kindern haben gezeigt, wie groß eigentlich der maximale Umfang, den ein Patient durch eine Versteifung einbüßt, in einem Bewegungssegment der unteren HWS sein kann. So wurde für den Bereich HWK 5/6 eine maximale Bewegungsspanne von 34° gemessen⁵⁷. Auch wenn der Bewegungsumfang bei einem Erwachsenen geringer ist, bedeutet ein Beweglichkeitsverlust den kompensatorischen Anstieg der Belastung in den angrenzenden Segmenten. Lopez konnte in einer Untersuchung nicht nur zeigen, dass der Stress auf den Anulus, den Nucleus und die Endplatten in den Nachbarsegmenten nach Spondylodese um bis zu 96% steigt, sondern er erkannte auch eine Tendenz höherer Belastung aller HWS-Etagen nach zervikaler Spondylodese zweier Höhen verglichen zu einer Höhe⁵⁸. Umso erstaunlicher ist es, dass in einer Arbeit von Hilibrand gezeigt wurde, dass die Rate der Patienten mit ASD nach einer Single-Level-Fusion signifikant höher war als nach einer Fusion von mehr als einer Höhe⁵⁹.

Es ist also schwierig pauschalisierte Aussagen über Mechanismen und Ursachen von ASD und ASE zu treffen. Als allgemeiner Risikofaktor für die Entstehung einer Anschlusssegmenterkrankung wird die Existenz einer Kompression neuraler Strukturen in den Anschlusssegmenten bereits bei der Indexprozedur sowie bei einer Operation, die direkt den Höhen HWK 5/6 und/ oder HWK 6/7 benachbart ist, gesehen⁶⁰. Zudem ist anzunehmen, dass ASD und ASE letztendlich den natürlichen Verlauf einer zervikalen Spondylose widerspiegeln⁵⁹ und in diesem Kontext zu betrachten sind.

2 Methodik

2.1 Studientyp

Bei dieser Arbeit handelt es sich um eine retrospektive, klinische Studie, genauer um eine Fall-Kontroll-Studie bei Patienten nach ACDF.

2.2 Patientenkollektiv

Von 1986 bis 2006 unterzogen sich in der neurochirurgischen Abteilung des Klinikums Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow-Klinikum insgesamt 416 Patienten einer anterioren zervikalen Diskektomie und Fusion mit PMMA. Bei einer zuvor durchgeführten konservativen Therapie zeigte sich bei allen eine Persistenz oder Aggravierung der Symptomatik.

In die Untersuchung eingeschlossen wurden Patienten mit Radikulopathie und Nackenschmerz als führender Symptomatik. Solche mit Myelopathie oder traumatischer Rückenmarksschädigung wurden ausgeschlossen. Ebenso unberücksichtigt blieben Patienten, die an den Segmenten HWK 3/4 und HWK 7/ BWK 1 operiert wurden, da eine radiologische Beurteilung und Auswertung oft nicht möglich bzw. schwierig ist (siehe Abb. 02).

2.3 Gruppeneinteilung

Diese 50 Patienten wurden künstlich in zwei Gruppen unterteilt. Die erste Unterteilung fand mit der Frage nach erhaltener segmentaler Beweglichkeit nach ACDF statt. Es wurden die Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$, ohne erhaltene segmentale Bewegung, und die Gruppe A^2_{Move} , mit erhaltener segmentaler Bewegung gebildet.

Die zweite Dichotomisierung wurde mit der Frage nach Anschlusssegmentdegeneration durchgeführt. Dabei wurde die Gruppe $B^1_{\text{No-ASD}}$, in der die Patienten ohne ASD zusammengefasst werden, und die Gruppe B^2_{ASD} , die die Patienten mit ASD vereint, gebildet.

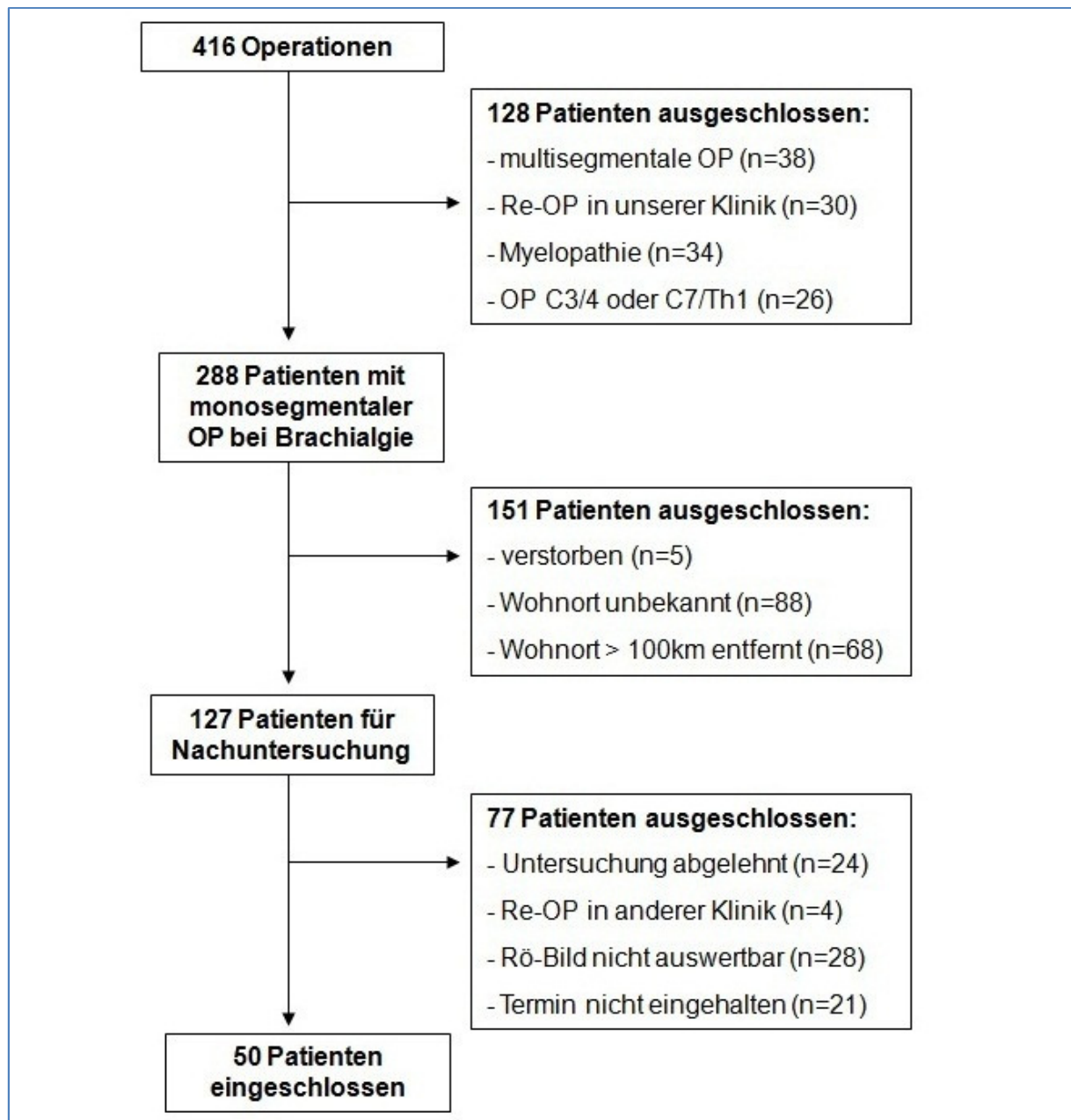


Abb. 02: Patientenfluss

2.3.1 Baseline-Charakteristika der Gruppen A¹, A²

<u>Charakteristika</u>	<u>Pat. ohne Bewegung</u> (Gruppe A ¹ _{No-Move})	<u>Pat. mit Bewegung</u> (Gruppe A ² _{Move})
Anzahl (n)	33	17
Alter (Jahre)		
Mittel	60,6	58,4
Spanne	44-79	40-68
Geschlecht (%)		
Männlich	16 (48,5)	8 (47,1)
Weiblich	17 (51,5)	9 (52,9)

2.3.2 Baseline-Charakteristika der Gruppen B¹, B²

Charakteristika	Pat. ohne ASD (Gruppe B ¹ _{No-ASD})	Pat. mit ASD (Gruppe B ² _{ASD})
Anzahl (n)	15	35
Alter (Jahre)		
Mittel	53,3	60,6
Spanne	43-68	40-79
Geschlecht (%)		
Männlich	5 (33,3)	19 (54,3)
Weiblich	10 (66,7)	16 (45,7)

2.4 Die anteriore zervikale Diskektomie und Fusion mit PMMA

Nach der Einleitung der allgemeinen Anästhesie wurden die Patienten in Rückenlage und mit leicht überstrecktem Kopf positioniert. Die anatomische Orientierung erfolgte mit einem Röntgenbildwandler im lateralen Strahlengang. Der operative Zugang wurde an der Haut markiert. In der Neurochirurgie der Charité, Campus Virchow-Klinikum wird die Operation standardmäßig von rechts durchgeführt. Nach ausgiebiger Hautdesinfektion und Präparation des OP-Bereiches erfolgte ein querverlaufender Schnitt vom medialen Rand des M. sternocleidomastoideus bis zur Halsmitte. Die Subkutis wurde bis zum Platysma durchtrennt und abgelöst. Das Platysma wurde in Längsrichtung eingeschnitten. Es folgte die Darstellung und Inzision der superfiziellen Halsfaszie.

Medial der Gefäßgruppe wurde bis zur Wirbelsäule präpariert. Die Halsmuskeln wurden gemeinsam mit Trachea und Ösophagus nach medial verdrängt. Bevor das vordere Längsband und die lateral vorgewölbten Muskelansätze mit dem Dissektor abgeschoben wurden, erfolgte die Koagulation²⁶.

Vor dem Einsetzen der Quengelsperrer bzw. der Distraktor-Pins zum Aufspreizen des Bandscheibenfaches (siehe Abb. 03) wurde die Bandscheibe eingeschnitten. Es ist darauf geachtet worden, das Bandscheibenfach nicht übermäßig zu distrahieren, da es durch Überdehnung des Bandapparates postoperativ zu Nackenschmerzen kommen kann. Die degenerierte Bandscheibe wurde anschließend mit feinen Löffeln und Faszangen ausgeräumt. Im Rahmen der Dekompression wurde, wenn nötig, das hintere Längsband entfernt.

Die kartilaginösen Endplatten der beteiligten Wirbel wurden mit dem Ziel einer knöchernen Fusion mittels eines scharfen Löffels oder einer Kürette abgeschabt. Die Hinterkanten der Wirbelkörper wurden, wenn sie osteophytär verändert waren, mit einem Rosenbohrer entfernt. Abschließend wurde das freigelegte Bandscheibenfach an seinen Rändern mit einem Häkchen untersucht, um letzte freie Teilchen, Fragmente oder Sequester zu entfernen. Nun erst erfolgte der eigentliche Fusionsvorgang (siehe Abb. 03).

Mit einem 5mm-Rosenbohrer wurde ein Loch in die angrenzenden Endplatten gebohrt. Dann wurde das freie Bandscheibenfach mit Gelitta u-förmig so ausgelegt, dass die Dura zum einen optimal vor thermischen Schäden geschützt, zum anderen eine Art Aushärtungsform für den Knochenzement gegeben ist.

Nach dem Einbringen des PMMA wurde auf Grund der Hitzeentwicklung bei der Polymerisation ständig mit Kochsalzlösung gespült. Im Anschluss an die Aushärtungsphase erfolgte die finale Blutstillung, die Sperrer wurden gelöst und der Situs wurde verschlossen.

Nach der Operation wurden alle Patienten nach dem gleichen Protokoll behandelt, welches Physiotherapie nach einer Genesungszeit von mindestens 6 Wochen vorsah.

2.5 Postoperative klinische Daten

Um die Patienten bezüglich ihrer aktuellen postoperativen klinischen Symptome zu evaluieren, wurden die im Folgenden erklärten, klinisch etablierten Fragebögen bzw. Frageverfahren zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung genutzt.

2.5.1 Visuelle Analogskala (VAS)

Die visuelle Analogskala ist seit der Erstbeschreibung als graphische Schätzskaala 1921 durch Hayes⁶¹ bzw. nach weiterer detaillierter Beschreibung durch Scott und Huskisson⁶² ein allgemein anerkanntes Instrument zur Beurteilung von Schmerz jeglicher Genese. Es besteht mit dieser Methode nicht nur die Möglichkeit, den subjektiven Schmerz „fassbar“ zu machen, sondern auch ihn z.B. im Verlauf zu vergleichen.

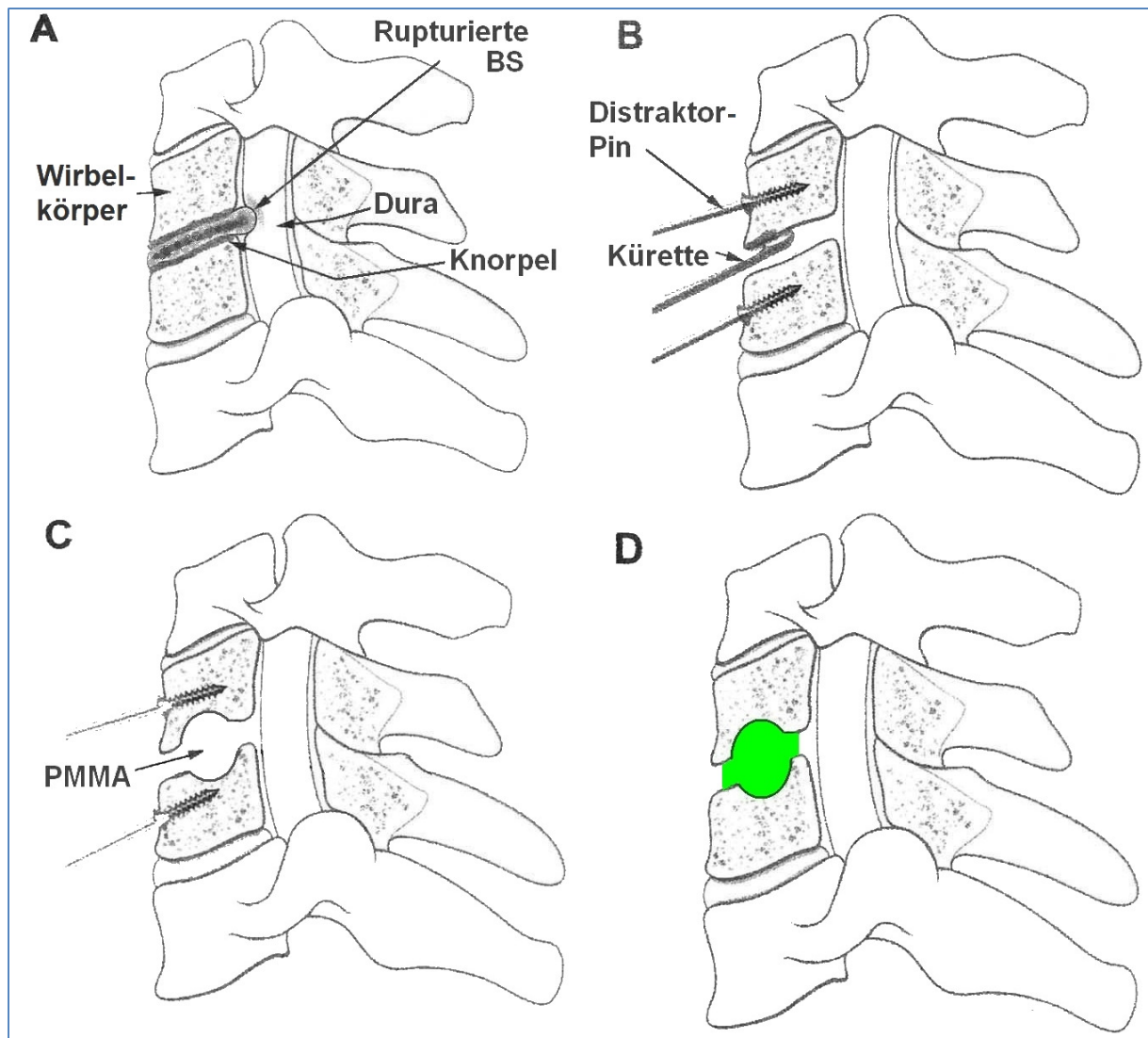


Abb. 03: Procedere der PMMA-Spondylodese⁶³

Die Patienten wurden in diesem Test gebeten ihre Schmerzintensität im rechten und linken Arm sowie im Nacken zu beschreiben, indem sie den jeweiligen Bereich auf der 10cm langen Skala ankreuzen. Der Anfang der Skala steht dabei für kein aktuelles Schmerzereignis, das Ende entspricht dem schlimmsten vorstellbaren Schmerz (siehe Abb. 03). Der von den Patienten angekreuzte Wert x wurde anschließend mit dem Lineal vermessen. Der auf Skala angekreuzte Bereich konnte durch den Rechenprozess $x\text{cm} \cdot 10 \cdot 1/\text{cm}$ in einen numerischen Wert überführt werden, wobei sich die Werte zwischen 0 und 100 wieder entsprechend der Einteilung der Skala aufteilen.

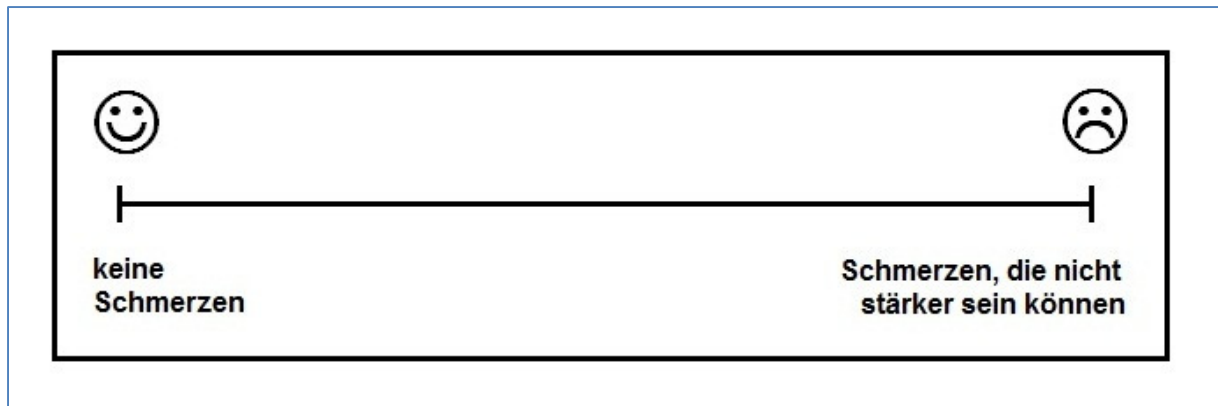


Abb. 04: Beispiel für die Darstellung einer visuellen Analogskala

2.5.2 The Neck Disability Index (NDI)

Der Neck Disability Index hat seinen Ursprung in England und stellt eine Modifikation des "Oswestry Low Back Pain Disability Index" (ODI) dar, welcher 1980 von Fairbank und seinen Mitarbeitern in Oswestry, England, entwickelt wurde⁶⁴.

Der NDI dient der Quantifizierung von schmerzbedingten Beeinträchtigungen bezüglich der Halswirbelsäule und wurde 1989 von Howard Vernon entwickelt. Vernon veröffentlichte dann zwei Jahre später zusammen mit Mior die Resultate einer Studie über Reliabilität und Validität des NDI⁶⁵.

Der NDI-Fragebogen, der von den Patienten selbstständig ausgefüllt wurde, befasst sich, ähnlich wie der ODI, mit zehn Parametern des täglichen Lebens, mit dem Ziel der Evaluierung der individuellen Leistungsfähigkeit. Diese Parameter sind im Einzelnen: Schmerzintensität im Nacken, persönliche Pflege, Heben, Lesen, Kopfschmerzen, Konzentration, Arbeit, Fahren (z.B. Auto, egal ob Fahrer oder Beifahrer), Schlaf und Freizeit. Bei jedem der zehn Bereiche hat der Patient die Wahl zwischen einer von sechs möglichen Aussagen, die auf einer Ordnungsskala zwischen 0 und 5 zu bewerten sind.

Ein Wert von 0 indiziert dabei, dass keine schmerzbedingte Beeinträchtigung des entsprechenden Lebensbereichs besteht. Ist der Patient nicht in der Lage, die benannte Aktivität auszuführen, bedingt dies einen Wert von 5. Dies resultiert dann in einem minimalen NDI-Wert von 0 und einem maximalen Wert von 50. Multipliziert man den erhaltenen Wert mit dem Faktor 2, ist eine leichter verständliche Angabe der Beeinträchtigung des Patienten in Prozent, im Gegensatz zur Angabe eines nominellen Wertes zwischen 0 und 50, möglich.

2.5.3 Odoms-Score

Der 1958 von Odom und seinen Mitarbeitern entwickelte Auswertungsbogen ermöglicht eine Einschätzung des Operationserfolgs aus Sicht des Patienten⁶⁶. Es standen den Patienten bei der Befragung vier Auswahlmöglichkeiten zur Verfügung, die sich auf einer Ordinalskala anordnen. Gewählt wurde diejenige, welche den postoperativen Zustand am besten widerspiegelt.

Der Erfolg der Operation konnte dementsprechend dann als hervorragend, gut, ausreichend oder mangelhaft bzw. zur statistischen Auswertung mit den Schulnoten 1-4 beschrieben werden (siehe Abb. 04).

Hervorragend	Alle präoperativen Symptome haben sich gelindert, anormale Befunde haben sich verbessert
Gut	Kaum noch präoperative Befunde, anormale Befunde unverändert oder verbessert
Ausreichend	Erleichterung von einigen präoperativen Symptomen, andere Symptome unverändert oder geringfügig verbessert
Mangelhaft	Symptome und Anzeichen unverändert oder verschlechtert

Abb. 05: Odoms-Score

2.6 Postoperative radiologische Daten

Im Rahmen der Nachuntersuchung wurden an der neurochirurgischen Klinik bei allen Patienten mit Wirbelsäulenimplantaten standardmäßig jeweils vier Röntgenaufnahmen der Halswirbelsäule durchgeführt. Im lateralen Strahlengang erfolgten Aufnahmen bei maximaler In- und Reklination, sowie bei neutraler, „normaler“ Kopfhaltung. Dazu wurde die Halswirbelsäule zusätzlich im anterior-posterior Strahlengang in neutraler Stellung abgebildet. Voraufnahmen der HWS waren bei der überwiegenden Mehrheit der Patienten nicht mehr verfügbar.

2.6.1 Segmentaler und zervikaler Lordosewinkel der HWS

Im lateralen Strahlengang konnte die Vermessung des segmentalen Lordosewinkels sowie des zervikalen Lordosewinkels vorgenommen werden. Dabei ging es nicht um die Feststellung eines abnormen Haltungsmusters, sondern vielmehr um die

mögliche Korrelation von radiologischen Befunden und Degeneration. Da jeder Mensch über ein persönliches „Profil“ der Halswirbelsäule verfügt, das nicht nur einer natürlichen Schwankungsbreite unterliegt, sondern auch von Alter und Geschlecht abhängig ist, muss eine Klassifikation von normal und pathologisch kritisch betrachtet werden. So zeigte sich in einer im Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics veröffentlichten Studie, dass die Lordose der Halswirbelsäule bei Männern signifikant stärker ausgeprägt ist als bei Frauen⁶⁷.

Zur Vermessung wurde der sogenannte Cobb-Winkel herangezogen, welcher ursprünglich in anterior-posteriorer Durchleuchtung, später auch im lateralen Strahlengang zur Klassifikation der Skoliose Anwendung gefunden hatte⁶⁸. Es wird segmental gemessen, wobei ein Segment aus einer Bandscheibe und den beiden dazugehörigen Bandscheiben besteht. Vermessen wird dabei der Winkel zwischen einer Senkrechten der Parallelen zur Deckplatte des oberen Wirbels und der Senkrechten zur Parallelen der Bodenplatte des unteren Wirbels (siehe Abb. 06). Damit das Bewegungssegment HWK 2/3 in der Messung des zervikalen Lordosewinkels mit enthalten ist, wurde dieser als Winkel zwischen den Senkrechten der Parallelen zur Bodenplatte von HWK 2 und HWK 7 gemessen.

Bei unklaren radiologischen Verhältnissen, beispielsweise bei schräg dargestellten oder nicht zu erkennenden Endplatten, wurde zusätzlich der Winkel zwischen den Parallelen der Wirbelkörperhinterkanten vermessen und gegebenenfalls das arithmetische Mittel gebildet. Bei gut zu beurteilenden radiologischen Befunden wurde allein die Methode nach Cobb unter Nutzung der Endplatten angewandt.

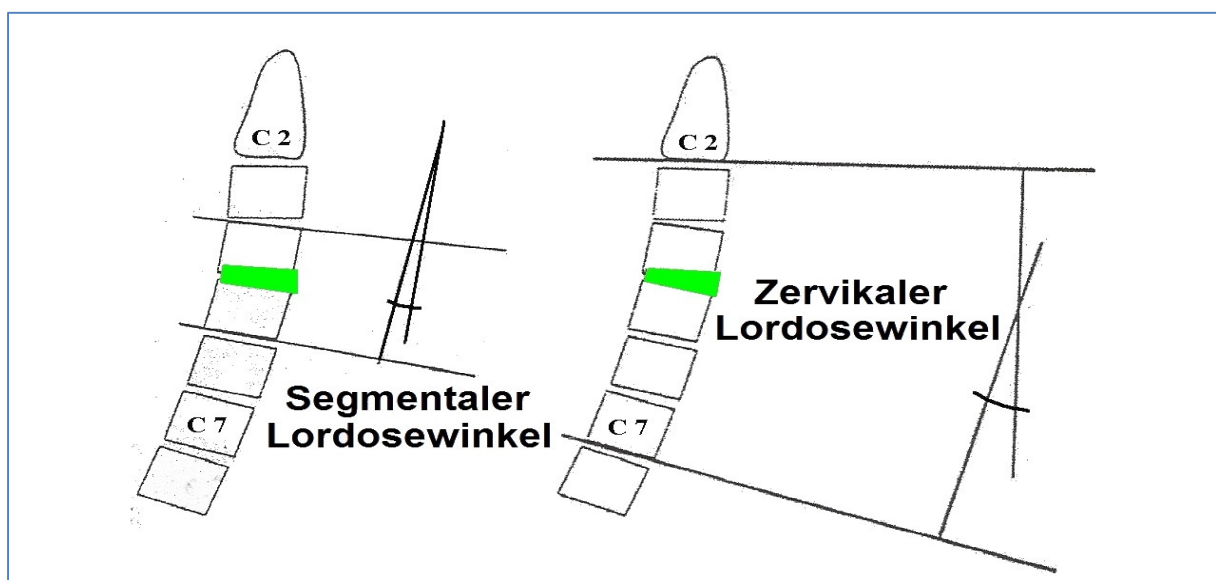


Abb. 06: Darstellung der Vermessung des segmentalen- und des zervikalen Lordosewinkels⁶⁹

2.6.2 Beurteilung der zervikalen Bewegung

Der Cobb-Winkel wurde ebenfalls zur Vermessung der zervikalen Bewegung genutzt. Dabei wurde zuerst der zervikale Lordosewinkel (siehe Absatz 2.7.1) einmal bei maximaler Reklination und einmal bei maximaler Inklinasion gemessen. Der Umfang der zervikalen Bewegung in Grad zwischen HWK 2 und HWK 7 ergab sich dann als Differenz zwischen dem Cobb-Winkel bei Reklination und Inklinasion (siehe Beispiel Abb. 06)

Cobb-Winkel bei max. Reklination	Cobb-Winkel bei max. Inklinasion	Umfang der Bewegung HWK 2 - HWK 7
+10° (lordotischer Winkel)	-5° (kyphotischer Winkel)	15°
<u>Rechnung:</u> $10^\circ - (-5^\circ) = 15^\circ$		

Abb. 07: Beispiel zur Berechnung der zervikalen Beweglichkeit

2.6.3 Beurteilung der segmentalen Bewegung

Hierbei wurde ebenfalls die Berechnung der Bewegung über die Cobb-Winkel bei maximaler Re- und Inklinasion in einem Segment vorgenommen.

Dieser Teil der HWS wurde durch Junghanns passend beschrieben. Er prägte dabei den bei dieser Untersuchung ausschlaggebenden Begriff des „Bewegungssegments“⁷⁰, das auch als „functional spinal unit“ (FSU) bezeichnet wird. Zwei Wirbelkörper mit den Wirbelgelenken und die dazwischen liegende Bandscheibe mit Bandapparat werden dabei als funktionelle Einheit verstanden.

2.6.3.1 Bewegung im operierten Segment

Bezugnehmend auf eine Studie von Hacker und seinen Mitarbeitern⁷¹, gilt bei einer Bewegung von weniger als 2° im Bewegungssegment dieses als komplett versteift (Gruppe A¹_{No-Move}). Bei einer Bewegung von 2° oder mehr im Bewegungssegment ist dieses nicht versteift bzw. beweglich (Gruppe A²_{Move}). Anwendung fand außerdem

die ebenfalls von Hacker beschriebene „Overlay“-Methode⁷¹. Diese dient der Kontrolle der Ergebnisse der Winkelvermessung durch den Nachweis von möglicher Deckungsgleichheit im operierten Segment bei übereinander gelegten Röntgenfunktionsaufnahmen.

Ebenso diene auch die Vermessung des interspinösen Abstands in den Funktionsbildern zur weiteren Verifizierung von Bewegung.

Das Vorhandensein von kontinuierlichen dorsalen oder ventralen Knochenbrücken wurde in Arbeiten von McAfee⁷² und Stauffer⁷³ als ein weiteres Merkmal für Fusion im Sinne völlig aufgehobener Bewegung beschrieben und bei der Auswertung der Röntgenbilder ebenfalls mitberücksichtigt.

In der Abbildung 08 ist als Beispiel für Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ der Idealfall der Spondylodese dargestellt. Eine komplette knöcherne Durchbauung der Wirbel ist zu erkennen. Im Vergleich dazu ist bei Gruppe A^2_{Move} mit erhaltener segmentaler Bewegung deutlich sichtbar, dass sich bei Re- und Inklination sowohl der ventrale Abstand der Wirbelkörperkanten als auch der dorsale Abstand zwischen den Dornfortsätzen ändert. Eine kontinuierliche Knochenbrücke ist nicht zu erkennen.

2.6.3.2 Bewegung in den Anschlusssegmenten

Die Beurteilung der Bewegung in den Segmenten, die direkt an die operierten Wirbel angrenzen, ist im Rahmen der Beurteilung der Degeneration wichtig. Auch hierbei soll kein quantitatives, sondern ein vergleichendes Ergebnis ausgewertet werden, da die normale segmentale Bewegung, ebenso wie die Anatomie der HWS, einer großen natürlichen Schwankung unterliegt.

2.6.4 Anschlusssegmentdegeneration der HWS

Die Frage nach ASD wurde an radiologischen Kriterien ausgewertet. Diese galt als vorhanden, wenn im lateralen Strahlengang zum einen anteriore und/ oder posteriore Osteophyten, zum anderen eine Höhenminderung im Bandscheibenfach im Vergleich zu anderen kranial oder kaudal liegenden Bewegungssegmenten zu erkennen waren⁷⁴ (siehe Abb. 09).

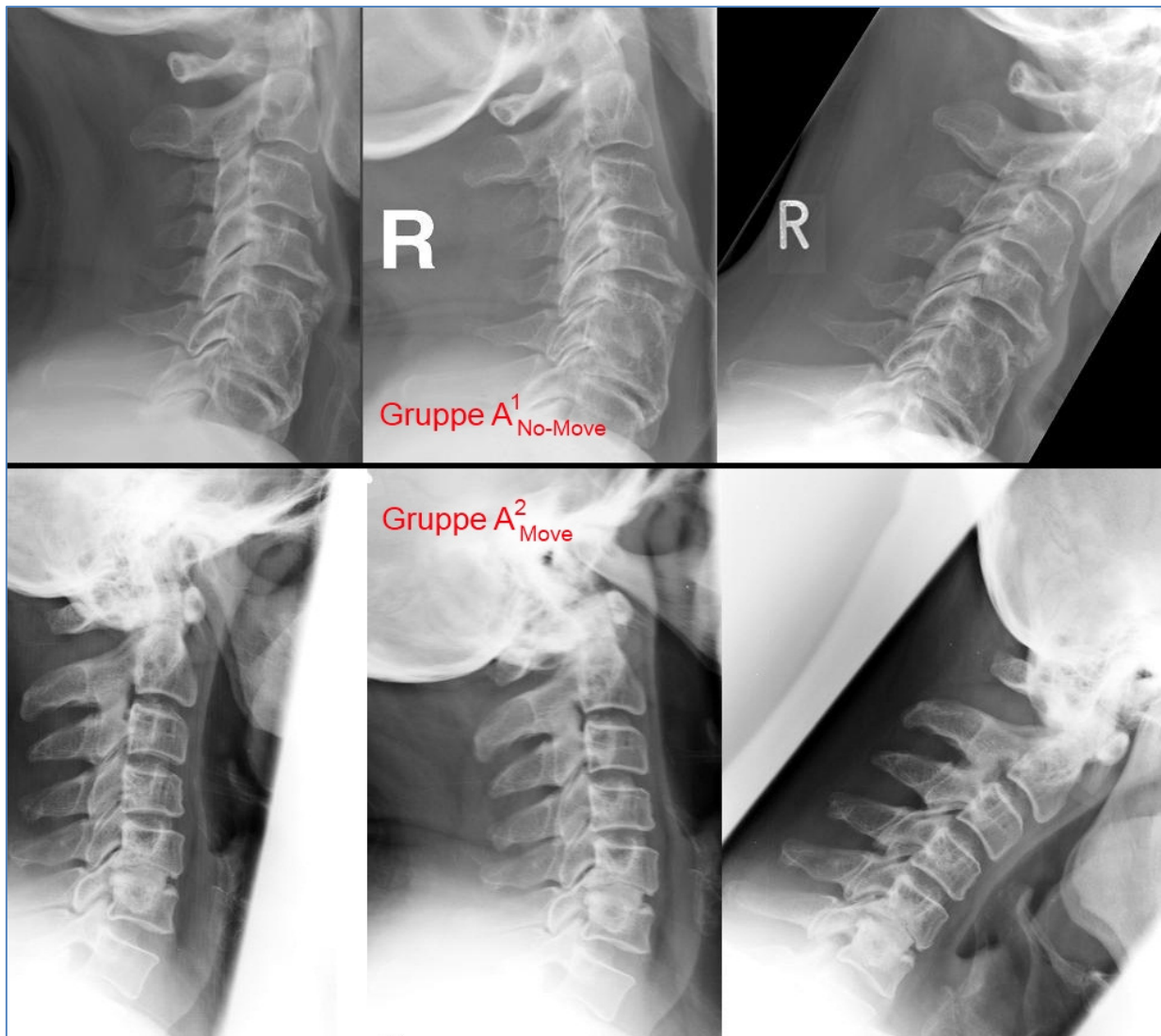


Abb. 08: Funktionsaufnahmen der HWS bei nicht erhaltener und erhaltener segmentaler Bewegung HWK 5/6 (NN, Reklination, Inklination)

2.7 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Programm PASW Statistics 18, Version 18.0.0 (30.07.2009) der Firma SPSS Inc., an IBM Company.

Nominale Daten wurden dem Chi-Quadrat-Test nach Pearson unterzogen. Skalierte und ordinale Daten wurden zunächst mittels Kolmogorow-Smirnow-Tests hinsichtlich ihrer Verteilung untersucht. Bei normalverteilten Daten erfolgte die Auswertung dann durch den T-Test, bei verteilungsfreien Daten wurde der Mann-Whitney-U-Test angewendet (siehe Abb. 10). Alle Daten waren unabhängig voneinander. Als Signifikanzgrenze wurde $p < 0,05$ angenommen.

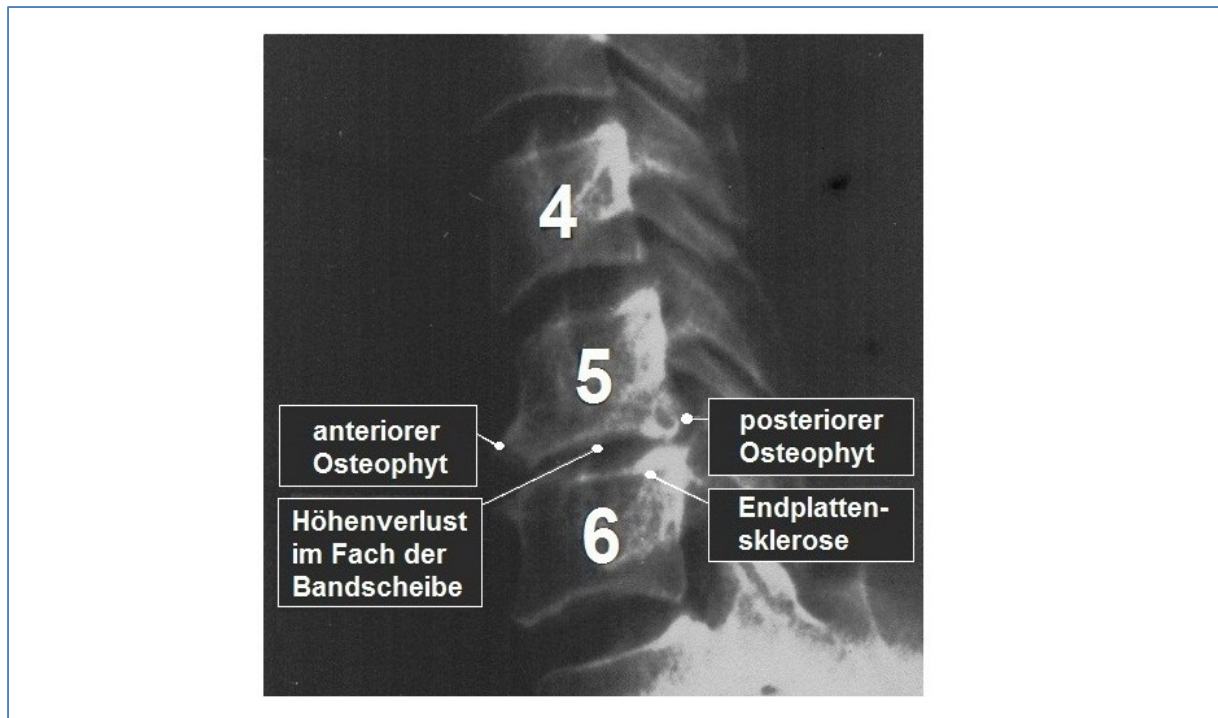


Abb. 09: Kriterien zur Beurteilung der Degeneration der HWS⁷⁴

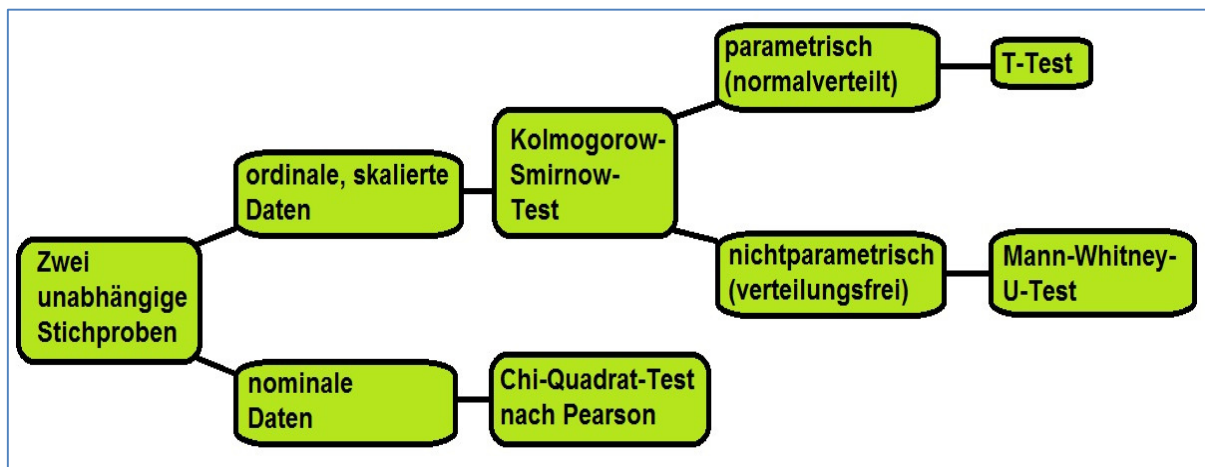
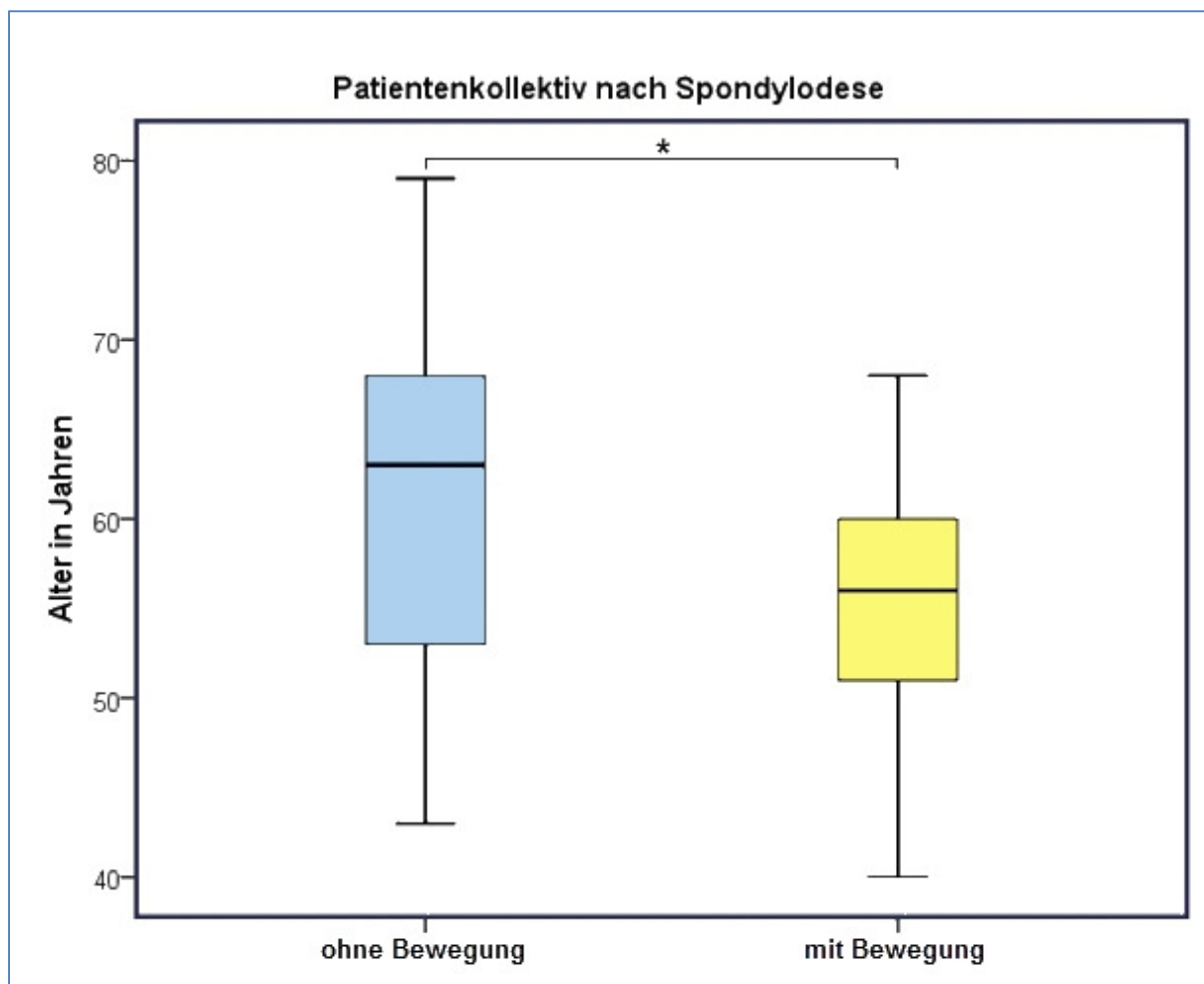


Abb. 10: Algorithmus der statistischen Auswertung

3 Ergebnisbeschreibung

3.1 Ergebnisse klinischer Daten Gruppen A^1 , A^2

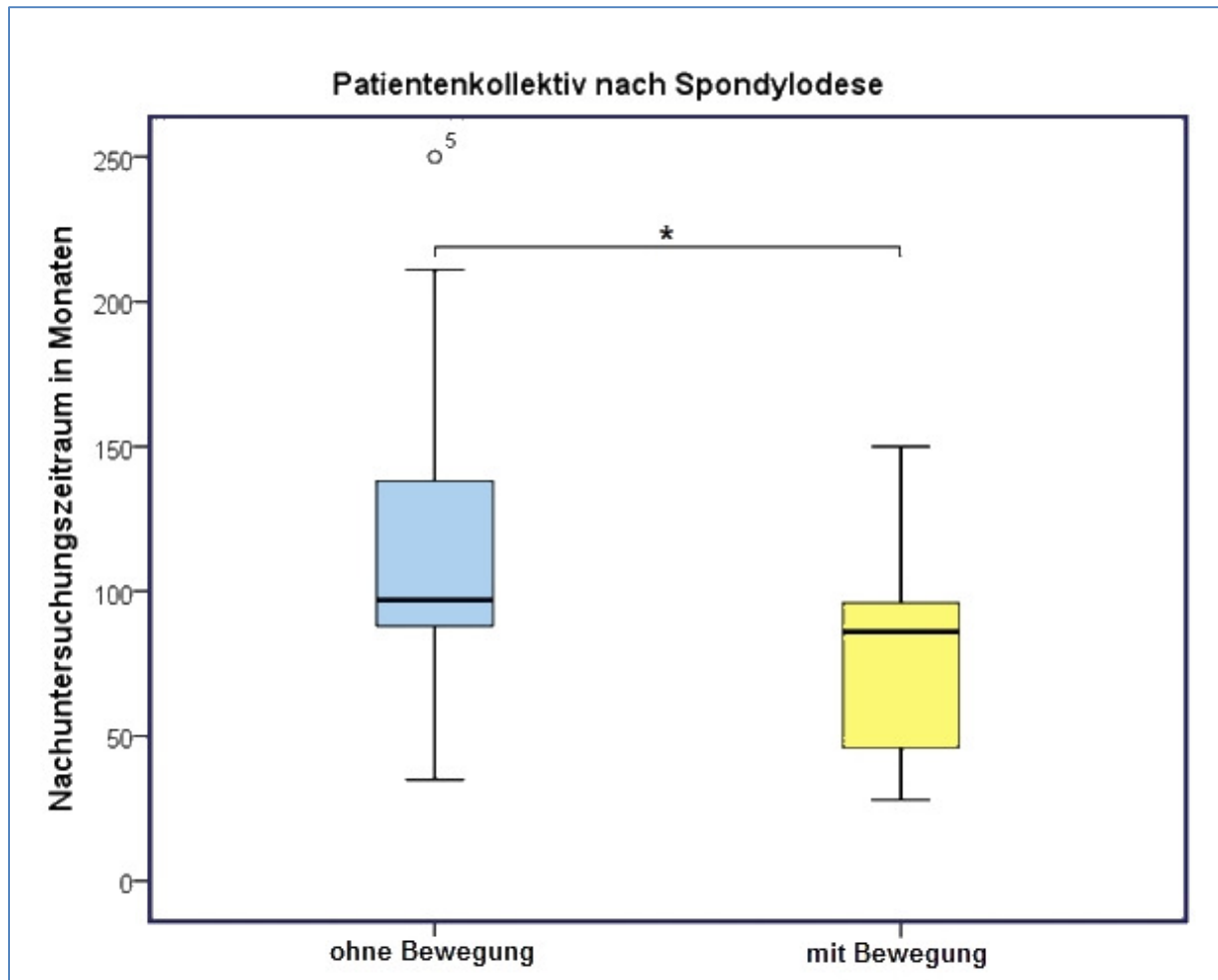
3.1.1 Alter der Patienten



Diagr. 01: Patientenalter der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}

Insgesamt wurden 50 Patienten für eine Nachuntersuchung erfasst. Bei 33 von ihnen (66%) konnte radiologisch keine Bewegung im operierten Segment nachgewiesen werden (Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$). Die anderen 17 Patienten (34%) zeigten Zeichen der Bewegung in den Funktionsaufnahmen (Gruppe A^2_{Move}). Das Patientenalter lag zwischen 40 und 79 Jahren und damit durchschnittlich bei 58,4 (SD: $\pm 9,5$). Das Alter beider Gruppen unterschied sich zum Zeitpunkt der Untersuchung signifikant ($p=0,027$; T-Test). Es lag in Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ zwischen 43 und 79 Jahren, also im Durchschnitt bei 60,6 Jahren (SD: $\pm 9,4$), wobei die Gruppe A^2_{Move} durchschnittlich 54,3 Jahre (SD: $\pm 8,2$) alt war, bei einer Spanne zwischen 40 und 68 Jahren.

3.1.2 Zeitraum zwischen OP und Untersuchung

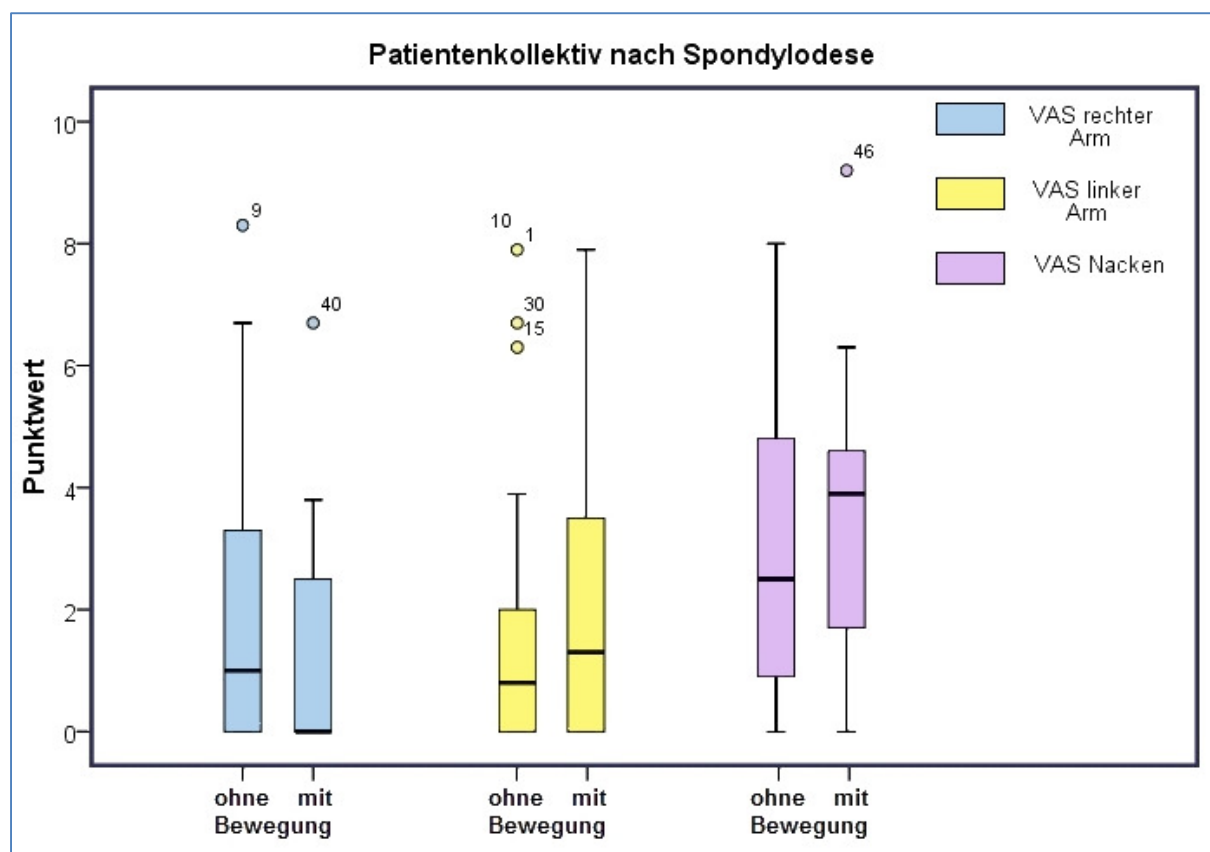


Diagr. 02: Nachuntersuchungszeitraum der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}

Der Zeitraum, in welchem die Patienten postoperativ nachuntersucht wurden, lag zwischen 28 und 250, im Mittel bei 99 Monaten (SD: $\pm 43,9$). Es besteht ein signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p=0,034$; T-Test).

250 Monate war die längste Zeitspanne, 35 die kürzeste in Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$. Der Durchschnitt lag bei 108,4 Monaten (SD: $\pm 45,6$). Gruppe A^2_{Move} wurde mit 80,8 Monaten (SD: $\pm 34,9$) im Schnitt mehr als zwei Jahre früher untersucht. Hier lag die Spanne des Nachuntersuchungszeitraums zwischen 28 und 150 Monaten.

3.1.3 VAS rechter Arm, linker Arm, Nacken



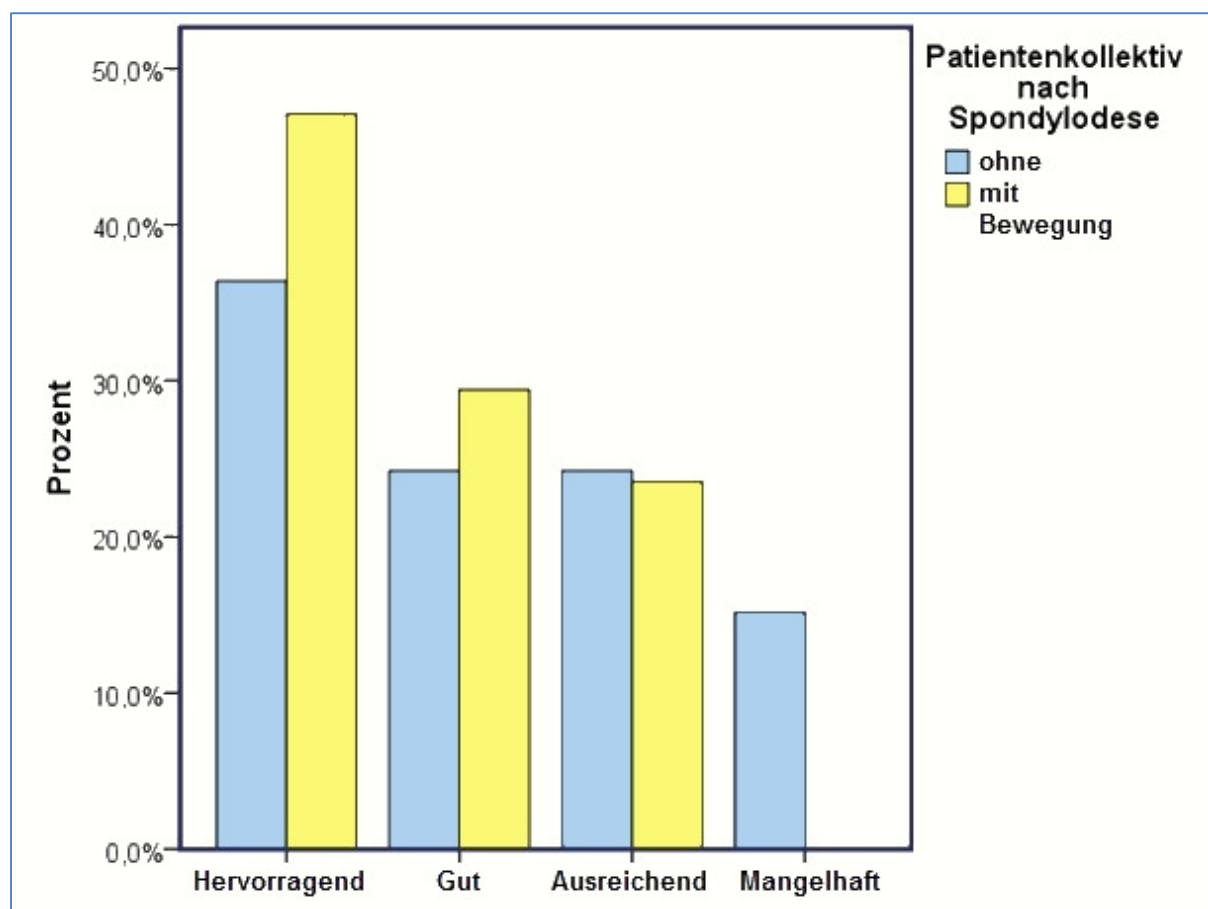
Diagr. 03: Schmerzen laut VAS der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}

Hinsichtlich der postoperativen Schmerzsymptomatik im rechten und linken Arm sowie im Nacken, laut der visuellen Analogskala, unterschieden sich die beiden Gruppen geringfügig. Der Nackenschmerz wurde bei der Gruppe A^2_{Move} maximal 9,2, minimal 0 eingestuft und betrug durchschnittlich 3,5 (SD: $\pm 2,3$). Bei Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ lag der Wert im Schnitt bei 2,8 (SD: $\pm 2,3$), bei einer Spanne zwischen 8 und 0. Dieser Unterschied war nicht signifikant ($p=0,346$; T-Test).

Ähnlich verhielt es sich mit Schmerzen in den Armen. Die Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ gab diesen im rechten Arm zwischen 0 und 8,3 an, bei einem Median von 1. Die Schmerzspanne war bei Gruppe A^2_{Move} etwas geringer (0 - 6,7), bei einem Median von 0. Auch diese Abweichungen waren ohne statistische Signifikanz ($p=0,330$; Mann-Whitney-U-Test).

Die Schmerzen im linken Arm unterschieden sich zwischen den Gruppen ebenso nur geringfügig (Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$: Median = 0,8; Spanne 0 - 8,1 versus Gruppe A^2_{Move} : Median = 1,3; Spanne 0 - 7,9) und waren ohne statistische Signifikanz ($p=0,634$; Mann-Whitney-U-Test).

3.1.4 Odoms-Score



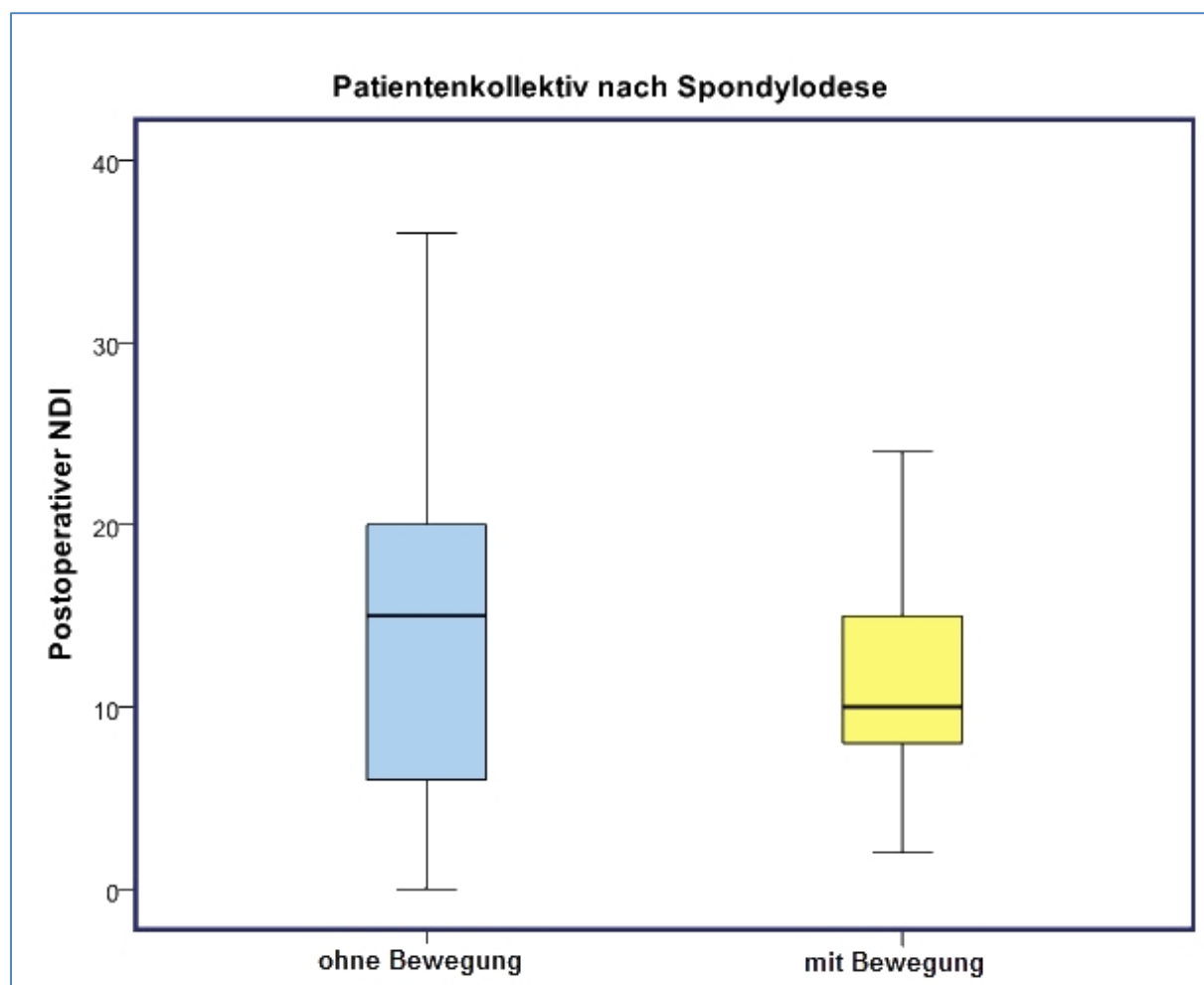
Diagr. 04: OP-Zufriedenheit auf dem Odoms-Score der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}

Bei der Auswertung der Zufriedenheit mit dem operativen Ergebnis zeigt sich wie bei den Daten zur Schmerzsymptomatik, dass die Bewegung im operierten Segment nicht mit dem klinischen Zustand korreliert.

Der Vergleich der Ergebnisse des Odoms-Score konnte keinen signifikanten Unterschied erkennen lassen ($p=0.224$, Mann-Whitney-U-Test).

Der Median beider Gruppen lag bei 2 (Gut). Jedoch ist zu erkennen, dass nicht nur der prozentuale Anteil des als hervorragend eingeschätzten Operationsergebnisses in der Gruppe A^2_{Move} höher ist, sondern auch kein Patient das persönliche Operationsergebnis als mangelhaft eingeschätzt hat.

3.1.5 Neck Disability Index

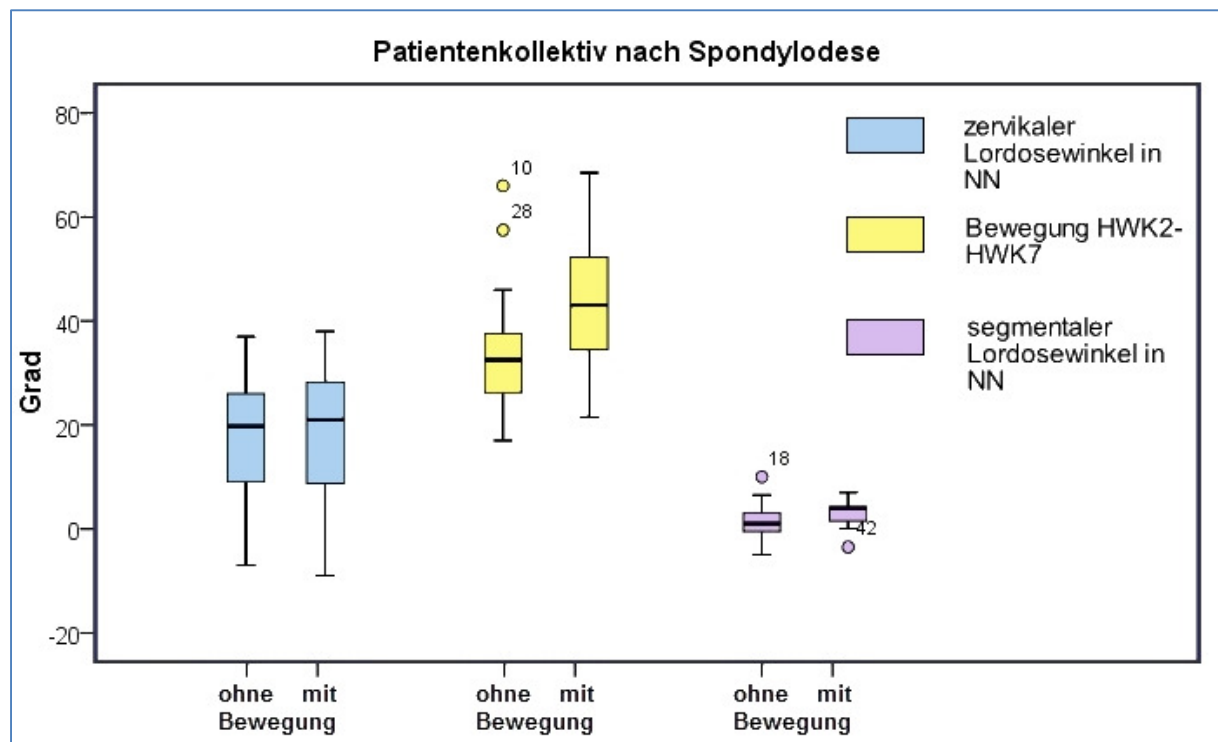


Diagr. 05: NDI der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}

Der postoperative Neck Disability Index zeigte zwischen den Gruppen keinen signifikanten Unterschied ($p=0,418$; T-Test). Im Mittel lag er bei der Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ mit 13,7 (SD: $\pm 9,4$) mehr als 2 Punkte über dem der Gruppe A^2_{Move} ($11,6 \pm 6,7$). Auch die Spannweite war bei Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$, mit Werten zwischen maximal 36 und minimal 0, weiter als bei Gruppe A^2_{Move} (0 - 24).

3.2 Ergebnisse radiologischer Daten Gruppen A¹, A²

3.2.1 Zervikaler und segmentaler Lordosewinkel, Bewegung der HWS



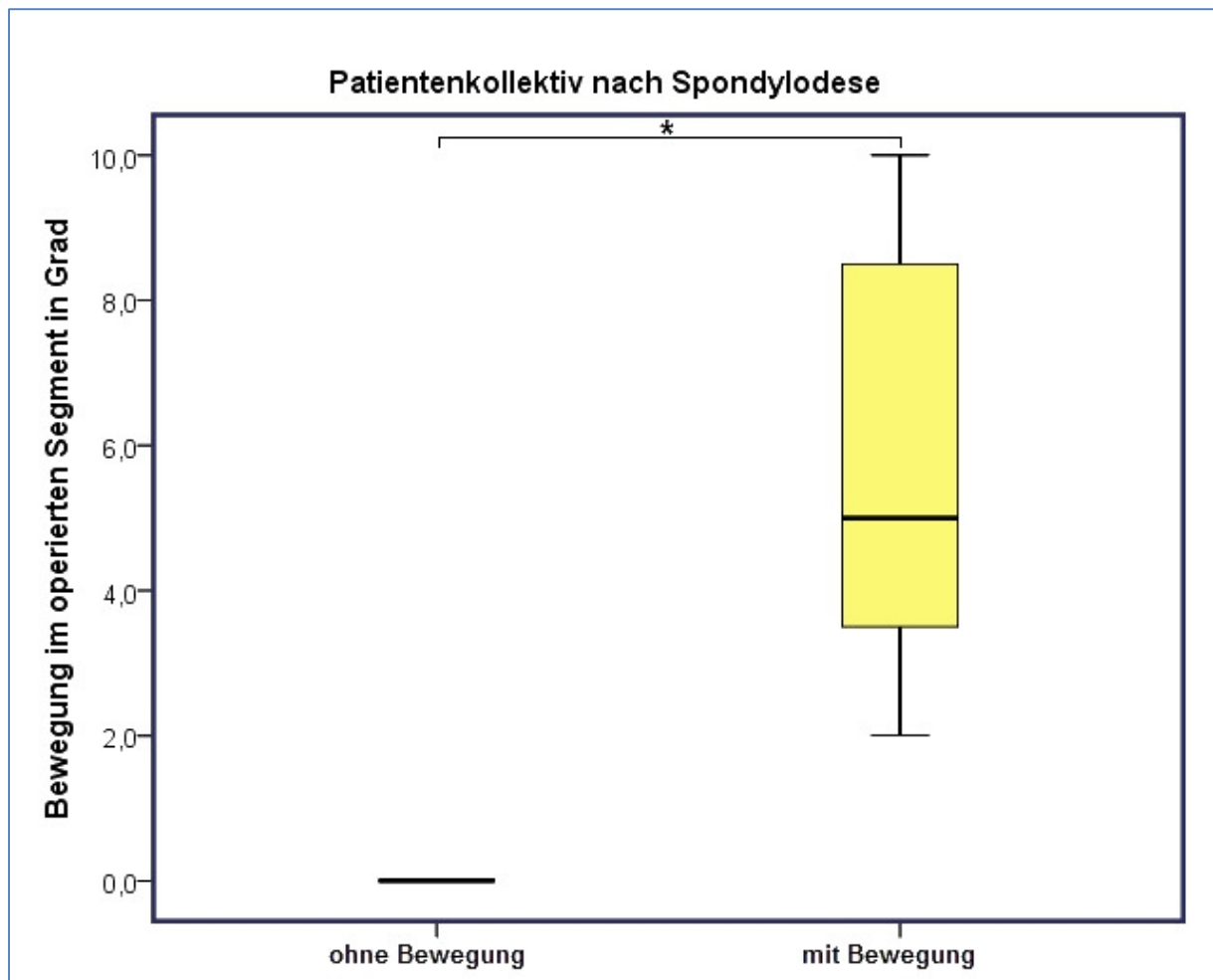
Diagr. 06: Stellung und Beweglichkeit der HWS der Gruppen A¹_{No-Move}, A²_{Move}

Der zervikale Lordosewinkel in NN lag insgesamt im Schnitt bei 18,4° (SD: ±12,3) und war mit ebenfalls 18,4° in beiden Gruppen identisch (Gruppe A¹_{No-Move}: SD: ±12,0 Versus Gruppe A²_{Move}: SD: ±13,3; p=0,998; T-Test). In Gruppe A²_{Move} lagen die Winkel zwischen -9° und 38°, in Gruppe A¹_{No-Move} zwischen -7° und 37°.

Der segmentale Lordosewinkel betrug im Mittel 1,7° (SD: ±3,0) und war bei der Gruppe A²_{Move} 1,5° größer (Gruppe A²_{Move}: 2,7°±2,6; Spanne -3,5°-7° versus Gruppe A¹_{Move}: 1,2°±3,1; Spanne -5°-10°), was jedoch nicht statistisch signifikant war (p=0,094; T-Test).

Die Beweglichkeit der unteren HWS zwischen den Wirbelkörpern HWK 2 bis 7 unterschied sich signifikant (p=0,014; T-Test). Im Durchschnitt lag diese bei 36,9° (SD: ± 12,3) mit einer Differenz von fast 10° zwischen den zwei Gruppen (Gruppe A²_{Move}: 42,8°±13,0; Spanne 21,5°-68,5° versus Gruppe A¹_{Move}: 33,5°±10,6; Spanne 17°-66°).

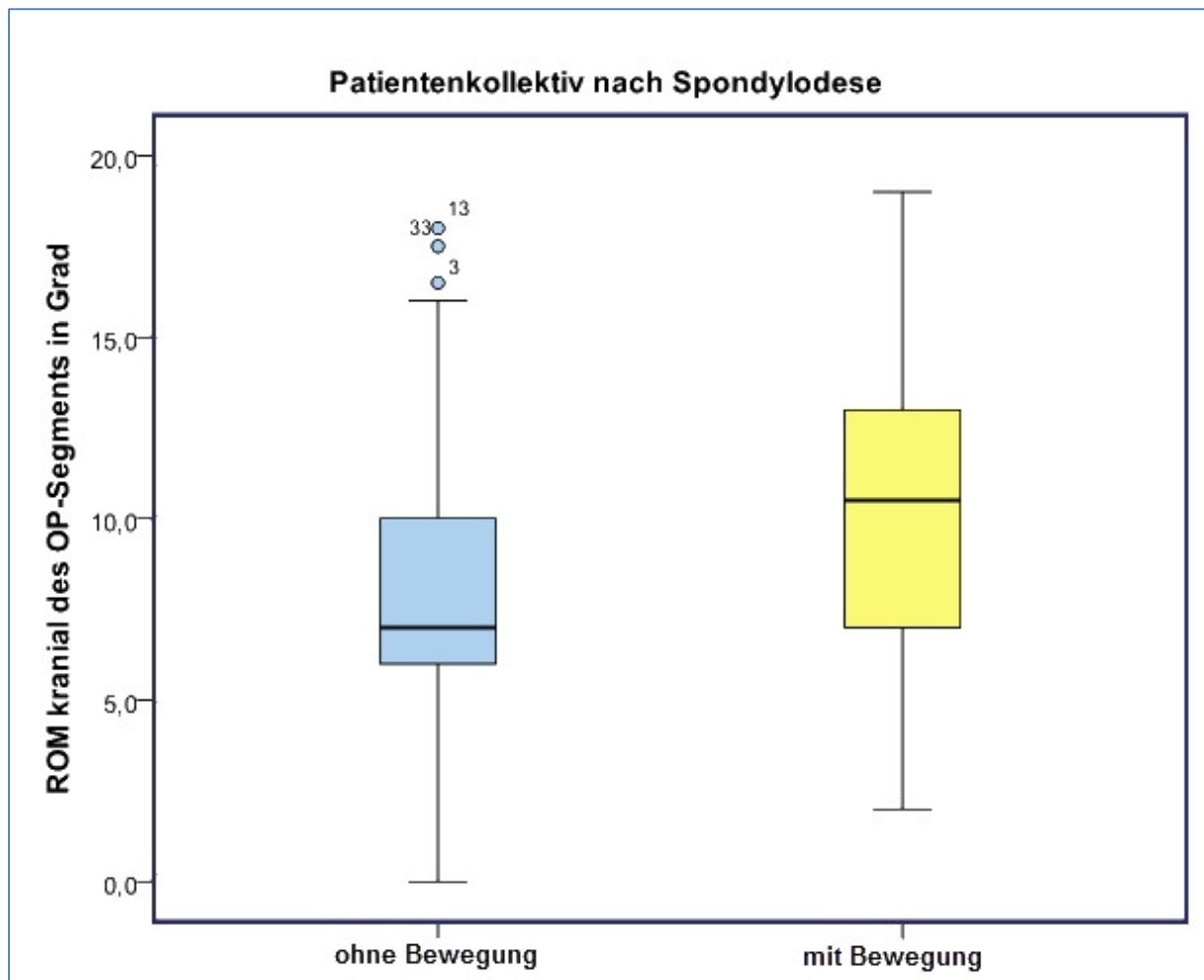
3.2.2 Bewegung im operierten Segment



Diagr. 07: Bewegung der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move} im operierten Segment

Die Bewegung in den operierten Segmenten der Gruppen A^1 , A^2 unterschied sich signifikant ($p < 0,001$). Die Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ wies keine Bewegung im OP-Segment auf. Bei Gruppe A^2_{Move} lag diese zwischen 2° und 10° , bei einem Median von 5° .

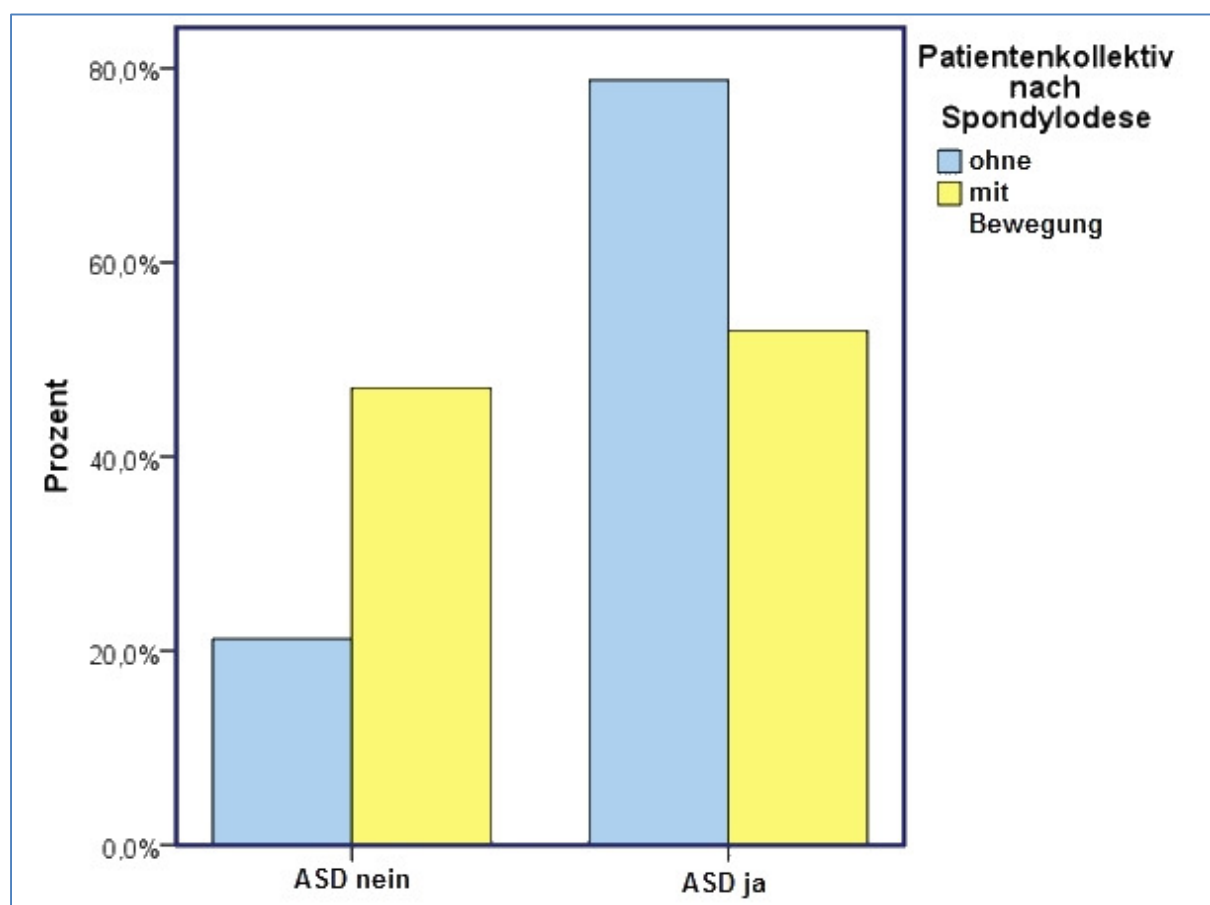
3.2.3 ROM kranial des operierten Segments



Diagr. 08: ROM der Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}

Der Bewegungsumfang im Segment kaudal des Operationsgebietes war in vielen Fällen auf Grund anatomischer Gegebenheiten bei den Patienten nicht zu vermessen. In den kranial angrenzenden Segmenten betrug der Mittelwert der Bewegung $8,8^\circ$ (SD: $\pm 4,6$). Diese war dabei in Gruppe A^2_{Move} im Schnitt mehr als 2° größer ($10,3^\circ \pm 4,3$; Spanne 2° - 19°) als in Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ ($8,0^\circ \pm 4,7$; Spanne 0° - 18°), ohne jedoch statistisch signifikant zu sein ($p=0,110$; T-Test).

3.2.4 Anschlusssegmentdegeneration der Gruppen A¹, A²



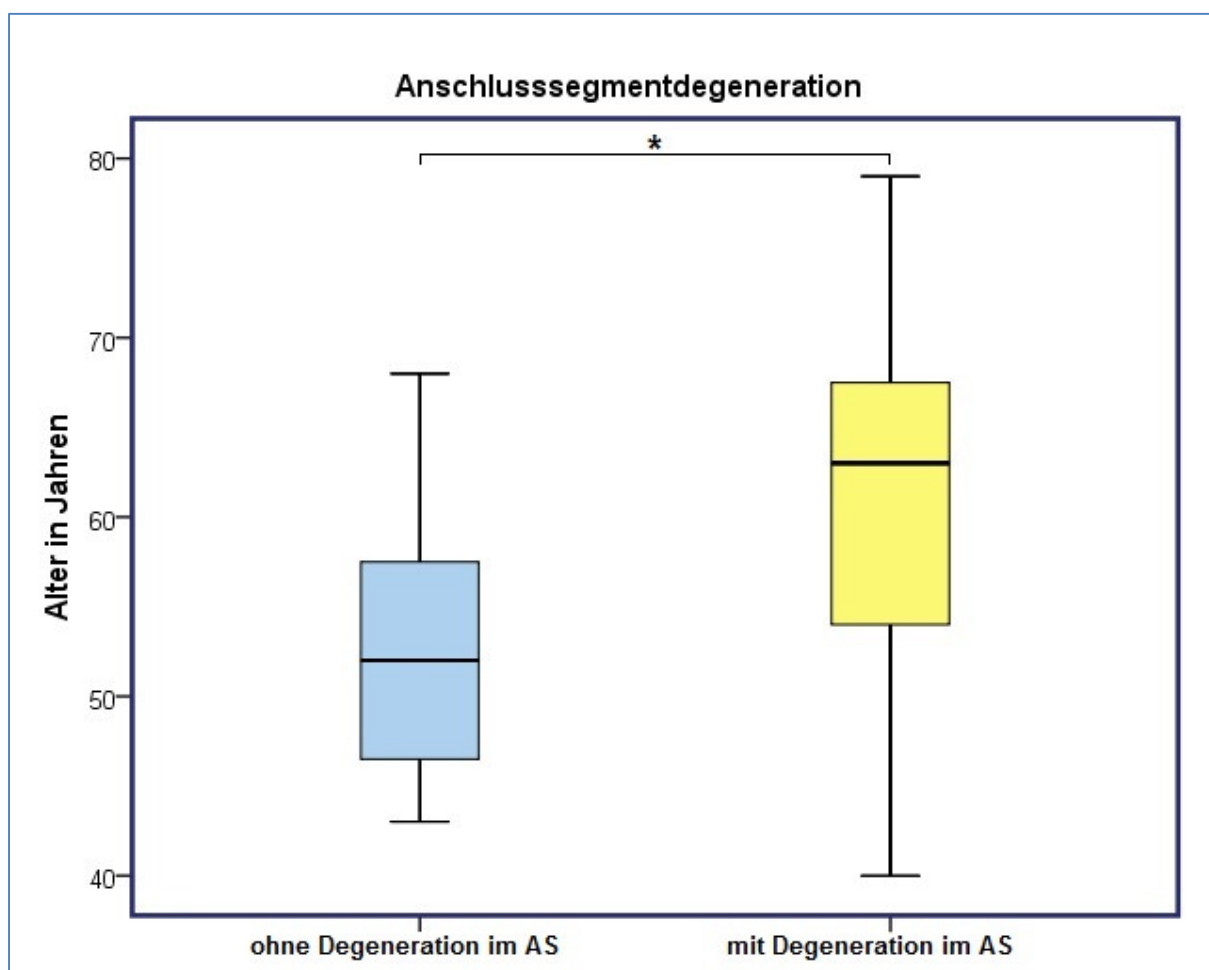
Diagr. 09: ASD der Gruppen A¹_{No-Move}, A²_{Move}

Eine weitere Frage war die nach der Korrelation zwischen Bewegung im operierten Segment und dem Auftreten der Anschlusssegmentdegeneration. Von den 50 untersuchten Patienten wiesen insgesamt 35 eine ASD auf. Davon waren 26 der Gruppe A¹_{No-Move} und 9 der Gruppe A²_{Move} zugehörig.

Dieser Gruppenunterschied war jedoch nicht statistisch signifikant ($p=0,06$; Chi-Quadrat nach Pearson), wenngleich eine Tendenz zum gehäuften Auftreten des Verschleißes bei operierten Patienten ohne erhaltener segmentaler Bewegung zu erkennen ist.

3.3 Ergebnisse klinischer Daten der Gruppen B¹, B²

3.3.1 Alter der Patienten

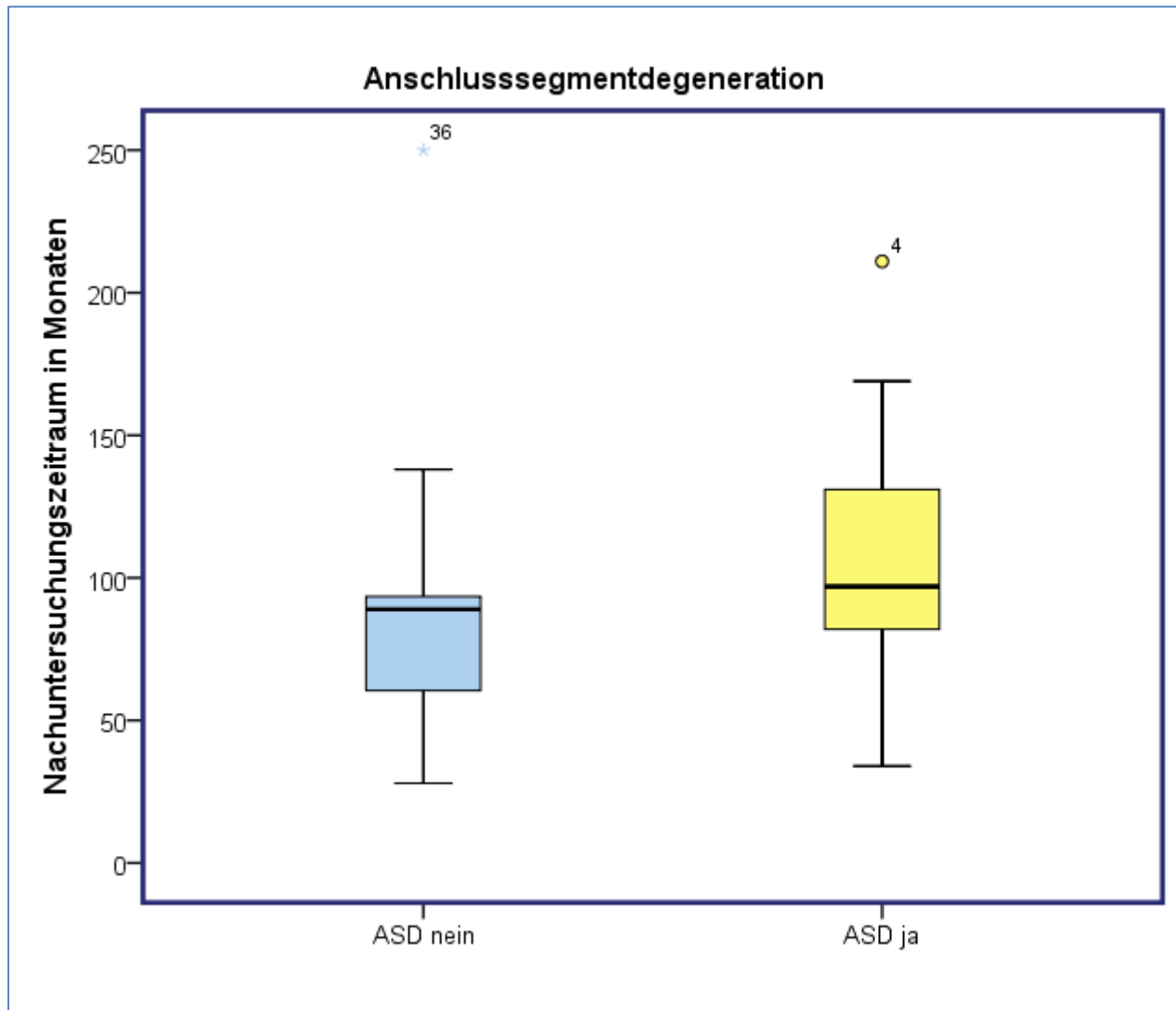


Diagr. 10: Patientenalter der Gruppen B¹_{No-ASD}, B²_{ASD}

Eine andere Fragestellung neben der, ob eine vollständige Bewegungsrestriktion eine Degeneration begünstigt, war die einer möglichen Ursache oder eines Prädiktors von ASD.

Bei der Gruppe B²_{ASD} lag die Altersspanne zwischen 40 und 79 Jahren und im Durchschnitt 7,3 Jahre ($60,6 \pm 9,2$) über der der Gruppe B¹_{No-ASD} ($53,3 \pm 8,2$), welche eine Spanne zwischen 43 und 68 Jahren aufwies. Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,011$; T-Test).

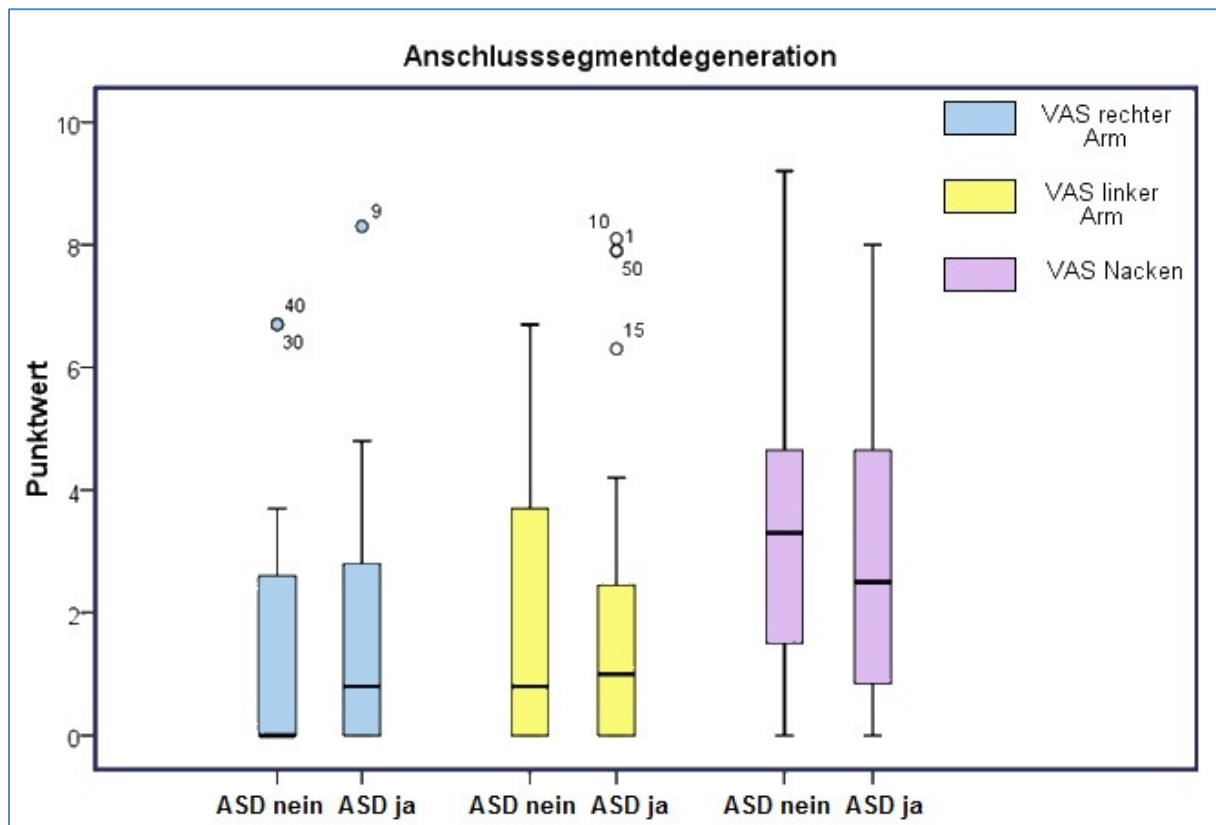
3.3.2 Zeitraum zwischen OP und Untersuchung



Diagr. 11: Nachuntersuchungszeitraum der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}

Bei der Betrachtung des Nachuntersuchungszeitraums zeigt der Faktor Zeit als nicht signifikante Einflussgröße hinsichtlich ASD ($p=0,321$; T-Test). Bei Gruppe B^2_{ASD} lag der Zeitraum zwischen OP und Kontrolle minimal bei 34 und maximal bei 211, im Mittel bei 103,1 Monaten (SD: $\pm 39,0$). Bei Gruppe $B^1_{\text{No-ASD}}$ war der Durchschnitt bei 89,5 Monaten (SD: $\pm 54,0$) zu ermitteln. Der minimale Kontrollzeitraum lag bei 28 und maximal bei 250 Monaten. Die Tatsache, dass ein Patient fast 21 Jahre nach Diskektomie und Spondylodese keine Degeneration der Anschlusssegmente aufweist, unterstreicht möglicherweise noch einmal die Aussage der nicht signifikanten Korrelation beider Parameter.

3.3.3 VAS rechter Arm, linker Arm, Nacken



Diagr. 12: Schmerzen laut VAS der Gruppen B^1_{No-ASD} , B^2_{ASD}

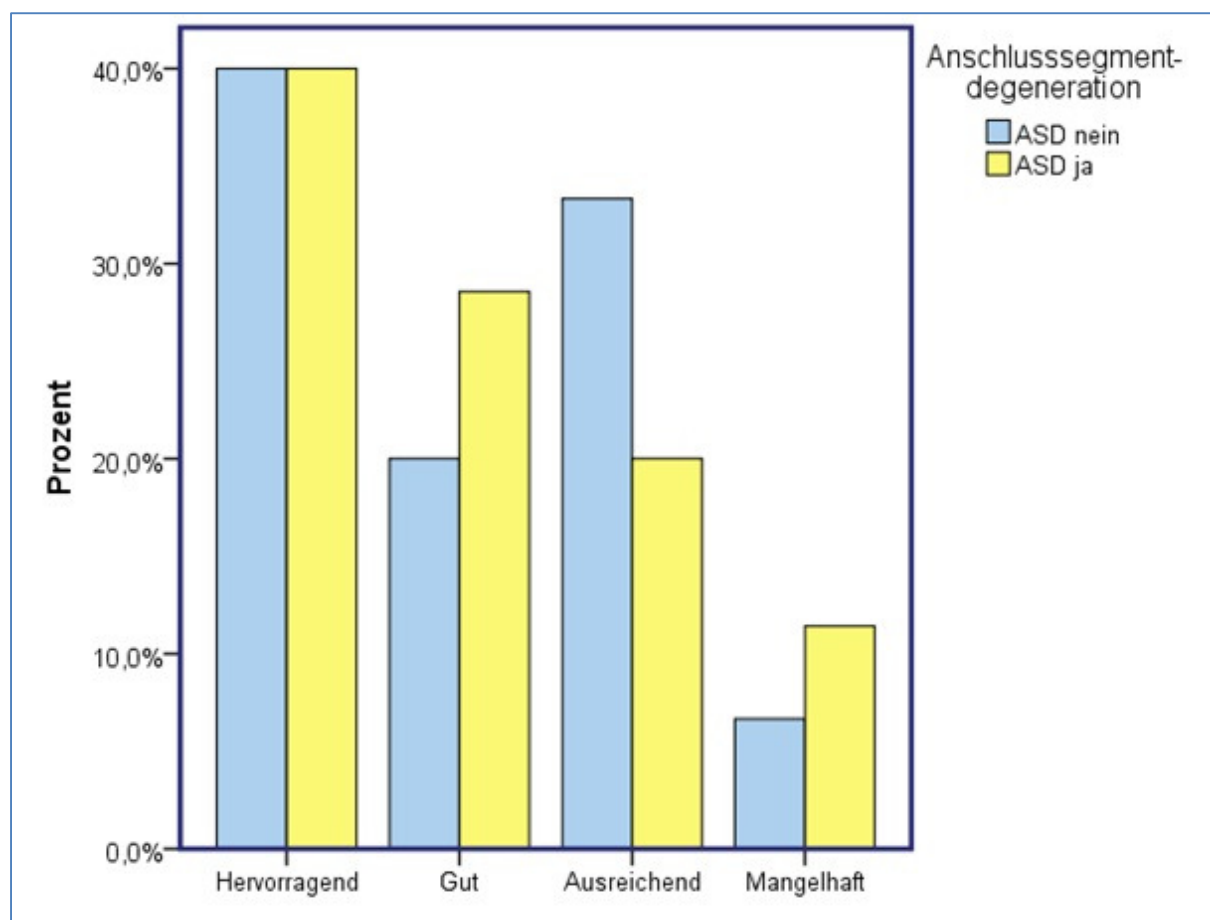
Die Frage nach dem Auftreten von Schmerzen im Zusammenhang mit ASD ist für eine mögliche Früherkennung von Bedeutung.

Die Nackenschmerzen der Gruppe B^1_{No-ASD} hatten eine Spanne laut VAS zwischen 0 und 9,2, während Gruppe B^2_{ASD} die Schmerzen zwischen 0 und 8 einschätzte. Die Mittelwerte wichen nur geringfügig voneinander ab, unterschieden sich daher auch nicht signifikant (Gruppe B^1_{No-ASD} : $2,9 \pm 2,3$ versus Gruppe B^2_{ASD} : $3,4 \pm 2,5$; $p=0,505$; T-Test).

Auch die Schmerzen im rechten ($p=0,595$; Mann-Whitney-U-Test) und im linken Arm ($p=0,726$; Mann-Whitney-U-Test) unterschieden sich nur gering, ohne statistische Signifikanz. Die Maximalwerte der Gruppe B^2_{ASD} lagen mit 8,3 (rechter Arm; Median = 0,8) und 7,9 (linker Arm; Median = 1) mehr als einen Punktwert über denen der Gruppe B^1_{No-ASD} mit 6,7 bei beiden Armen (rechts Median = 0; links Median = 0,8).

Zusammenfassend ist also zu sagen, dass sich Patienten hinsichtlich ihrer klinischen Schmerzsymptomatik nicht einer Gruppe zuordnen lassen.

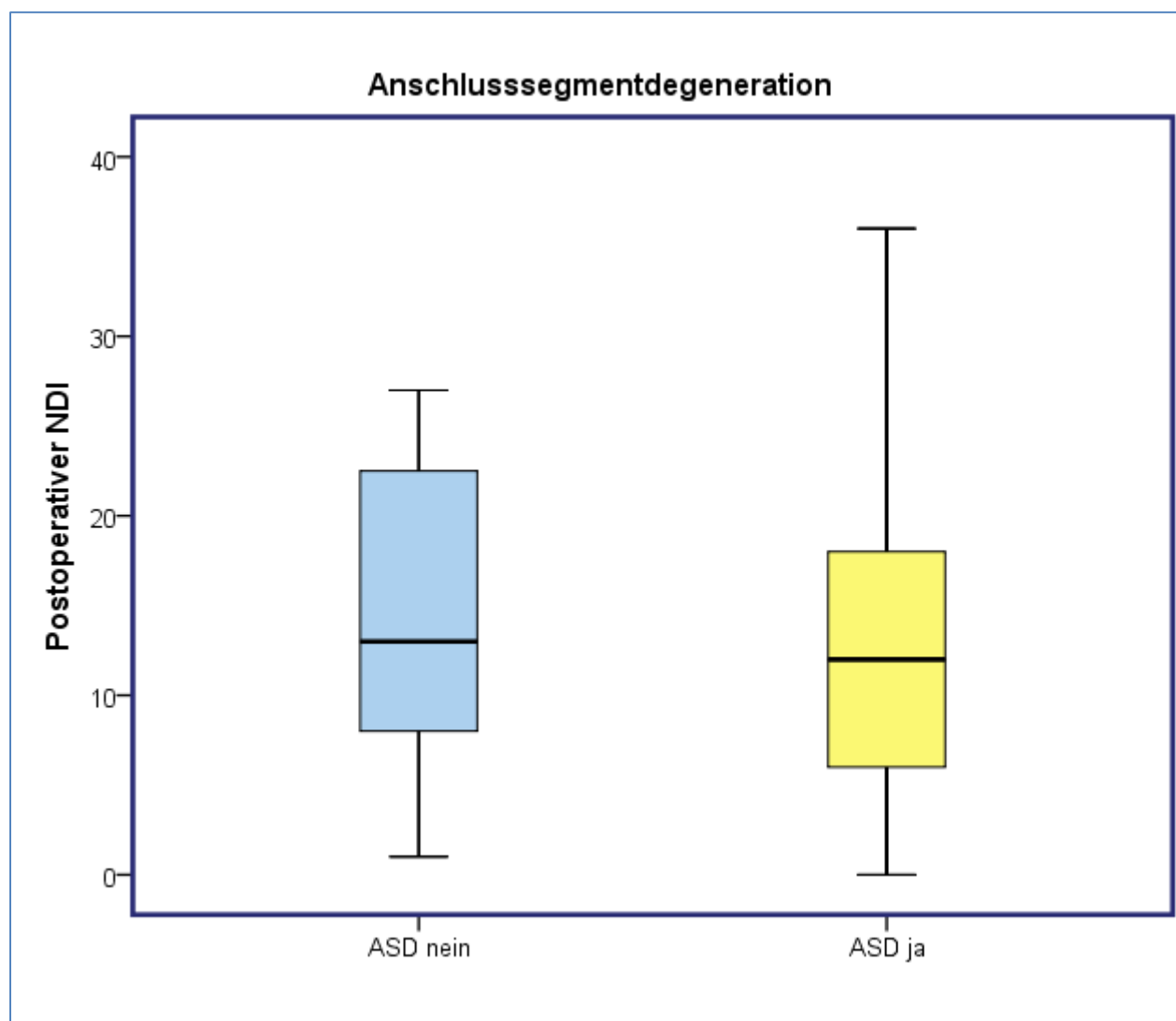
3.3.4 Odoms-Score



Diagr. 13: OP-Zufriedenheit auf dem Odoms-Score der Gruppen B¹_{No-ASD}, B²_{ASD}

Auch bezüglich der Zufriedenheit mit dem operativen Ergebnis und Verbesserung oder Aggravierung von Symptomen unterscheiden sich die Patienten mit und ohne ASD nicht signifikant ($p=0,876$; Mann-Whitney-U-Test). Das Ergebnis zeigt eine fast homogene Verteilung. In beiden Gruppen bewerteten mindestens 60% der Patienten das Operationsergebnis als hervorragend oder gut. Als prädiktiver Faktor hinsichtlich Degeneration und klinischem Erscheinungsbild kann also auch der Odoms-Score nicht betrachtet werden.

3.3.5 Neck Disability Index



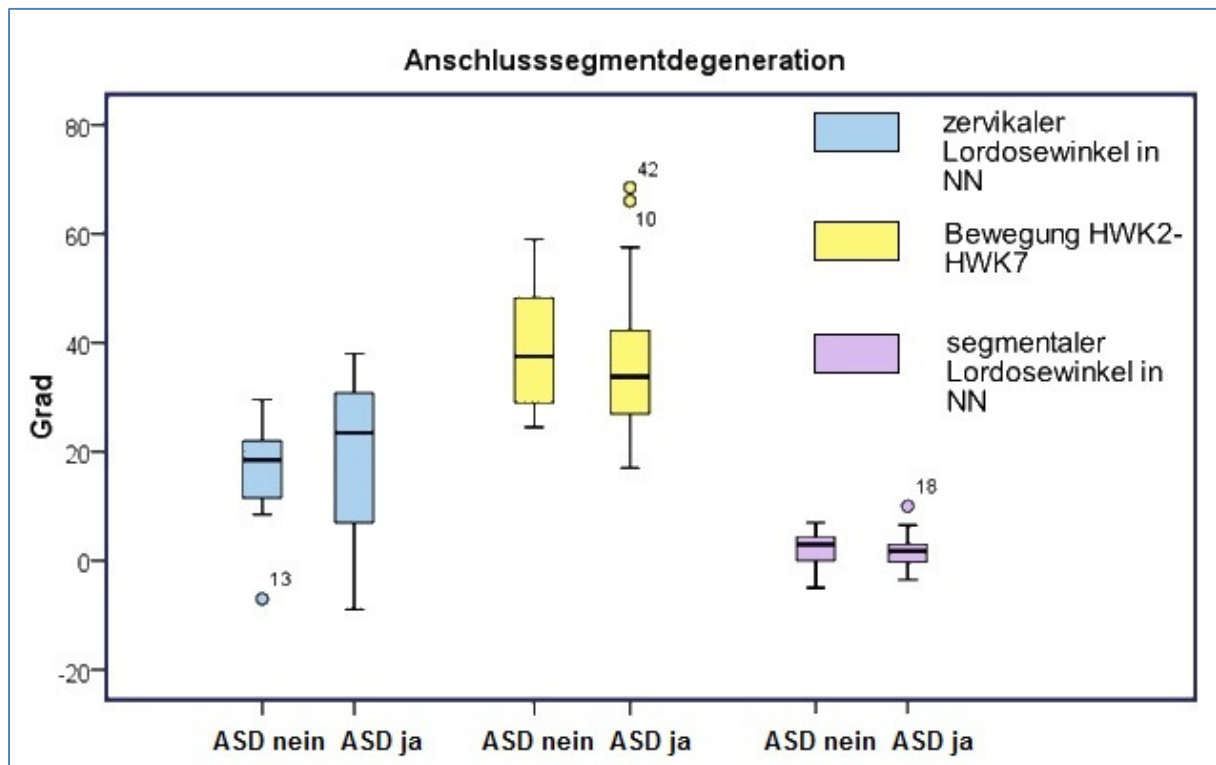
Diagr. 14: NDI der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}

Der Neck Disability Index stellt neben Schmerz und OP-Zufriedenheit den dritten klinischen Bewertungsparameter dar. Er unterscheidet sich ebenfalls zwischen den Gruppen nicht signifikant ($p=0,581$; T-Test). Obwohl die Spanne bei Gruppe B^2_{ASD} von minimal 0 bis maximal 36 Punkte reicht und das Maximum jenes der Gruppe $B^1_{\text{No-ASD}}$ um 9 Punkte überschreitet, liegt der Mittelwert 1,5 Punkte niedriger (Gruppe B^2_{ASD} : $12,5 \pm 8,5$ versus Gruppe $B^1_{\text{No-ASD}}$: $14,0 \pm 8,8$).

Es ist also auch hier und allgemein festzuhalten, dass das klinische Erscheinungsbild keine Aussage über Degeneration oder den Ist-Zustand der Anschlusssegmente nach Diskektomie und Spondylodese zulässt.

3.4 Ergebnisse radiologischer Daten der Gruppen B¹, B²

3.4.1 Zervikaler und segmentaler Lordosewinkel, Bewegung der HWS



Diagr. 15: Stellung und Beweglichkeit der HWS der Gruppen B¹_{No-ASD}, B²_{ASD}

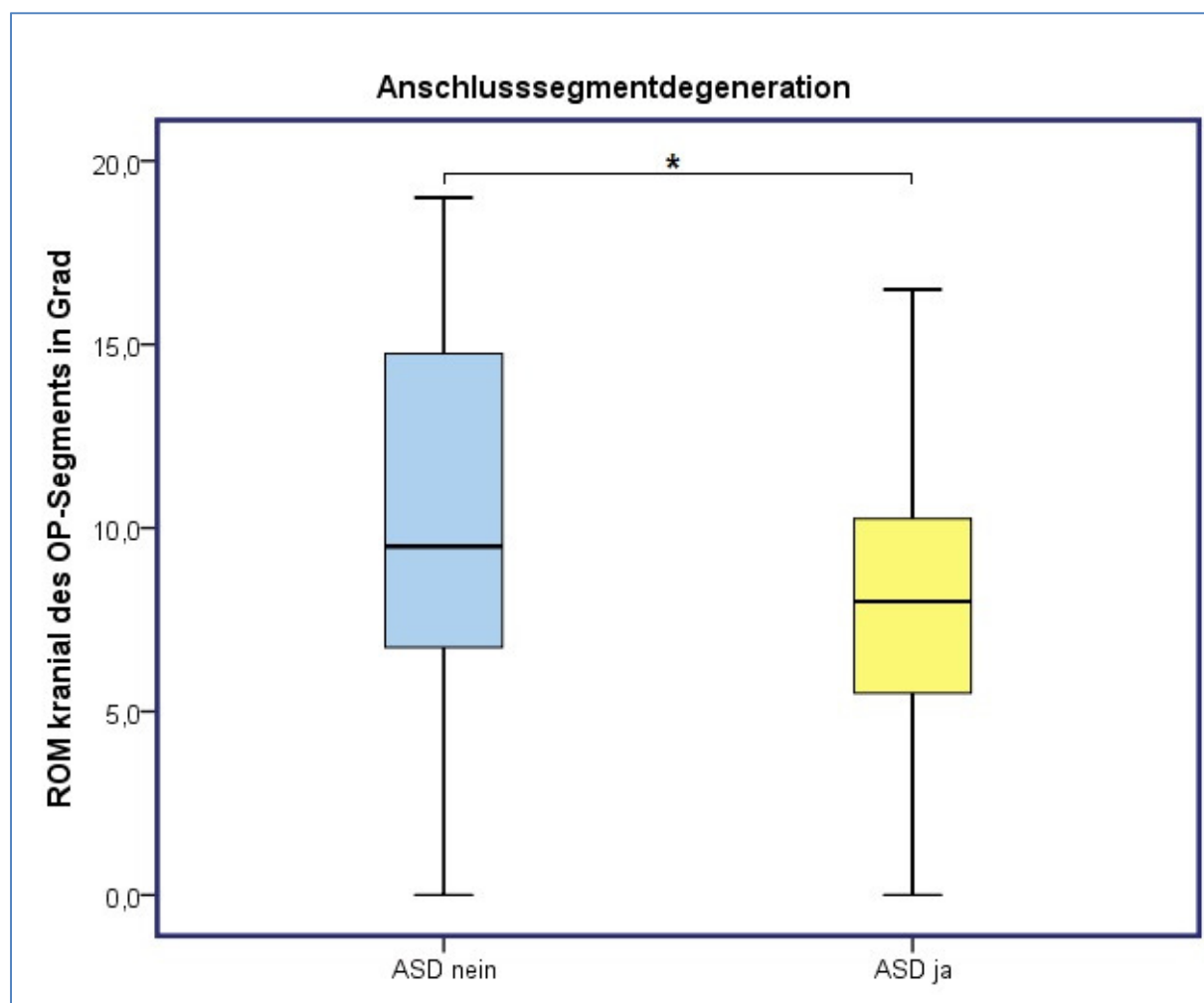
Diese Auswertung erfolgte mit der Frage nach möglicher anatomischer Korrelation zu ASD. Der zervikale Lordosewinkel in NN hatte in Gruppe B²_{ASD} eine Spanne zwischen -9° und 38° und lag im Mittel bei 19,3° (SD: ±13,1), während sich bei Gruppe B¹_{No-ASD} eine Spanne zwischen -7° und 29,5° ergab, und der Mittelwert bei 15,8° (SD: ±9,9) lag. Dieser Unterschied war nicht signifikant (p=0,418; T-Test).

Die Beweglichkeit der HWS lag insgesamt zwischen 17° und 68° und unterschied sich ebenfalls nicht signifikant (p=0,5; T-Test). Gruppe B²_{ASD} (17°-68°) hatte zwar verglichen zu Gruppe B¹_{No-ASD} (24,5°-59°) eine größere Spanne im Bewegungsumfang, im Mittel war die Beweglichkeit jedoch geringer (Gruppe B²_{ASD}: 36,1°±12,6 versus Gruppe B¹_{No-ASD}: 39,0°±11,7).

Der segmentale Lordosewinkel des operierten Segmentes in NN der Gruppe B¹_{No-ASD} lag im Schnitt bei 2,5° (SD: ±3,1), bei einer Spanne zwischen -5° und 7°. Bei Gruppe B²_{ASD} lag dieser zwischen -3,5° und 10°, im Mittel bei 1,4° (SD: ±2,9). Dieser geringe Unterschied war nicht signifikant (p=0,233; T-Test). Bewertend ist anzumerken, dass

in der Untersuchung kein signifikanter Hinweis für eine Korrelation zwischen Anatomie und ASD gefunden wurde.

3.4.2 ROM kranial des operierten Segments



Diagr. 16: ROM der Gruppen B^1_{No-ASD} , B^2_{ASD}

Bei fast gleicher Spanne der ROM beider Gruppen im Bewegungssegment kranial der Fusion, war diese im Mittel in Gruppe B^1_{No-ASD} 3° größer (Gruppe B^2_{ASD} : $7,9 \pm 4,1$; Spanne 0° - $16,5^\circ$ versus Gruppe B^1_{No-ASD} $10,9 \pm 5,4$; Spanne 0° - 18°). Dieser Unterschied war statistisch signifikant ($p=0,038$; T-Test).

Dieses Ergebnis kann als Ausdruck der fortgeschrittenen Degeneration mit dem Versuch der natürlichen Einschränkung des Bewegungsumfangs durch den Organismus gewertet werden.

4 Diskussion

Die 50 in die Nachuntersuchung eingeschlossenen Patienten, wurden hinsichtlich der Parameter „Bewegung im operierten Segment“ ($A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move}) und „Anschlusssegmentdegeneration“ ($B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD}) in zwei Gruppen unterteilt. Bei der Betrachtung der postoperativ erhobenen, klinischen Parameter, wie der aktuellen Schmerzsymptomatik, Funktionseinschränkungen im täglichen Leben und der postoperativen Zufriedenheit konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move} ermittelt werden. Wie zu erwarten, zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ und Gruppe A^2_{Move} bei der Beweglichkeit der HWS zwischen HWK 2 und HWK 7 ($p=0,014$) sowie der Beweglichkeit im operierten Segment ($p<0,001$). Außerdem waren das Patientenalter ($p=0,024$) und der Nachuntersuchungszeitraum ($p=0,034$) von Gruppe $A^1_{\text{No-Move}}$ signifikant höher. Das Auftreten der Anschlusssegmentdegeneration unterschied sich zwischen den beiden Gruppen nicht signifikant ($p=0,06$). Lediglich ein Trend hin zum verstärkten Auftreten von Degeneration bei kompletter Bewegungseinschränkung im operierten Segment war zu erkennen.

Bei der statistischen Auswertung der Gruppen $B^1_{\text{No-ASD}}$, B^2_{ASD} zeigten sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich postoperativer Zufriedenheit, Schmerzsymptomatik oder Funktionseinschränkungen.

Das Alter der Gruppe B^2_{ASD} war signifikant erhöht ($p=0,011$). Die Beweglichkeit im kranial der OP-Höhe angrenzenden Segment war bei dieser Gruppe signifikant verringert ($p=0,038$).

4.1 Die Fusionsrate im Literaturvergleich

Die Implantation von trikortikalem Beckenkammknochen galt viele Jahre als Goldstandard bei der zervikalen Spondylodese. Obwohl bei dieser Operationsmethode sehr gute Fusionsraten erzielt werden können⁷⁵⁻⁷⁹, führten Bedenken hinsichtlich der Komorbidität bei der Knocheneigenspende zur Suche nach neuen Materialien^{80, 81}. Bei mehr als einem Viertel der Patienten entstehen Schmerzen an der Entnahmestelle. In rund 11% der Fälle führt dies zur chronischen Einnahme von Analgetika, in 15% wird von Sensibilitätsstörungen berichtet¹⁶.

Mehrere verschiedene Ansätze wurden verfolgt, um die sogenannte „graft-site-morbidity“ zu verhindern. Titan-, PEEK- oder Carbon-Cages kommen in der Halswirbelsäulen Chirurgie zum Einsatz^{82, 83}, ebenso wie Allograft-Knochen, bei dem die Fusionsrate besonders hoch ist, wenn zusätzlich „bone-morphogenetic-proteins“ eingesetzt werden^{84, 85}.

Neben der Suche nach Ersatzmaterialien wurden auch die Möglichkeiten der Reduzierung der operationsbedingten Komorbidität erforscht. So wird von einigen Operateuren die Meinung vertreten, dass der Schmerz an der Entnahmestelle bei Knocheneigenspende hauptsächlich durch den Defekt des Knochens verursacht wird. Untersuchungen haben gezeigt, dass durch Deckung dieses Defekts die Komplikationsrate gesenkt werden kann^{86, 87}.

Als Interponat ohne die Notwendigkeit der zusätzlichen Knochenentnahme und mit hoher Primärstabilität wurde PMMA vor allem in Deutschland lange Zeit als Fusionsmaterial bei zervikalen Operationen favorisiert^{88, 89}. Da auf Grund der physikalischen Barriere des Zements keine echte Verbindung zur Knochenoberfläche entsteht, ist PMMA zwar für eine echte solide knöchernen Durchbauung nicht geeignet^{26, 27, 90}, es findet dennoch eine Stabilisierung durch Umbauung des Kunststoffes mit Knochen statt. Obwohl große Untersuchungsreihen niedrige Komplikationsraten zeigten^{30, 91}, gilt die Anwendung bei zervikalen Fusionsoperationen mittlerweile als veraltet und überholt, da sich bei einem PMMA-Interponat im Vergleich zu Titan-Cages die OP-Dauer signifikant erhöht^{92, 93}. Dies ist der zusätzlichen Vorbereitung des „Fusionsraums“ sowie der Aushärtungszeit des Materials geschuldet. Außerdem scheint PMMA in der Fähigkeit der Wiederherstellung der Höhe des Intervertebralraums und der Neuroforamina anderen Platzhaltern unterlegen zu sein. Die Möglichkeiten einer Graft-versus-Host Reaktion⁹⁴, einer toxischen Reaktion oder eines Problems, das durch die Polymerisationswärme hervorgerufen wird, sind trotz allgemein geringer Komplikationsrate gegeben.

In der vorliegenden Studie konnte eine Fusionsrate von 66% bei einem Nachuntersuchungszeitraum von durchschnittlich 8 Jahren und 3 Monaten ermittelt werden. Dies kann, verglichen mit der Beckenkamm-Fusion, als unzureichend betrachtet werden, spiegelt womöglich jedoch die niedrige Fusionspotenz von PMMA wieder. In der Literatur werden Fusionsraten von 28-66% nach 2-12 Jahren beschrieben^{27, 30, 93}. Bei Untersuchungen mit kurzem Follow-Up nach PMMA-

assistierter ventraler Diskektomie kann mitunter keine Fusion nachgewiesen werden, wenn diese als knöcherner Trabekulierung definiert wird⁹⁵ (siehe Tab. 01).

<u>Autor</u>	<u>Studie*</u>	<u>Hervorragend und Gut (Odoms-Score)</u>	<u>Fusionsrate</u>
Böker et al. (1989) ²⁸	PMMA-Fusion 83 Pat., Follow-Up 15-20 y	Nicht erhoben	90%
van den Bent et al. (1996) ²⁷	PMMA (39)/ Diskektomie (42) 81 Pat., Follow-Up 2 y	70% 77%	28% 63%
Hamburger et al. (2001) ³⁰	PMMA-Fusion 249 Pat., Ø 46 y; Ø Follow-Up 12 y	77,5%	53,8% (39 Pat.)
Jöllenebeck et al. (2001) ⁹²	PMMA-Fusion (100)/ Titan-Cage (100) 200 Pat., Ø 50 y; Follow-Up 7 d	95% 96%	Nicht erhoben
Korinth et al. (2006) ⁹⁶	PMMA-Fusion (124)/ Foraminotomie posterior (168) 292 Pat., Ø 46 y; Ø Follow-Up 6 y	93,6% 85,1%	Nicht erhoben
Schröder et al. (2007) ⁹³	PMMA-Fusion (53)/ Titan-Cage (54) 107 Pat., Ø 45 y; Follow-Up 2 y	84% 77%	66% 87%
Vorliegende Studie	PMMA-Fusion 50 Pat., Ø 58 y; Ø Follow-Up 8,2 y	66%	66%

Tab. 01: Literaturübersicht des klinischen Ergebnisses und der Fusionsrate nach PMMA-assistierter ACDF

(* Angabe des Durchschnittsalters bei Untersuchung)

Böker und seine Mitarbeiter konnten in einer Untersuchung eine Fusionsrate von 90% nach PMMA-Implantation ermitteln²⁸, was mit den guten Ergebnissen nach der

Cloward-OP mit autologer Knochentransplantation, Titan- oder Carbon-Cage-Implantation vergleichbar ist^{71, 93}.

4.2 Das klinische Ergebnis im Literaturvergleich

Ob eine knöcherne Fusion im Sinne einer stabilen Trabekulierung nach ACDF-Operation zwingend notwendig oder erforderlich für ein positives klinisches Outcome ist, bleibt eine Kontroverse⁹⁷⁻⁹⁹. Eine Reihe von Untersuchungen haben ergeben, dass auch nach zervikaler Diskektomie ohne Fusion in den meisten Fällen sehr gute und gute klinische Ergebnisse erzielt werden können, wenngleich diese Prozedur mit länger anhaltendem postoperativen Nackenschmerz assoziiert sein kann^{25, 100}.

Die aktuelle Untersuchung ergab ein exzellentes oder gutes Ergebnis auf der Odoms-Score bei 2/3 (66%) der Patienten. Zwischen den Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move} wurde ein geringer Unterschied in der subjektiven Bewertung des OP-Erfolges gezeigt, dieser war jedoch nicht von statistischer Signifikanz ($p=0.224$).

Vergleicht man dieses Outcome mit den klinischen Ergebnissen ähnlicher Studien, ist der Operationserfolg als unterlegen zu betrachten. In der Literatur liegt der Anteil derjenigen Patienten mit gutem oder sehr gutem klinischen Ergebnis zwischen 70-90%^{27, 92, 93, 96}. In diesen Studien wurden jedoch allein die Brachialgien zur Bewertung des Operationserfolges herangezogen. In der aktuellen Untersuchung wurden auch die Cervico-Nuchalgien, die durch eine Operation nur bedingt beeinflussbar sind, ausgewertet. Hierbei kommt es zu einer Verzerrung beim Vergleich der Studienergebnisse.

Weiterhin müssen auch der Nachuntersuchungszeitraum sowie das Patientenalter berücksichtigt werden. So waren in der Untersuchung von Schröder et al. die Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 45 Jahren relativ jung. Hinzu kam ein kurzes Follow-Up von zwei Jahren. Korinth und Mitarbeiter publizierten ein gutes und sehr gutes klinisches Ergebnis bei 93,6% der Patienten, welche im Schnitt 46 Jahre alt waren und 6 Jahre nach dem Eingriff untersucht wurden. Jöllenbeck, der mit 95% bei PMMA-Fusion und 96% bei Titancage-Fusion den höchsten Anteil an Patienten mit exzellentem und gutem Outcome untersuchte, hatte nur einen Follow-Up von 7 Tagen bei einem Durchschnittsalter von 50 Jahren. In den erwähnten Studien haben Hamburger und Mitarbeiter mit 12 Jahren das mit Abstand größte Follow-Up nach der OP, wobei das Patientenalter mit 46 Jahren relativ gering ist.

Das Operationsergebnis wurde in 77% der Fälle als gut oder sehr gut bewertet. In der aktuellen Arbeit liegt das Durchschnittsalter bei 58,4 Jahren und damit deutlich über dem der Vergleichsarbeiten, bei einem postoperativen Follow-Up von 8,2 Jahren (siehe Tab. 01).

Der natürliche Prozess der degenerativen Veränderung der Halswirbelsäule als Trigger von Schmerzen oder Einschränkungen bei älteren Patienten unseres Kollektivs ist vermutlich weiter vorangeschritten. Hinzu kommt der lange Untersuchungszeitraum, der mit den veränderten statischen und dynamischen Bedingungen der HWS Auslöser weiterer Degeneration sein kann. Auch auf die Frage nach der Schwere, dem Fortschritt oder der Dauer der Erkrankung zum Zeitpunkt der Operation wird in den Studien nicht eingegangen. Es ist leicht vorzustellen, dass die Patienten mit kurz andauernden Beschwerden und gering ausgeprägten Symptomen mehr von einer Intervention profitieren als beispielsweise Patienten, bei denen seit langem eine Kompression eines Nervens besteht oder deren Schmerz bereits chronifiziert ist.

Ein weiterer Kritikpunkt bleibt die Genauigkeit der Einschätzung subjektiver Beschwerden und der Besserung des Zustandes nach der Operation bei langem Follow-Up, da häufig eine Überlagerung mit neuen Symptomen oder Komorbidität stattfindet, was eine genaue Einschränkung oder Umschreibung der Symptome schwierig machen kann. Darüber hinaus können auch verschiedene Coping-Methoden der Patienten die Exazerbation oder Chronifizierung von Schmerz verhindern. Einschränkungen im täglichen Leben können dann interindividuell unterschiedlich empfunden und beschrieben werden.

Ein krankheitsunspezifisches Messinstrument zur Erhebung der Lebensqualität, wie z.B. der Gesundheitsfragebogen SF-36, kam in keiner der genannten Studien zum Einsatz.

4.3 Degeneration und Erkrankung der Anschlusssegmente

Bereits vor 20 Jahren zeigten MRT-Untersuchungen bei asymptomatischen Probanden Zeichen der Bandscheibendegeneration und Reduktion des Zwischenwirbelraums in einer oder mehr Höhen. Der Anteil der Untersuchten mit degenerativen Veränderungen lag bei den unter 40-jährigen bei 25%, bei den über 40-jährigen betrug dieser sogar fast 60% ¹⁰¹.

Spätere Untersuchungen ließen sogar einen linearen Anstieg der degenerativen Veränderungen mit dem Alter erkennen¹⁰². Lag die Inzidenz der degenerativen Bandscheibenerkrankung bei Probanden in der mittleren dritten Lebensdekade bei nur 17% der Männer bzw. bei 12% der Frauen, stieg dieser Anteil auf 89% bei den männlichen Probanden bzw. 86% bei den weiblichen Untersuchten über dem 60. Lebensjahr an.

Neben der Erkenntnis, dass degenerative Veränderungen der HWS mit dem Alter zunehmen, zeigten klinische Untersuchungen, dass die Degeneration in den Segmenten, die an ein operiertes und versteiftes Segment angrenzen, anscheinend verstärkt wird. 83% der Patienten weisen 4,5 Jahre nach zervikaler Fusionsoperation degenerative Veränderungen auf⁵². Es kommt nach der Versteifung zu einem signifikanten Anstieg der Belastung im Anschlusssegment, welcher bei „Multilevel-Fusion“ besonders hoch ist⁵⁸. Doch auch der Vergleich von Patienten nach ventraler Fusion mit solchen nach posteriorer Foraminotomie zeigte überraschend einen ASD-Anteil von 41% in der Fusions-Gruppe gegenüber 50% in der Foraminotomie-Gruppe⁴⁹. Dies unterstreicht die Theorie der natürlichen Degeneration ebenso wie die Erkenntnis, dass genetische und ökologische Faktoren einen Einfluss auf degenerative Prozesse haben können¹⁰³.

In der aktuellen Studie zeigten 35 von 50 Patienten mit einem durchschnittlichen Alter von 58 Jahren und im Mittel 8,2 Jahre nach Indexprozedur Zeichen einer ASD, was einem Gesamtanteil von 70% entspricht. Dieser Anteil erscheint sehr hoch, ist jedoch konform mit den Ergebnissen ähnlich aufgebauter, aktueller Studien, bei denen der Anteil der Probanden mit ASD zwischen 43% und 92% lag, bei einem Nachuntersuchungszeitraum von 7 bis 10 Jahren¹⁰⁴⁻¹⁰⁶. Der Anteil der ASE liegt in den aktuellen Studien bei 17-19%^{106, 107} (siehe Tab. 02).

Um die biomechanische Konstellation der Wirbelsäule durch Versteifungsoperation nicht zu verändern, haben künstliche Bandscheiben Akzeptanz in der Wirbelsäulenchirurgie erlangt¹⁰⁸⁻¹¹⁰. Sie sollen die natürliche Bewegung bestmöglich erhalten, um so eine forcierte Degeneration in den Anschlusssegmenten zu vermeiden.

Die These der geringeren Degeneration bei Bewegungserhalt wurde auch in der aktuellen Arbeit untersucht. So wurden Patienten nach PMMA-Fusionsoperation in Gruppen $A^1_{\text{No-Move}}$, A^2_{Move} dichotomisiert. Jedoch wurde hier keine physiologische Bewegung untersucht. Es gibt keinen Rotationspunkt bzw. keine Achse, um welche Beugung, Streckung und Seitneigung stattfinden. Auch die „Pufferfunktion“ der

<u>Autor</u>	<u>Studie*</u>	<u>Ergebnis an den Anschlusssegmenten (AS)</u>
Williams et al. (1968) ⁵²	ACDF 60 Pat., Ø Follow-Up 4,5 y	17% AS-Erkrankung 83% degenerative Veränderungen
Lunsford et al. (1980) ⁵³	AC(D)F 253 Pat., Follow-Up 1-7 y	7% AS-Erkrankung
Henderson et al. (1983) ⁵⁴	posterolaterale Foraminotomie 846 Pat., Ø Follow-Up 2,8 y	9% AS-Erkrankung
Gore, Sepic (1984) ⁵⁰	ACDF 121 Pat., Ø 48 y; Ø Follow-Up 5 y	25% neue AS-Degeneration 25% Progress AS-Degeneration 14% AS-Erkrankung
Herkowitz (1990) ⁴⁹	ACDF vs. post. Foraminotomie 44 Pat., Ø 41 y; Ø Follow-Up 4,2 y	41 % (ACDF) vs. 50% (Foraminotomie) AS- Degeneration
Bohlmann et al. (1993) ⁵¹	ACDF 122 Pat., Ø 50 y; Ø Follow-Up 6 y	9% AS-Erkrankung
Katsuura et al. (2001) ¹⁰⁴	Radiologische Untersuchung nach ACF 42 Pat., Ø 50 y; Ø Follow- Up 9,8 y	50% AS-Degeneration
Goffin et al (2001) ¹⁰⁵	ACF 180 Pat., Ø 51 y; Ø Follow-Up 8,4 y	92% milde AS-Degeneration 43% moderate oder schwere AS-Degeneration
Ishihara et al. (2004) ¹⁰⁷	ACDF 112 Pat., Ø 60 y; Ø Follow-Up 9,4 y	19% AS-Erkrankung
Yue et al. (2005) ¹⁰⁶	ACDF 71 Pat., Ø 60 y; Ø Follow-Up 7,2 y	73,2% AS-Degeneration 16,9% AS-Erkrankung
Vorliegende Studie	PMMA-Fusion 50 Pat., Ø 58 y; Ø Follow-Up 8,2 y	70% AS-Degeneration

Tab. 02: Literaturübersicht der Inzidenz von ASD/ ASE

(* Angabe des Durchschnittsalters bei Untersuchung)

natürlichen Bandscheibe fehlt. Es handelt sich vielmehr um eine Gleitbewegung der Pseudoarthroseflächen ohne eine strenge Restriktion. Es ist trotzdem zu vermuten, dass der Stress auf die Anschlusssegmente geringer ist als bei vollständiger Bewegungseinschränkung.

Zwischen den beiden Gruppen konnte klinisch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Lediglich eine Tendenz, dass der Bewegungserhalt im operierten Segment den accelerierten Verschleiß der Anschlusssegmente möglicherweise beeinflusst, ist zu erkennen ($p=0,06$).

4.4 Grenzen der Studie

Das ursprüngliche Kollektiv bestand aus 416 Patienten. Da die Spanne zwischen der ersten Operation Anfang der achtziger Jahre und dem Beginn der Untersuchungen sehr lang ist, war bereits zu Beginn davon auszugehen, dass auf Grund natürlicher Parameter wie Migration, Krankheit oder Tod nicht alle Patienten für eine Nachuntersuchung zur Verfügung stehen. Des Weiteren willigten von denen, die ausfindig gemacht und erreicht werden konnten, nur 89 in eine Befragung ein. Eine weitere Dezimierung des Kollektivs fand auf Grund vorher unbekannter oder unbeeinflussbarer Faktoren (inadäquate Röntgenbilder, zusätzlich nachfolgende Operationen) statt, so dass für die abschließende Auswertung der Ergebnisse nur eine sehr kleine Gruppe zur Verfügung stand. Der nachträgliche Ausschluss von 39 Patienten könnte eine statistische Verzerrung bedingen.

Auf Grund des retrospektiven Charakters der Studie und der Länge des Zeitraums, standen keine präoperativen Röntgenfunktionsaufnahmen zur Verfügung, ebenso wenig wie objektive, klinische Angaben (VAS, NDI, Odoms). Die aktuellen bzw. zum Zeitpunkt der Untersuchung erhobenen klinischen und radiologischen Parameter sind also nur als eine Momentaufnahme zu betrachten. Eine Beurteilung des Verlaufs bzw. einer Progredienz der Erkrankung ist dabei nur sehr bedingt möglich. Die für die Darstellung des Ist-Zustandes angewandten Methoden sind jedoch seit vielen Jahren etabliert und validiert.

Durch die große Spanne im Nachuntersuchungszeitraum ist auch eine große Spanne im Patientenalter zu erwarten, was eine Inhomogenität der zu vergleichenden Gruppen bedingen kann.

Um alle beeinflussenden Faktoren auszuschalten, müsste diese Untersuchung prospektiv gestaltet werden, mit klinisch-radiologischen prä- und postoperativen Angaben und auch ansonsten homogen randomisiertem Patientenkollektiv.

4.5 Die derzeitige Anwendung von PMMA in der HWS-Chirurgie

Obwohl die in Absatz 2.4 beschriebene Methode der zervikalen Spondylodese mit PMMA auf Grund geringerer Fusionsraten, ungenügender Fähigkeit zur Wiederherstellung der Bandscheibenfachhöhe und höherem Zeitaufwand nicht mehr breit angewendet wird, findet das Material in der Halswirbelsäulen Chirurgie auch neben der Fixation von kanulierten Pedikelschrauben und stabilisierenden Verfahren wie Kypho- oder Vertebroplastie weiterhin Verwendung und ist aktuell Bestandteil klinischer Untersuchungen.

2005 wurden Daten einer Untersuchung zur Nutzung eines PMMA-Cages zur Behandlung einer monosegmentalen zervikalen Bandscheibenerkrankung publiziert¹¹¹. Es konnte in einem 12-Monats-Follow-Up eine Fusionsrate von 100% ermittelt werden. Außerdem bewerteten fast 75% der Patienten das klinische Ergebnis als sehr gut, der Rest als gut. Allerdings wurde der PMMA-Cage zuvor mit autograft gewonnenem Spongiosamaterial gefüllt. Die ursprüngliche Kritik der Komorbidität an den „alten“ Verfahren von Smith und Robinson oder Cloward wird hier außer Acht gelassen. Die gute Fusionsrate kann zudem auch auf eine strikte postoperative Immobilität zurückzuführen sein, da die Patienten für 6 Wochen nach der Operation eine „Miami-J“ Halskrause trugen.

Eine aktuelle tierexperimentelle Pilotstudie konnte ebenfalls gute Ergebnisse in der Fusionsrate aufzeigen. Verglichen wurde dabei ein mit Knochenmaterial gefüllter Acryl-Interbody-Cage mit der Fusion durch autologen Knochen¹¹². Der Acrylcage führte nach 12 Wochen zu einem signifikant höheren Zwischenwirbelraum und geringerer Einsenkung. Histologisch konnten im Cage neues Knochengewebe und hyaliner Knorpel nachgewiesen werden. Die Dichte der Knochenmineralien war nach diesen 12 Wochen zwar größer als beim autologen Graft, jedoch ohne statistisch signifikant zu sein.

Die Untersuchung der Materialeigenschaften des PMMA-Cages im Vergleich zum Solis-PEEK-Cage zeigte eine geringere Quetschspannung und Druckfestigkeit des PMMA-Cages, jedoch eine höhere Steifigkeit, Dehnfähigkeit und ein höheres

Elastizitätsmodul¹¹³. Der Aussage der Autoren, dass das ermittelte Elastizitätsmodul des PMMA dem des spongiösen Knochens näher kommt als das E-Modul des PEEK, ist eher nicht korrekt. In zahnmedizinischen Untersuchungen wird von einem E-Modul der Spongiosa von 100-1000 MPa ausgegangen¹¹⁴. Die ermittelten Werte für PMMA mit 623 ± 57 MPa und PEEK mit 510 ± 42 MPa liegen also beide in den physiologischen Grenzen, so dass von keinem Vorteil des einen über das andere Material gesprochen werden kann. Insgesamt veranlassten die Eigenschaften des PMMA-Cages den Untersucher zu der Schlussfolgerung, dass dieser im Vergleich zu anderen Cages keine Fehler birgt und viele Vorteile mit sich bringt.

Weitere Anwendungen von PMMA-Cages, wie beispielsweise bei Korporektomien, in der rekonstruktiven Tumorchirurgie oder zur Applikation lokaler Antibiotika, wurden in der jüngsten Literatur beschrieben,¹¹⁵⁻¹¹⁹.

Auch wenn die ACDF mit PMMA ein „altes“ Verfahren darstellt, wird dieser Kunststoff weiterhin erfolgreich in der Halswirbelsäulen Chirurgie eingesetzt. Die positiven mechanischen Eigenschaften und die vergleichsweise niedrigen Kosten sind sicherlich Gründe auch weiterhin an diesem Material festzuhalten¹²⁰.

4.6 Der aktuelle Trend in der HWS-Chirurgie

Die Idee des Erhalts der Höhe zwischen den Wirbeln bzw. der Facettengelenksbewegung ist nicht neu. Der schwedische Arzt Dr. Ulf Fernström implantierte bereits in den frühen sechziger Jahren Stahlkugeln zwischen den Wirbelkörpern¹²¹.

Die moderne Arthroplastik hat zum einen die Aufgabe, die momentane Rotationsachse (IAR) so wieder herzustellen, dass die Facettengelenke nicht übermäßig belastet werden. Zum anderen sollen ein natürlicher Bewegungsumfang sowie eine natürliche Übertragung axialer Lasten zwischen den Wirbelkörpern ermöglicht werden¹²². Dabei sollten im Vorfeld unbeschadete, ligamentäre Strukturen und integere Facettengelenke vorliegen. Auch die Knochenqualität und intakte Grund- und Deckplatten sind von sehr großer Bedeutung.

Bei der Frage nach dem prinzipiellen Aufbau des Interponats kann in nichtartikulierende, uniartikulierende oder biartikulierende Arthroplastiken¹²³, mit modularem oder nicht modularem Aufbau eingeteilt werden.

Bei der Beschaffenheit der Gelenkflächen kann man zwischen „metal-on-metal“- , metal-on-ceramic“- , „ceramic-on-ceramic“- oder „metal-on-polymer“-Konfiguration unterscheiden, wobei bei hochmolekulargewichtigem Polymer (UHMWP) wenig Reibung entsteht¹²⁴. Hinsichtlich der Form des Gelenklagers und der Lage des „Center of Rotation“ werden „ball-and-trough“- oder „ball-and-socket“-Arthroplastiken mit toroidaler- (o-ring-förmig) oder eiförmiger Gestaltung unterschieden.

Letztendlich spielt auch die Einschränkung der Bewegung im Segment eine Rolle.

Weist das Implantat eine Hypermobilität im Vergleich zur physiologischen Bewegung auf, wird es als „non-constrained“ bezeichnet. Ein Bandscheibenersatz ist „constrained“ bei Einschränkung der physiologischen Bewegungsspanne. Das Interponat, welches in seinem Aufbau der Natur am nächsten kommt, ist eine Arthroplastik mit einer „semi-constrained“ Konfiguration, welche natürliche Bewegungen erlaubt und anormale, exzessive Bewegungen verhindert.

In Anbetracht der verschiedensten Ansätze zum Bewegungserhalt im diskektomierten Segment zeigt eine Untersuchung der Langzeitfunktionalität von zervikalen Bandscheibenprothesen einen mittleren Bewegungsumfang von 10,6° pro Prothese bei einem Follow-Up von 8 Jahren, jedoch auch einen großen Anteil von Bewegungsrestriktion der Prothese durch heterotope Ossifikation (HO) im operierten Segment¹²⁵, wobei die klinisch gängige Einteilung der HO nach Brooker erfolgt¹²⁶. Eine andere Studie zeigt sogar eine signifikante HO (Grad III), also eine ossäre Ummantelung des Implantats mit Einschränkung der Bewegung von bis zu 45% nach vier Jahren¹²⁷. Bei 18% der Probanden konnte nach dieser Zeit sogar eine Spontanfusion nachgewiesen werden (heterotope Ossifikation Grad IV nach Brooker), was aber nicht mit dem klinischen Outcome korreliert.

Und letztendlich vermag es auch die künstliche Bandscheibe nicht die ASD zu verhindern. Der Anteil derjenigen Patienten mit radiologisch nachgewiesener Degeneration liegt nach 2 Jahren bei 12,5%¹²⁸.

4.7 Schlussfolgerung der Studie

Auch wenn die ventrale Diskektomie und Fusion mit PMMA ein älteres Verfahren darstellt, das aktuell vielen neueren Verfahren gegenüber steht, wird der kostengünstige Kunststoff nicht zuletzt auf Grund der guten Erfahrungen weiterhin erfolgreich in der Halswirbelsäulen Chirurgie eingesetzt.

Trotz allgemein hoher Pseudarthroseraten bei diesem Implantat konnte in der aktuellen Untersuchung gezeigt werden, dass sich Patienten mit einer postoperativen Beweglichkeit im diskektomierten Segment von denen mit kompletter Bewegungsrestriktion hinsichtlich klinischer Parameter wie VAS, NDI oder Odoms-Score nicht unterscheiden.

Die in der Untersuchung zu erkennende Tendenz zu einer geringeren Degeneration in den Anschlusssegmenten bei Bewegungserhalt im operierten Segment untermauert den aktuellen Trend der Halswirbelsäulen Chirurgie in Richtung Bewegungserhalt nach Diskektomie, wenngleich es auch moderner Bandscheibenersatz nicht vermag, Folgeerscheinungen, wie ASD, komplett zu verhindern und die ständige Möglichkeit einer heterotopen Ossifikation mit Bewegungseinschränkung besteht.

Des Weiteren konnte bestätigt werden, dass das Alter des Patienten für die Entwicklung einer zervikalen Anschlusssegmentdegeneration einen wichtigen Faktor darstellt ($p=0,011$)¹⁰².

Um die Rolle der Bewegung im operierten Segment, gerade in Bezug auf die Anschlusssegmente, noch besser beurteilen zu können, wird es notwendig sein, weitere Studien durchzuführen. Dabei sollte, wenn möglich, auf ein homogenes Patientenkollektiv und einen nicht zu geringen Nachbeobachtungszeitraum geachtet werden. Wünschenswert wäre ein Vergleich verschiedener Altersgruppen bei sonst gleichen Bedingungen, um auch den Einfluss des Alters auf Veränderungen der HWS noch besser evaluieren zu können sowie die Gegenüberstellung verschiedener Generationen bzw. Modelle von Bandscheibenprothesen. Auch ein Vergleich von Arthroplastiken mit anderen dynamischen Verfahren wäre wünschenswert.

5 Zusammenfassung

Die aktuelle Entwicklung in der Halswirbelsäulen Chirurgie bewegt sich weg von der klassischen Fusion, hin zum Bewegungserhalt. Die Frage ist, ob Bewegung das klinisch-radiologische Outcome der Patienten positiv beeinflussen kann. Polymethylmethacrylat(PMMA)-assistierte ventrale Diskektomien weisen im Vergleich zu anderen Spondylodesemethoden eine geringere Fusionrate mit hohem Anteil an Pseudarthrosebildung bei ähnlichem klinischem Ergebnis auf. Aus diesem Grund können Patienten mit und ohne erhaltener segmentaler Bewegung nach

PMMA-assistierter anteriorer zervikaler Diskektomie und Fusion miteinander verglichen werden.

Von 1986 bis 2006 wurden insgesamt 416 Patienten in der neurochirurgischen Abteilung der Charité, Campus Virchow-Klinikum, einer monosegmentalen Diskektomie mit PMMA-Implantation bei degenerativer Bandscheibenerkrankung der Halswirbelsäule unterzogen. Ein klinisch-radiologisches Outcome konnte bei 50 Patienten erhoben werden. Die Patienten konnten anhand postoperativer Röntgenbilder in zwei Gruppen, zum einen mit- und ohne erhaltene segmentale Bewegung, zum anderen mit- und ohne Anschlusssegmentdegeneration unterteilt werden.

Der mittlere Nachuntersuchungszeitraum betrug 8 Jahre, bei einem Durchschnittsalter der Patienten von 58 Jahren. Die Fusionsrate bzw. der Anteil der Patienten ohne Beweglichkeit im operierten Segment betrug 66%. In ebenfalls 66% der Fälle konnte durch die Operation, bewertet auf dem Odoms-Score, ein gutes oder exzellentes Ergebnis erreicht werden. Die Analyse der klinischen Daten wie Schmerz und postoperative Einschränkungen ergaben in den jeweiligen Gruppen keine Unterschiede.

Die Patienten mit kompletter Bewegungseinschränkung im Segment waren signifikant älter als die Vergleichsgruppe ($p=0,024$) bei ebenfalls größerem Nachuntersuchungszeitraum ($p=0,034$).

Patienten mit Degeneration der Anschlusssegmente waren signifikant älter ($p=0,011$) als die Vergleichsgruppe. Die Anschlusssegmentdegeneration korrelierte statistisch nicht signifikant mit fehlender Beweglichkeit im operierten Segment ($p=0,06$).

Schlussfolgernd stellt die ventrale Diskektomie und Spondylodese mit PMMA eine erfolgreiche Methode in der Behandlung der zervikalen degenerativen Bandscheibenerkrankung dar. Die relativ hohe Rate an inkompletten Fusionen hat keinen Einfluss auf das klinische Ergebnis. Das Patientenalter scheint ein wichtiger Faktor bei Betrachtung der Anschlusssegmentdegeneration zu sein.

6 Literaturverzeichnis

1. Robinson R, Smith G. Anterolateral cervical disc removal and interbody fusion for cervical disc syndrome. *Bulletin of John Hopkins Hospital* 1955;96:223-4.
2. Robinson R, Smith G. The Treatment of Certain Cervical-Spine Disorders by Anterior Removal of the Intervertebral Disc and Interbody Fusion. *J Bone Joint Surg Am* 1958;40:607-24.
3. Cloward R. The Anterior Approach for Removal of Ruptured Cervical Disks. *J Neurosurg* 1958;15:602-17.
4. Engelhardt M, Wolzik M, Brenke C. Pain reduction after cervical spine surgery. Outcome after implantation of a cervical wing cage in degenerative diseases of the cervical spine-a prospective study. *Z Orthop ihre Grenzgeb* 2005;143(5).
5. Krämer J. Bandscheibenbedingte Erkrankungen: Ursachen, Diagnose, Behandlung, Vorbeugung, Begutachtung. 5 ed. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2006.
6. Kast E, Antoniadis G, Richter H. Epidemiologie von Bandscheibenoperationen in der Bundesrepublik Deutschland. *Zentralbl Neurochir* 2000;61:22-5.
7. Whitecloud T. Anterior surgery for cervical spondylotic myelopathy. *Spine* 1988;13:861-3.
8. Schröder J, Wassmann H. Polymethylmethacrylat (PMMA) in der Halsbandscheibenchirurgie - gegenwärtige Situation in Deutschland. *Zentralbl Neurochir* 2001;62(2):33-6.
9. Schirmer M. Degenerative Halswirbelsäulenerkrankungen mit unterschiedlichen Schmerzsymptomen. *Notfall & Hausarztmedizin* 2004;30:292-6.
10. Gore D, Sepic S. Anterior Discectomy and Fusion for Painful Cervical Disc Disease. *Spine* 1998;23(19):2047-51.
11. Robinson R, Walker A, Ferlic D, et al. The results of anterior interbody fusion of the cervical spine. *J Bone Joint Surg Am* 1962;44:1569-87.
12. Anderson D, Albert T. Bone grafting, implants, and plating options for anterior cervical fusions. *Orthop Clin N Am* 2002;33:317-28.
13. Robinson R. Anterior and posterior cervical fusion. *Clin Orthop* 1964;35:34-62.
14. Lindsey R, Newhouse K, Leach J, et al. Nonunion following two-level anterior cervical discectomy and fusion. *Clin Orthop* 1978;223:155-63.

15. Mutoh N, Shinomiya K, Furuya K, et al. Pseudarthrosis and delayed union after anterior cervical fusion. *Int Orthop* 1993;17:286-9.
16. Silber J, Anderson D, Daffner S, et al. Donor site morbidity after anterior iliac crest bone harvest for single-level anterior cervical discectomy and fusion. *Spine* 2003;28(2):134-9.
17. Pitzen T, Kranzlein K, Steudel W, et al. Complaints and findings at the iliac crest donor site following anterior cervical fusion. *Zentralbl Neurochir* 2004;65(1):7-12.
18. Sawin P, Traynelis V, Menezes A. A comparative analysis of fusion rates and donor-site morbidity for autogenic rib and iliac crest bone grafts in posterior cervical fusions. *J Neurosurg* 1998;88:255-65.
19. Hirsch C. Cervical disc rupture. Diagnosis and therapy. *Acta Orthop Scand* 1960;30:172-86.
20. Abd-Alrahman N, Dokmak A, A A-M. Anterior cervical discectomy (ACD) versus anterior cervical fusion (ACF), clinical and radiological outcome study. *Acta Neurochir* 1999;141(10):1089-92.
21. Dowd G, Wirth F. Anterior cervical discectomy: is fusion necessary. *J Neurosurg* 1999;91(2):353-4.
22. Rosenorn J, Hansen E, Rosenorn M. Anterior cervical discectomy with or without fusion: a prospective study. *J Neurosurg* 1983;59(2):252-5.
23. Yamamoto I, Ikeda A, Shibuya N, et al. Clinical long-term results of anterior discectomy without interbody fusion for cervical disc disease. *Spine* 1991;16(3):272-9.
24. Bertalanffy H, Eggert H. Complications of anterior cervical discectomy without fusion in 450 consecutive patients. *Acta Neurochir* 1989;99(1-2):41-50.
25. Watters W, Levinthal R. Anterior cervical discectomy with and without fusion: Results, complications, and long-term follow-up. *Spine* 1994;19(20):2243-7.
26. Grote W, Röttgen P. Die ventrale Fusion bei der zervikalen Osteochondrose und ihre Behandlungsergebnisse. *Acta Neurochir* 1967;16:218-40.
27. van den Bent M, Oosting J, Wouda E, et al. Anterior cervical discectomy with or without fusion with acrylate. A randomized trial. *Spine* 1996;21(7):834-40.
28. Böker D, Schultheiss R, Probst E. Radiologic long-term results after cervical vertebral interbody fusion with polymethylmethacrylat (PMMA). *Neurosurg Rev* 1989;12:217-21.

29. Eysel P, Roosen K. Operative Zugangswege und deren Komplikationen bei zervikalen Bandscheibenvorfällen. *Orthop Praxis* 1993;29:514-7.
30. Hamburger C, Festenberg F, Uhl E. Ventral discectomy with PMMA interbody fusion for cervical disc disease: long-term results in 249. *Spine* 2001;26:249-55.
31. Kühn K. Bone cements: up-to-date comparison of physical and chemical properties of commercial materials
Springer; 2000.
32. Kleinschmitt O. Plexiglas zur Deckung von Schädellücken. *Chirurg* 1941;13.
33. Charnley J. Anchorage of the femoral head prosthesis of the shaft of the femur. *J Bone Joint Surg Br* 1960;42:28-30.
34. Breusch S, Malchau H. *The Well-Cemented Total Hip Arthroplasty: Theory and Practice*: Springer; 2005.
35. Breusch S, Kühn K. Knochenzemente auf Basis von Polymethylmethacrylat. *Orthopädie* 2003;32:41-50.
36. Kühn K, Ege W, Gopp U. Acrylic bone cements: composition and properties. *Orthop Clin N Am* 2005;36:17-28.
37. Biehl G, Harms J, Hanser U. Experimental studies on heat development in bone during polymerization of bone cement. Intraoperative measurement of temperature in normal blood circulation and in bloodlessness. *Arch Orthop Unfallchir* 1974;78(1):62-9.
38. Labitzke R, Paulus H. Intraoperative measuring of temperature in the surgery of hip during the polymerization of the bone cement Palacos. *Arch Orthop Unfallchir* 1974;79(4):341-6.
39. Wagner P, Grant B, Bagby G. Evaluation of spine fusion as treatment in equine wobbler syndrome. *J Vet Surg* 1979;8:84-8.
40. Cloward R. Vertebral body fusion for ruptured cervical discs: description of instruments and operative technique. *Am J Surg* 1959;98:722.
41. Bagby G. Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. *Orthopaedics* 1988;11:931-4.
42. Kuslich S, Ulstrom C, Griffith S, et al. The Bagby and Kuslich method of lumbar interbody fusion. History, techniques, an 2-year follow-up results of a United States prospective, multicenter trial. *Spine* 1998;23:1267-78.

43. Weiner B, Fraser R. Spine update. Lumbar interbody cages. Spine 1998;23:634-40.
44. Shono Y, McAfee P, Cunningham B, et al. A biomechanical analysis of decompression and reconstruction methods in the cervical spine. Emphasis on a carbon-fiber-composite cage. J Bone Joint Surg Am 1993;75:1674-84.
45. Albee F. Transplantation of a portion of the tibia into the spine for Pott's disease. JAMA 1911;57:885.
46. Hibbs R. An operation for progressive spinal deformities. NY Med J 1911;93:1013.
47. Davis H. Increasing rates of cervical and lumbar spine surgery in the United States, 1979-1990. 1994;19(10):1117-24.
48. Baba H, Furusawa N, Imura S, et al. Late radiographic findings after anterior cervical fusion for spondyloticmyeloradiculopathy. Spine 1993;18(15):2167-73.
49. Herkowitz H, Kurz L, Overholt D. Surgical management of cervical soft disc herniation: A comparison between the anterior and posterior approach. Spine 1990;15(10):1026-30.
50. Gore D, Sepic S. Anterior cervical fusion for degenerated or protruded discs: a review of one hundred forty-six patients. Spine 1984;9(7):667-71.
51. Bohlmann H, Emery S, Goodfellow D, et al. Robinson anterior cervical discectomy and arthrodesis for cervical radiculopathy. Long-term follow-up of one hundred and twenty-two patients. J Bone Joint Surg Am 1993;75(9):1298-307.
52. Williams J, Allen M, Harkess J. Late results of cervical discectomy and interbody fusion: some factors influencing the results. J Bone Joint Surg Am 1968;50(2):277-86.
53. Lunsford L, Bissonette D, Jannetta P, et al. Anterior surgery for cervical disc disease, part 1: treatment of lateral cervical disc herniation in 253 cases. J Neurosurg 1980;53(1):1-11.
54. Henderson C, Hennessy R, Shuey H, et al. Posterior-lateral foraminotomy as an exclusive operative technique for cervical radiculopathy: a review of 846 consecutively operated cases. Neurosurgery 1983;13(5):504-12.
55. Eck J, Humphreys S, Lim T, et al. Biomechanical study on the effect of cervical spine fusion on adjacent level intradiscal pressure and segmental motion. Spine 2002;27(22):2431-4.

56. Maiman D, Kumaresan S, Yoganandan n, et al. Biomechanical effect of anterior cervical spine fusion on adjacent segments. *Biomed Mater Eng* 1999;9(1):27-38.
57. Penning L. Normal movements of the cervical spine. *AJR Am J Roentgenol* 1978;130(2):317-26.
58. Lopez-Espina C, Amirouche F, Havalad V. Multilevel cervical fusion and its effect on disc degeneration and osteophyte formation. *Spine* 2006;31(9):972-8.
59. Hilibrand A, Carlson G, Palumbo M, et al. Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81(4):519-28.
60. Hilibrand A, Robbins M. Adjacent segment degeneration and adjacent segment disease: the consequences of spinal fusion? *Spine J* 2004;4(6 Suppl):190S-4S.
61. Hayes M. Experimental development of graphic rating method. *Psychol Bull* 1921;18:98-9.
62. Scott J, Huskisson E. Graphic representation of pain. *Pain* 1976;2(2):175-84.
63. Portnoy H. Anterior Cervical Discectomy and Fusion. *Surg Neurol* 2001;56:178-80.
64. Fairbank J, Cooper J, Davies J, et al. The Oswestry low back pain Disability Index. *Physiotherapy* 1980;66:271-3.
65. Vernon H, Mior S. The Neck Disability Index: a study of reliability and validity. *J Manipulative Physiol Ther* 1991;14(7):409-15.
66. Odom G, Finney W, Woodhall B, et al. Cervical Disc Lesions. *JAMA* 1958;166:23-8.
67. McAviney J, Schulz D, Bock R, et al. Determining the relationship between cervical lordosis and neck complaints. *J Manipulative Physiol Ther* 2005;28(3):187-93.
68. Cobb J. Outline for the Study of scoliosis. *AAOS Instr Course Lect* 1948;5:261-75.
69. Shad A, Leach J, Teddy P, et al. Use of the Solis cage and local autologous bone graft for anterior cervical discectomy and fusion: early technical experience. *J Neurosurg Spine* 2005;2:116-22.
70. Junghanns H. Die funktionelle Pathologie der Zwischenwirbelscheibe. *Langenbecks Arch Chir* 1951;267:393-8.

71. Hacker R, Cauthen J, Gilbert T, et al. A prospective randomized multicenter clinical evaluation of an anterior cervical fusion cage. *Spine* 2000;25:2646-54.
72. McAfee P. Interbody fusion cages in reconstructive operations on the spine. *J Bone Joint Surg Am* 1999;81:859-80.
73. Stauffer R, Coventry M. Anterior interbody lumbar spine fusion. Analysis of Mayo Clinic series. *J Bone Joint Surg Am* 1972;54:756-68.
74. Gore D. Roentgenographic Findings in the cervical Spine in Asymptomatic Persons - A Ten-Year Follow-up. *Spine* 2001;26:2463-6.
75. Epstein N, Silvergleide R, Black K. Computed tomography validating bony ingrowth into fibula strut allograft: a criterion for fusion. *Spine J* 2002;2:129-33.
76. Floyd T, Ohnmeiss D. A meta-analysis of autograft versus allograft in anterior cervical fusion. *Eur Spine J* 2000;9:398-403.
77. Malloy K, Hilibrand A. Autograft versus allograft in degenerative cervical disease. *Clin Orthop Relat Res* 2002;394:27-38.
78. Samandouras G, Shafafy M, Hamlyn P. A new anterior cervical instrumentation system combining an intradiscal cage with an integrated plate: an early technical report. *Spine* 2001;26:1188-92.
79. Suchomel P, Barsa P, Buchvald P, et al. Autologous versus allogenic bone grafts in instrumented anterior cervical discectomy and fusion: a prospective study with respect to bone union pattern. *Eur Spine J* 2004;13:510-5.
80. Bishop R, Moore K, Hadley M. Anterior cervical interbody fusion using autogeneic and allogeneic bone graft substrate: a prospective comparative analysis. *J Neurosurg* 1996;85:206-10.
81. Patel C, Fischgrund J. Complications of anterior cervical spine surgery. *Instr Course Lect* 2003;52:465-9.
82. Niu C, Liao J, Chen W, et al. Outcomes of Interbody Fusion Cages Used in 1 and 2-levels Anterior Cervical Discectomy and Fusion: Titanium Cages Versus Polyetheretherketone (PEEK) Cages. *J Spinal Disord Tech* 2010;Ahead of print.
83. Bartels R, Donk R, van Azn R. Height of cervical foramina after anterior discectomy and implantation of a carbon fiber cage. *J Neurosurg* 2001;95:40-2.
84. Samartzis D, Shen F, Goldberg E, et al. Is autograft the gold standard in achieving radiographic fusion in one-level anterior cervical discectomy and fusion with rigid anterior plate fixation? *Spine* 2005;30(15):1756-61.

85. Buttermann G. Prospective nonrandomized comparison of an allograft with bone morphogenic protein versus an iliac-crest autograft in anterior cervical discectomy and fusion. *Spine J* 2008;8(3):426-35.
86. Resnick D. Reconstruction of anterior iliac crest after bone graft harvest decreases pain: a randomized, controlled clinical trial. *Neurosurg* 2005;57:526-9.
87. Narayana K, Acharya D, Chinnappa V, et al. Can Iliac Crest Reconstruction Reduce Donor Site Morbidity? A Study Using Degradable Hydroxyapatite-bioactive Glass Ceramic Composite. *J Spinal Disord Tech* 2010;Ahead of print.
88. Roosen K. Bone cement as replacement material of cervical disks *Fortschr Med* 1982;100(45):2120-6.
89. Fathie K. Anterior cervical discectomy and fusion with methyl methacrylate. *Mt Sinai J Med* 1994;61:246-7.
90. Cantu R. Anterior spinal fusion using methyl methacrylate (Acrylic). *Int Surg* 1974;59:110-1.
91. Kalff R, Rauhut F, Roosen K, et al. Komplikationen ventraler Fusionsoperationen bei degenerativen Bandscheibenerkrankungen. *Neurochirurgia* 1990;33:184-9.
92. Jöllenbeck B, Fernandez N, Firsching R. Titanium or polymethylmethacrylate in cervical disc surgery? A prospective study. *Zentralbl Neurochir* 2001;62(4):200-2.
93. Schröder J, Große-Dresselhaus F, Schul C, et al. PMMA versus Titanium Cage after Anterior Cervical Discectomy - A Prospective Randomized Trial. *Zentralbl Neurochir* 2007;68:2-7.
94. Henze U, Zwadko-Klaarwasser G, Klosterhalfen B, et al. Kunststoffe für den medizinischen Einsatz als Implantatmaterialien. *Deutsches Ärzteblatt* 1999;96:979-86.
95. Bärlocher C, Barth A, Krauss J, et al. Comparative evaluation of microdiscectomy only, autograft fusion, polymethylmethacrylate interposition, and threaded titanium cage fusion for treatment of single-level cervical disc disease: a prospective randomized study in 125 patients. *Neurosurg Focus* 2002;12(1):1-7.
96. Korinth M, Krüger A, Oertel M, et al. Posterior foraminotomy or anterior discectomy with polymethyl methacrylate interbody stabilization for cervical soft disc disease: results in 292 patients with monoradiculopathy. *Spine* 2006;31(11):1207-14.
97. Sonntag V, Klara P. Controversy in spine care. Is fusion necessary after anterior cervical discectomy? *Spine* 1996;21:1111-3.

98. Mezzadri J, Zaninovich R, Basso A. Do we always need an interbody graft after anterior cervical disc surgery? *Crit Rev Neurosurg* 1997;7:355-9.
99. Konduru S, Findlay G. Anterior cervical discectomy: to graft or not to graft? *Br J Neurosurg* 2009;23(1):99-103.
100. Hadley M, Sonntag V. Cervical disc herniations. *Neurosurg Clin North Am* 1993;4(1):45-52.
101. Boden S, McCowin P, Davis D, et al. Abnormal magnetic-resonance scans of the cervical spine in asymptomatic subjects. A prospective investigation. *J Bone Joint Surg Am* 1990;72(8):1178-84.
102. Matsumoto M, Fujimura Y, Suzuki N, et al. MRI of cervical intervertebral discs in asymptomatic subjects. *J Bone Joint Surg Br* 1998;80:19-24.
103. Mio F, Hirose Y, Chiba K, et al. A functional polymorphism in COL11A1, which encodes the $\alpha 1$ chain of type XI collagen, is associated with susceptibility to lumbar disc herniation. *Am J Hum Gen* 2007;81:1271-7.
104. Katsuura A, Hukuda S, Saruhashi Y, et al. Kyphotic malalignment after anterior cervical fusion is one of the factors promoting the degenerative process in adjacent intervertebral levels. *Eur Spine J* 2001;10(4):320-4.
105. Goffin J, Geusens E, Vantomme N, et al. Long-term follow-up after interbody fusion of the cervical spine. *J Spinal Disord Tech* 2001;17(2):79-85.
106. Yue W, Brodner W, Highland T. Long-term results after anterior cervical discectomy and fusion with allograft and plating. *Spine* 2005;30(19):2138-44.
107. Ishihara H, Kanamori M, Kawaguchi Y, et al. Adjacent segment disease after anterior cervical interbody fusion. *Spine J* 2004;4(6):624-8.
108. Sasso R, Smucker J, Hacker R, et al. Artificial disc versus fusion: a prospective, randomized study with 2-year follow-up on 99 patients. *Spine* 2007;32(26):2933-40.
109. Mummaneni P, Burkus J, Haid R, et al. Clinical and radiographic analysis of cervical disc arthroplasty compared with allograft fusion: a randomized controlled clinical trial. *J Neurosurg Spine* 2007;6:198-209.
110. Murrey D, Janssen M, Delamarter R, et al. Results of the prospective, randomized, controlled multicenter Food and Drug Administration investigational device exemption study of the ProDisc-C total disc replacement versus anterior discectomy and fusion for the treatment of 1-level symptomatic cervical disc disease. *Spine J* 2009;9(4):275-86.

111. Chen J, Wu C, Lee S, et al. Use of a polymethylmethacrylate cervical cage in the treatment of single-level cervical disc disease. *J Neurosurg Spine* 2005;3(1):24-8.
112. Farrokhi M, Torabinezhad S, Ghaiar K. Pilot Study of a New Acrylic Cage in a Dog Cervical Spine Fusion Model. *J Spinal Disord Tech* 2010;Ahead of Print.
113. Chen J, Lee S. The polymethyl methacrylate cervical cage for treatment of cervical disk disease Part III. Biomechanical properties. *Surg Neurol* 2006;66:367-70.
114. Stahl E, Keilig L, Abdelgader I, et al. Numerical analyses of biomechanical behavior of various orthodontic anchorage implants. *J Orofac Orthop* 2009;70(2):115-27.
115. Chen J, Wu C, Lee S, et al. The Use of A Hollow Polymethylmethacrylate Cervical Spacer with Plating in the Treatment of Single Level Cervical Disc Disease. *Chang Gung Med J* 2009;32:447-57.
116. Chen J, Wu C, Lee S, et al. Hollow cylindrical polymethylmethacrylate strut for spinal reconstruction after single-level cervical corpectomy. *J Neurosurg Spine* 2006;5(4):287-93.
117. Chen J, Lee S, Wu C. A Hollow Cylindrical PMMA Strut for Cervical Spine Reconstruction After Cervical Multilevel Corpectomy. *J Spinal Disord Tech* 2010;Published Ahead of Print.
118. Chen J, Lee S. Antibiotic-polymethylmethacrylate strut: an option for treating cervical pyogenic spondylitis. Case report. *J Neurosurg Spine* 2006;5(1):90-5.
119. Liu J, Rosenberg W, Schmidt M. Titanium cage-assisted polymethylmethacrylate reconstruction for cervical spinal metastasis: technical note. *Neurosurg* 2005;56(1):207.
120. Vieweg U. Möglichkeiten zur kostenoptimierten Implantatauswahl in der Wirbelsäulenchirurgie. *Zentralbl Neurochir* 2003;64:159-65.
121. Fernström U. Arthroplasty with intercorporal endoprosthesis in herniated disc and in painful disc. *Acta Chir Scand Suppl* 1966;357:154-9.
122. Sekhon L, Ball J. Artificial cervical disc replacement: principles, types and techniques. *Neurol India* 2005;53(4):445-50.
123. Baaj A, Uribe J, Vale F, et al. History of cervical disc arthroplasty. *Neurosurg Focus* 2009;27(3):E10.
124. Jaramillo-de la Torre J, Grauer J, Yue J. Update on cervical disc arthroplasty: where are we and where are we going? *Curr Rev Musculoskelet Med* 2008;1(2):124-30.

125. Quan G, Vital J, Hansen S, et al. 8 year clinical and radiological follow-up of the Bryan cervical disc arthroplasty. *Spine* 2010;Epub ahead of print.
126. Brooker A, Bowerman J, Robinson R, et al. Ectopic ossification following total hip replacement. Incidence and a method of classification. *J Bone Joint Surg Am* 1973;55(8):1629-32.
127. Suchomel P, Jurák L, Benes V, et al. Clinical results and development of heterotopic ossification in total cervical disc replacement during a 4-year follow-up. *Eur Spine J* 2010;19(2):307-15.
128. Yi S, Lee D, Ahn P, et al. Radiologically documented adjacent-segment degeneration after cervical arthroplasty: characteristics and review of cases. *Surg Neurol* 2009;72(4):325-9.

7 Danksagung

Als Erstes möchte ich meinem Doktorvater, Herrn OA PD Dr. med. Stefan Nikolaus Kroppenstedt, dafür danken, dass er mich durch seine weisenden Worte, gepaart mit konstruktiver Kritik dazu angespornt hat, meine eigene Arbeit zu reflektieren und zu verbessern. Er hat mir stets das Gefühl gegeben in einem Team zu arbeiten und war mit seiner natürlichen und freundlichen Art Vorbild für meine eigene ärztliche Tätigkeit.

Ich danke OA Dr. med Mario Čabraja, der mich über die Zeit der Untersuchungen und des Verfassens der Dissertationsschrift wie ein Bruder betreut und mir in vielen Gesprächen geholfen hat, wesentliche Methoden und Herangehensweisen in der Neurochirurgie besser zu verstehen.

Bedanken möchte ich mich auch bei den Schwestern der Neurochirurgischen-Neurologischen-Poliklinik, Charité, Campus Virchow-Klinikum, die mich in vielen kleinen Dingen unterstützten, mir wichtige Fragen beantworteten und auch das ein oder andere Mal für mein leibliches Wohl sorgten.

Nicht zuletzt möchte ich meiner Familie danken, die mich ebenso stets unterstützt hat. Besonders möchte ich mich bei meiner Frau, Claudia Köppen, dafür bedanken, dass sie mir immer Ansprechpartner und Kritiker war, und es wie kein Anderer verstand, mich bei mangelndem eigenen Antrieb zu motivieren.

8 Lebenslauf

„Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.“

„Mein Lebenslauf wird aus Datenschutzgründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht mit veröffentlicht.“

9 Publikationsliste

Sprung C, Armbruster B, Koeppen D, Cabraja M. Arachnoid cysts of the middle cranial fossa accompanied by subdural effusions--experience with 60 consecutive cases. *Acta Neurochir.* 2011 Jan;153(1):75-84; discussion 84. Epub 2010 Oct 8.

Cabraja M, Abbushi A, Koeppen D, Kroppenstedt S, Woiciechowsky C. Comparison between anterior and posterior decompression with instrumentation for cervical spondylotic myelopathy: sagittal alignment and clinical outcome. *Neurosurg Focus.* 2010 Mar;28(3):E15.

Cabraja M, Mohamed E, Koeppen D, Kroppenstedt S. The analysis of segmental mobility with different lumbar radiographs in symptomatic patients with a spondylolisthesis. *Eur Spine J.* 2011 Jun 14. [Epub ahead of print]

10 Erklärung

„Ich, Daniel Köppen, erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: Segmentale Bewegungserhaltung nach PMMA-assistierter Fusionsoperation an der Halswirbelsäule selbst verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt, ohne die (unzulässige) Hilfe Dritter verfasst und auch in Teilen keine Kopien anderer Arbeiten dargestellt habe.“

Ort, Datum

Unterschrift