

Klinische und radiologische Ergebnisse nach ventraler,
zervikaler Spondylodese unter Verwendung eines mit
Schrauben verankerten Kunststoffimplantates
(aus PEEK)

Inauguraldissertation
Zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
des Fachbereichs Medizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von Jacob, Janina Marja
aus Neumünster

Gießen 2007

aus der Klinik für Neurochirurgie der Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH Wiesbaden,
Lehrkrankenhaus der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Direktor:

Prof.Dr.med. Robert Schönmayr
apl. Professor der Neurochirurgie des Fachbereichs Humanmedizin
der Justus-Liebig-Universität Gießen

Gutachter:

Prof.Dr.med. Robert Schönmayr

Gutachter:

Prof.Dr.med. Horst Traupe

Tag der Disputation:

24.01.2008

meinen Eltern

Inhaltsangabe

A.	Einleitung	
1.	Ätiologie und Pathogenese zervikaler Wirbelsäulenerkrankungen	
1.1	Geschichtlicher Überblick der Halswirbelsäulenoperationen	9
1.2	Anatomische, pathologische und funktionelle Grundlagen	11
2.	Klinische Symptomatik zervikaler Wirbelsäulenleiden	
2.1	HWS Syndrom	14
2.2	Radikuläres Syndrom	14
2.3	Pseudoradikuläres Syndrom	14
2.4	Myelopathisches Syndrom	15
2.5	Vegetatives Syndrom	16
3.	Radiologische Diagnostik	
3.1	Röntgennativaufnahmen (a-p/lateral/Foramen/Funktion)	18
3.2	Computertomographie (CT)	20
3.3	Myelographie und post-Myelographie-CT	21
3.4	Magnetresonanztomographie (MRT) und funktionelle, offene MRT	23
3.5	Diskographie und postdiskographische CT	25
4.	Operationstechniken der Halswirbelsäulen Chirurgie	
4.1	Ventraler Zugang	27
4.2	Ventrolateraler Zugang	31
4.3	Dorsolateraler Zugang: Foraminotomie	32

4.4	Dorsaler Zugang	33
B.	Patienten und Methoden	
1.	Patienten	
1.1	Patientenkollektiv und Auswertungskriterien	34
2.	Methoden	
2.1	Methodik der Untersuchung	34
2.1.1	Klinische Evaluation	
2.1.1.1	Anamnese und neurologische Symptomatik	35
2.1.1.2	Bewertungsskalen: PROLO und Roosen: Erläuterung und Erhebung	35
2.1.2.	Radiologische Evaluation	
2.1.2.1	Erhebungsdauer	38
2.1.2.2	Kriterien zur Auswertung radiologischer Diagnostik	38
2.2	Operationsmethode	39
2.3	Implantat: Plate-Cage (PCB) aus PEEK	41
2.4	Füllung von Implantaten	42
2.5	Komplikationen	44
C.	Ergebnisse	
1.	Demographische Daten	
1.1	Zeitraum der Datenerfassung: Patientenkollektiv	47

1.2	Geschlechts- und Altersverteilung	47
1.3	Anzahl und Häufigkeit operierter Segmente	48
1.4	verwendete Cages	49
1.5	Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung	49
2.	Postoperative Untersuchungen im Vergleich zum Ausgangsbefund	
2.1	Radiologische Nachuntersuchungen	
2.1.1	Stellung: HWS und operierte/s Segment/e: Vergleich präoperativ/Abschlussuntersuchung	50
2.1.2	Fusionszeichen zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung	51
2.1.3	Sinterungen zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung	51
2.2	Klinische Nachuntersuchungen	
2.2.1	Neurologische Symptomatik: Vergleich präoperativ/Abschlussuntersuchung	52
2.2.2	Ergebnisse der Bewertungsskalen:	
2.2.2.1	PROLO und Roosen Skala	54
2.2.2.2	Komplikationen	56
D.	Diskussion	58
E.	Zusammenfassung	74
	Summary	75
	Literaturverzeichnis	
	Danksagung	
	Ehrenwörtliche Erklärung	

Abkürzungsverzeichnis

A.	=	Arterie
Abb.	=	Abbildung
ant.	=	anterior
a-p	=	anterior-posterior
bds.	=	beidseits
CT	=	Computertomographie
DD	=	Differentialdiagnose
HA	=	Hydroxylapatit
HWS	=	Halswirbelsäule
Lig.	=	Ligamentum
Ligg.	=	Ligamenta
Lig. long. ant .	=	Ligamentum longitudinale anterius
Lig. long. post.	=	Ligamentum longitudinale posterius
Mm.	=	musculi
m.	=	musculus
MRT	=	Magnetresonanztomographie
N.	=	Nervus
o.p.B.	=	ohne pathologischen Befund
post.	=	posterior
Proc.	=	processus
PROLO	=	Prolo-Scale
SR	=	Smith-Robinson
V.	=	Vene

Tabellen- und Graphikenverzeichnis

- Tabelle 1: PROLO
- Tabelle 2: Altersverteilung
- Tabelle 3: verwendete Cages
- Tabelle 4: Vergleich: HWS Stellung präoperativ und zur Abschlussuntersuchung
- Tabelle 5: Vergleich: Segmentstellung des/der operierten Segments/e präoperativ und zur Abschlussuntersuchung
- Tabelle 6: Fusionszeichen zur Abschlussuntersuchung
- Tabelle 7: Sinterungen des Implantats in angrenzende Wirbelkörper
- Tabelle 8: Nackenschmerzen und Zephalgien
- Tabelle 9: Radikulopathien
- Tabelle 10: Myelopathische Symptome
- Tabelle 11: PROLO präoperativ
- Tabelle 12: PROLO postoperativ
- Tabelle 13: Auswertung PROLO
- Tabelle 14: Durchschnittswerte PROLO prä- und postoperativ
- Tabelle 15: Roosen Skala
-
- Graphik 1: Geschlechtsverteilung
- Graphik 2: Altersverteilung
- Graphik 3: Höhenverteilung
- Graphik 4: Segmentverteilung der Eingriffe
- Graphik 5: Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung
-
- Abb. 1/2: Photos: Plate-Cage (PCB) aus PEEK: ventral und lateral
- Abb. 3/4: Zeichnung: Plate-Cage (PCB) aus PEEK: laterale Ansicht eines und ventrale Ansicht zweier Cages bei bisegmentalen Eingriffen

A. Einleitung

1. Ätiologie und Pathogenese zervikaler Wirbelsäulenerkrankungen

1.1 Geschichtlicher Überblick der Halswirbelsäulenoperationen

In den vierziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts wurden zunächst die dorsale Zugänge zur Halswirbelsäule favorisiert. Dabei erfolgte die dorsale Freilegung der zervikalen Wurzeln mittels Foraminotomie, Facettektomie und teilweise Hemi-/Laminektomie unter anderen von Scoville (1946) und Frykholm (1947).

Bei den dorsalen Zugängen traten Komplikationen, z.B. in Form von Stabilitätseinbußen mit Dislokationen und „Schwanenhalsdeformität“ (Samii u.Bothe 1996) auf, sodass nach Alternativen gesucht wurde.

In den fünfziger Jahren wurden durch Smith & Robinson (SR) (1955/58), Dereymaeker und Mulier (1956/58) sowie Cloward (1958) die Grundsteine der heutigen Operationen über den ventralen Zugang zur Halswirbelsäule gelegt und erfolgreich praktiziert.

Die Unterschiede der Operationsmethoden liegen in der Wahl der Instrumente, der Präparation des Bandscheibenfachs und der Form der Knochendübel: Clowards Dübel hat eine zylindrische Form, während der von SR eine rechteckige Gestalt besitzt. Die Operationen beinhalten die vollständige Entfernung der Bandscheibe (Diskektomie), die Resektion dorsaler Osteophyten sowie die Extraktion sequestrierter Diskusanteile. Anschließend erfolgt die intersomatische Spondylodese mit autologem Knochenspan oder heterologem Knochendübel (Langmayr u. Russegger 1991).

Ziel war und ist es, Schmerzen, die von degenerierten Bandscheiben, den Osteophyten und dadurch bedingter Kompression neuraler Elemente ausgehen, durch Stabilisierung und Immobilisierung des betroffenen Segments auf lange Sicht auszuschalten (Robinson et al. 1962).

Eine weitere Alternative zur Wurzeldekompression stellten 1960 Bailey und Badgley sowie 1966 Verbiest mit dem ventro-lateralen Zugang vor. Dieser geht zunächst einher mit der Darstellung der A. vertebralis und nachfolgender Resektion des

vorderen Anteils des Proc. transversus, um eine Erweiterung des Foramen intervertebrale zu bewirken.

Hirsch (1960) und Hirsch et al. (1964) unternahm/en Anfang der sechziger Jahre die erste ventrale Entlastungsoperation einer Wurzel mit einfacher ventraler Diskektomie ohne anschließende interkorporelle Fusion. Diese Technik wurde weiterhin mit guten Resultaten bei Rückgang der präoperativen Symptomatik durchgeführt, die Indikation meist jedoch auf Bandscheibenvorfälle ohne Spondylosis deformans im Röntgenbild sowie auf ein bis zwei Höhen beschränkt. Der Grund hierfür lag in dem Risiko einer zunehmenden Kyphosierung und Destabilisierung bei mehrsegmentalen Eingriffen (Martins 1976). Bei Verzicht auf ein Knochenimplantat entfielen die mit seiner Entnahme verbundenen Komplikationen.

Mit besserer Visualisierung des Operationsfeldes mittels mikrochirurgischer Technik wurden in der Folgezeit auch dorsal gelegene Osteophyten abgetragen (Gilsbach et al. 1981, Husag u. Probst 1984).

Ende der sechziger Jahre begann man nach Alternativen zu den autologen Knochenspänen für die Spondylodese zu suchen, um Komplikationen bei ihrer Entnahme zu vermeiden. Zur Auswahl standen zunächst unter anderem PMMA (=Polymethylmetacrylat) (Grote u. Röttgen 1967), Hydroxylapatit-Keramikimplantate (Koyama u. Handa 1994, Montazem et al. 1994), die aus der Kieferchirurgie übernommen wurden, sowie später metallische Implantate, z.B. der Bagby Cage (Bagby 1988), Metallblock nach Waisbrod (Dumas et al. 1994) oder Titan Cages (Matgé u. Leclercq 2000).

Weiterhin wurden unterschiedliche Plattensysteme, z.B. Sénégas und Gauzère (1976/77), Caspar (1983), Morscher et al. (1986) sowie das Orion-System von Danek (Lowery 1995), entwickelt. Sie fungieren zumeist als winkelstabile Verriegelungssysteme. Hierbei steht als Ziel im Vordergrund, die primäre Stabilität der operierten Segmente zu erhalten bis die endgültige knöcherne Durchbauung erfolgt ist.

Nachfolgend werden die klinischen und radiologischen Ergebnisse von 38 Patienten evaluiert, bei denen ein Plate-Cage (PCB) aus Poly-Ether-Ether-Keton (PEEK) implantiert wurde.

1.2 Anatomische, pathologische und funktionelle Grundlagen

Der altersbedingte Verschleißprozess der Wirbelsäule, der die Wirbelsäule mit ihren Gelenken, Bändern, Muskulatur und neuralen Strukturen als Ganzes betrifft, ist keineswegs immer einem krankhaften Prozess gleichzusetzen. Denn auch massive Veränderungen der anatomischen Strukturen im Röntgenbild bedingen nicht zwangsläufig ein klinisches Korrelat im Sinne von Schmerzen oder einer Funktionsbeeinträchtigung und stellen, für sich genommen, keine Operationsindikation dar (Tilscher u. Eder 1993).

Fokussiert wird hier das einzelne Bewegungssegment nach Junghann'scher Definition (1950), zu dem das Halbgelenk Bandscheibe, die kleinen paarigen Wirbelgelenke sowie die wirbelkörperverknüpfenden Bänder zählen. Weitere Bestandteile sind die vorne und seitlich die Wirbelsäule stabilisierenden Bänder, wie das Lig. long. post. und das Lig. long. ant. (Junghanns 1980, Abel et al. 1998). Die Beweglichkeit der Halswirbelsäule ist unterschiedlich auf die verschiedenen Wirbelkörper verteilt. So finden Rotation, Flexion und Extension hauptsächlich in den Bewegungssegmenten Os occipitale-C1 und C1-C2 statt.

Die Bandscheibe besteht aus einem gallertigen Nucleus pulposus, der vom Anulus fibrosus umgeben ist. Durch den Alterungsprozess kommt es zu Wasser- und Elastizitätsverlust des Kerns sowie zu Bewegungseinschränkung und Sinterung des Bandscheibenfachs. Diese Veränderung wird als Chondrosis intervertebralis bezeichnet. Kommt es im weiteren Verlauf, möglicherweise auch durch vermehrte Belastungen, zu Spaltbildung oder Einrissen des Anulus fibrosus, kann sich das Gewebe des Nucleus verlagern und zu Protrusionen und Vorfällen führen, die eine Einengung von Neuroforamina oder Wirbelkanal bewirken können.

Bleibt bei einer Verlagerung von Nucleusgewebe das Lig. long. post. noch intakt, wird dies als Protrusion bezeichnet; ist dieses jedoch durchbrochen, spricht man von einem Diskusprolaps. Sequestriertes Nucleusgewebe hat dagegen keinerlei Kontakt mehr zu der Bandscheibe.

Durch die Höhenminderung der Bandscheiben kommt es zur Annäherung der Wirbelkörper aneinander und zu einer abnormen Beweglichkeit durch Lockerung der Bandführung. Dies hat zur Folge, dass sich die Grund- und Deckplatten der veränderten mechanischen Beanspruchung anpassen und u.a. mit knöchernen Anbauten reagieren. Durch diese spondylotischen Randzacken an den

Wirbelkörpern kann es zu einer Einengung des Spinalkanals und der Foramina intervertebralia kommen.

Veränderungen der an die betroffene/n Bandscheibe/n angrenzenden Wirbelkörper werden nach Modic (Modic et al. a+b 1988) in drei Stufen unterteilt.

Zu Beginn kommt es zu einer ödematösen (nichtentzündlichen) Reaktion des Knochens mit fibrösem Umbau (Modic I), der über eine fettige Degeneration (Umwandlung von blutbildenden Mark in Fettmark: Modic II) in eine Sklerose übergehen kann (Modic III). Damit verbunden ist eine Verschlechterung der metabolischen Situation der Bandscheibe.

In der MRT sind diese Veränderungen wie folgt differenzierbar:

- Modic I : hypointenses T1w und hyperintenses T2w Signal
- Modic II : zunehmend hyperintenses T1w und iso- bis mässig hyperintenses T2w Signal
- Modic III : in T1w sowie T2w hypointenses Signal

Auch die Wirbelbogengelenke werden durch oben beschriebene Bandscheibendegeneration in Mitleidenschaft gezogen: Es kommt zu arthrotischen Veränderungen mit Zerstörung der artikulierenden Knorpelflächen, subchondralen Sklerosierungen und Randkantenausziehungen.

Als Osteochondrose wird eine Kombination aus Veränderung der Bandscheibe (=Degeneration) und den angrenzenden Wirbelkörpern (=Sklerose) bezeichnet.

Die Höhenminderung des Bandscheibenfaches hat zwei weitere Folgen: die unteren Gelenkfortsätze des oberen Wirbels treten tiefer (Subluxation) und das Lig. flavum buckelt sich zwischen den einander angenäherten Laminae in den Wirbelkanal vor („bulging“). Beides kann zu einer Stenosierung von Foramina intervertebralia und Spinalkanal beitragen.

Zusammenfassend werden diese fortgeschrittenen degenerativen Veränderungen an den Wirbelkörpern und Bandscheiben als Spondylosis deformans bezeichnet.

Klinisch können diese Befunde mit lokalen oder pseudoradikulären, bei Kompression der Foramina intervertebralia auch mit radikulären Symptomen einhergehen.

Bei der Betrachtung der HWS ist als Besonderheit die anatomische Lage der Proc. uncinati zu den Spinalnerven und der A. vertebralis zu erwähnen. Die Proc. uncinati begrenzen die Bandscheibe knöchern und liegen in der HWS zunächst mehr lateral, während sie an der restlichen Wirbelsäule dorso-lateral bis dorsal liegen. Dies führt bei mit Exostosenbildung einhergehenden degenerativen Veränderungen der HWS vermehrt zur Spinalnervenkompression (Brussatis 1981).

Durch die enge topographische Beziehung der Proc. uncinati zu den Foramina transversaria, in denen die A. vertebralis ab dem 6./7. Halswirbelkörper in Richtung Foramen magnum nach kranial zieht, kann es durch osteophytäre Stenosierungen zu Durchflussstörungen kommen, die wiederum ischämische Funktionsstörungen oder strukturelle Schäden im vertebro-basilären Stromgebiet auslösen können.

2. Klinische Symptomatik zervikaler Wirbelsäulenleiden

2.1 HWS-Syndrom

Sammelbegriff für Affektionen im Halsbereich, vor allem Schmerzen und Bewegungseinschränkungen in Kombination mit nervalen Reiz- oder Ausfallserscheinungen.

2.2 Radikuläres Syndrom

Das radikuläre Syndrom ist gekennzeichnet durch Schmerzen, Missempfindungen und ggf. Defizitsymptome wie Hypalgesie, Reflexausfälle und/oder Kennmuskelparesen.

Es ist ätiologisch auf eine Wurzelirritation (z.B. mechanisch, metabolisch, entzündlich) zurückzuführen und tritt in Erscheinung in Form von Schmerzen (Algesien) und Oberflächensensibilitätsstörungen (Par- oder Hypästhesien) entlang des dazugehörigen Dermatoms. Provozierbar ist dies mitunter mit Hilfe des Valsalva-Versuchs (z.B. Niesen, Husten) oder aktiven (z.B. Extension) /passiven (z.B. geführte Kopffrotation) Bewegungen zu der betroffenen Seite hin (Ruggieri 1995, Sweeney 1995).

Bei den selteneren motorischen Ausfällen kann es zu Reflexstörungen, Paresen und Muskelatrophien im betroffenen Myotom kommen. Ursache sind meist akute Bandscheibenvorfälle oder spondylotische Veränderungen (Stöhr u. Riffel 1988). Erstere imponieren eher monoradikulär, während letztere auch multisegmental auftreten können.

Beispiel eines radikulären C 6-Syndroms sind sensible Störungen im Dermatom von der Radialseite des Ober- und Unterarms bis hin zum Daumen und der Radialseite des Zeigefingers, die zugehörigen Kennmuskelausfälle des M. biceps brachii und des M. brachioradialis sowie Abschwächung oder Ausfall des Bizepssehnenreflexes.

2.3 Pseudoradikuläres Syndrom

Das pseudoradikuläre Syndrom wird durch Schmerzausbreitung, die nicht einem Dermatom zugeordnet werden kann, fehlende Sensibilitätsstörungen und fehlende Paresen gegenüber dem radikulären Syndrom abgegrenzt. Als Ursache kommen

Reizungen der Wirbelbogengelenke, der dazugehörigen Ligamente und der muskulären Insertion in Frage. Die Folge ist muskulärer Hartspann, der von einer sympathischen Nozireaktion begleitet wird, wie z.B. Nackenschmerzen mit Ausstrahlungen in die Kopf- oder Schulter-Arm-Region, manchmal mit Dysästhesien bis in die Fingerkuppen. Oft tritt das radikuläre - in Kombination mit einem pseudoradikulären Syndrom auf, das postoperativ nach Dekompression der Nervenwurzel für eine weiterhin bestehende Symptomatik verantwortlich sein kann (Tilscher u. Eder 1993).

2.4 Myelopathisches Syndrom

Das zervikale myelopathische Syndrom (=zervikale Myelopathie) ist ein Krankheitsbild unterschiedlicher Genese, welches die topographische Zuordnung von Ausfallserscheinungen und Reizsymptomen im Bereich des Halsmarkes bezeichnet. Dazu können auch die Nervenwurzeln zählen.

Man unterscheidet die primären Myelopathien, die aufgrund einer primären Rückenmarkserkrankung auftreten, z.B. bei intraspinalen Tumoren oder Encephalomyelitis disseminata, von den sekundären Myelopathien, die die Folge einer Veränderung der Wirbelsäule und ihrer begleitenden Strukturen sind, z.B. degenerative, osteophytäre Anbauten (Gullotta 1991). Folge dieser Veränderungen ist in jedem Falle eine Kompression des Myelons mit eventueller Nervenwurzelbeteiligung. Das Myelon kann dabei direkt durch mechanische Kompression in seiner Funktion beeinträchtigt werden oder indirekt durch Beeinträchtigung seiner vaskulären Versorgung.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen die sekundären Myelopathien betrachtet werden. Die Pathogenese lässt sich auf raumfordernde, hier insbesondere degenerative Veränderungen, z.B. Spondylosis deformans, zurückführen. Es finden sich teils diskogene, teils hypertrophe arthrotische Veränderungen der Gelenke mit Randkantenausziehungen, retrospondyläre Osteophytenbildungen, mitunter auch ligamentäre Einengungen, z.B. durch das Lig. flavum. Diese Veränderungen der Begrenzungen des Spinalkanals führen zu einer Myelonkompression und/oder einer Flussbehinderung der zuführenden oder ableitenden Gefäße mit der Folge einer Ischämie oder Ödembildung. Die Symptomatik tritt schneller in Erscheinung bei vorbestehendem, kongenital engen Wirbelkanal (Ross 1995).

Es gibt altersbedingte Unterschiede: jüngere Patienten kommen eher mit einer akuten Myelopathie; ursächlich sind meist mediane Bandscheibenprotrusionen/-prolapse oder andere akute Kompressionen, z.B. traumatischer Genese. Jenseits der Fünfzig sind degenerative spondylotische Erkrankungen die häufigste Ursache einer Myelopathie (Ross 1995).

Die klinische Symptomatik ist je nach Beteiligung verschiedener Bahnsysteme, z.B. Seiten- und Hinterstränge, Pyramidenbahnen, graue Substanz und Halbseitenläsionen, sehr variabel: Gangstörungen, Parästhesien, Pyramidenbahnzeichen, schlaffe, häufiger spastische Paresen mit Reflexausfällen bis hin zum inkompletten oder kompletten Querschnittssyndrom. Meist besteht eine Mischform zwischen medullärer und radikulärer Symptomatik (Ross 1995, Herkowitz 1989).

Denno und Meadows (1991) werten das Auftreten des Hoffmann-Zeichens, welches dem Trömmer Reflex entspricht, nach einer dynamischen Untersuchung der HWS als Ausdruck einer mechanischen Irritation des Myelons. Sein Auftreten könnte als Frühzeichen einer zervikalen, spondylogenen Myelopathie gewertet werden (Denno u. Meadows 1991, Sweeney 1995).

Der Beginn einer chronischen Myelopathie ist meist schleichend, zunächst einhergehend mit Gangstörungen oder -unsicherheiten, Tonus und Reflexsteigerung sowie Parästhesien der unteren Extremitäten. Sie treten im Verlauf deutlicher hervor und können in Kombination mit Paresen und zunehmender Dystaxie einhergehen, letzteres durch Affektion spinozerebellärer Bahnen. Durch Zunahme der Paresen kann es bis zur Gehunfähigkeit kommen (Kunze et al. 1991).

Für die postoperative klinische Besserung der präoperativen Beschwerden ist unter anderem die Ausprägung und Schwere der präoperativen Symptomatik, die Dauer der bestehenden Ausfälle und deren Verlauf wichtig (Dubuisson et al. 1993, Gore u. Sepic 1984, Mosdal 1984, Heidecke et al. 2000).

2.5 Vegetatives Syndrom

Im Halsbereich kann der Grenzstrang betroffen werden, in dem die sympathischen Fasern von den ersten Thorakalsegmenten hochziehen, um sich dann postganglionär den zervikalen Spinalnerven anzuschließen. Folge wäre ein peripheres Horner-Syndrom, welches durch Miosis, Ptosis, Enophthalmus und fakultativ begleitender Anhidrosis der ipsilateralen Gesichtshälfte gekennzeichnet ist.

Anhidrosis fehlt bei einer Unterbrechung der alleinigen Vorderwurzeln Th1 und Th2 (Stöhr u. Riffel 1988).

Die Ursachen einer Grenzstrangverletzung können iatrogene Schädigungen oder Traumata, wie z.B. nach Verkehrsunfällen, sein. Entzündliche oder tumoröse Prozesse im Bereich der Pleurakuppel, z.B. Pancoast Tumore oder Tuberkulome, können den Grenzstrang infiltrieren und oben genannte Symptome hervorrufen.

Im Rahmen von degenerativen Veränderungen an der Halswirbelsäule ist ein vegetatives Syndrom eher nicht zu erwarten.

3. Radiologische Diagnostik

3.1 Röntgennativaufnahmen

HWS Übersichtsaufnahmen

- unveränderter Standard der Primärdiagnostik bei Verdacht auf eine Erkrankung oder Verletzung im HWS-Bereich
- erster Schritt in einer Stufendiagnostik: im anterior-posterioren, seitlichen sowie 45° schrägen Strahlengang (Abel et al. 1998)

Anterior-posteriore (a-p) und laterale Aufnahmen

Indikation

- HWS-Syndrom
- Verlaufskontrolle degenerativer Veränderungen und nach HWS-Operationen

Bewertung

- Differenzierung: traumatische, degenerative, entzündlich-rheumatoide oder tumoröse Genese der Beschwerden (Schnur u. Clar 1993)
- Alingement, Achsenverlauf und Stellung der HWS und ihrer Segmente
- Sub- und Luxation, z.B. bei degenerativer Gelenkzerstörung
- ossäre Anbauten
- Spondylarthrosis deformans oder/und Spondylarthrosis uncovertebralis
- Bandscheibenfach und Implantate, Fusions- oder Lockerungszeichen
- ossäre Spinalkanalweite: Abmessung mithilfe der Boijesen-Linien: Spinalkanal in 3 Abschnitte unterteilt: einen pedikulären, artikulären sowie laminären (Boijesen 1954)

Foramen-/Schrägaufnahmen (Strahlengang 45°)

Indikation

- Radikulopathien
- Abklärung räumlicher Verhältnisse der Foramina intervertebralia bei V.a. Einengung oder Erweiterung
- posttraumatische Zustände, z.B. Sub-/Luxation, Fraktur des Proc. articularis

Bewertung

- ossäre Einengung der Foramina intervertebralia, z.B. durch kraniale Verschiebung der superioren Gelenkfacette nach postoperativer oder degenerativer Höhenminderung des Bandscheibenfachs (Trattning et al.1993)
- Zustand der Processus uncinati
- Erweiterung der Foramina intervertebralia: indirekter Hinweis auf Neurinome oder Meningeome

Funktionsaufnahmen (Dvořák 1999)

Indikation

- Verdacht auf segmentale Hypo- oder Hypermobilität
- Diagnostik bei rheumatoider Arthritis

Bewertung

- Alingement der HWS in Funktion
- Erfassung von Bewegungsstörungen der HWS und/oder der Segmente
- Spondylolisthese (antero- oder retro-): Einteilung nach Meyerding I-IV. Wirbelgleiten von >2 mm deutet bei einem Erwachsenen auf eine Instabilität hin (Dvořák 1999)

3.2 Computertomographie (CT)

Die Computertomographie wird vor allem zur Klärung ossärer Beteiligung bei einer Foramen- oder Spinalkanalstenose der Wirbelsäule eingesetzt (Hosten u. Liebig 2000).

Die knöchernen Anteile können präzise im Knochenfenster der CT dargestellt werden, was insbesondere bei der Diagnostik traumatischer Veränderungen von Bedeutung ist.

CT-Geräte bieten neben der axialen Schichtung die Möglichkeit einer zwei- und/oder dreidimensionalen Rekonstruktion durch multiplanare Reformatierung, z.B. im Spiral-CT. Dadurch können genaue Aussagen über Frakturverläufe, Alingement, Neuroforaminaweite, Zustand der Facettgelenke, Fusion oder eine Pseudarthrose gemacht werden. Weiterhin sind die rekonstruierten Bilder hilfreich bei einer präoperativen Planung (Zinreich et al. 1990, Hosten u. Liebig 2000).

Durch iv. Kontrastmittelgabe können im Weichteilfenster gefäßreiche Strukturen vom umliegenden Gewebe besser abgegrenzt werden und lassen, z.B. eine erste differentialdiagnostische Zuordnung intraspinaler Raumforderungen zu (Hosten u. Liebig 2000).

Indikation

- knöcherner Beteiligung einer Foramen- oder Spinalkanalstenose
- nach Trauma bei V.a. Frakturen und fehlender Darstellung von Teilen der HWS im konventionellen Röntgenübersichtsbild, vor allem des kranio-spinalen und zerviko-thorakalen Übergangs (Daffner 1999)
- Veränderungen am kranio-zervikalen Übergang
- präoperative Planung
- Patienten mit nicht MRT-kompatiblen Implantaten: artefaktbildende Metallstrukturen oder Herzschrittmacher
- klaustrophobische Patienten (falls kein offene MRT zur Verfügung steht)

Bewertung

- ossäre Strukturen: Anatomie der Wirbelkörper und Gelenke, Durchmesser des Spinalkanals und der Foramina, Anomalien
- degenerative Veränderungen z.B. ossäre Anbauten (Osteophyten)
- Frakturlinien
- Verkalkungen

Insgesamt hat die Computertomographie (CT) in der HWS Diagnostik an Bedeutung abgenommen und wird bei der Darstellung von Weichteil- und Bandstrukturen, vor allem auch beim Nachweis pathologischer Veränderungen am oder im Myelon, von der MRT-Untersuchung übertroffen (Tash u. Savitz 1994, Parizel et al. 1996).

3.3 Myelographie und post-Myelographie-CT

Indikation

- multisegmentale Spinalkanalstenose
- Bandscheibenvorfall DD knöcherne Einengung
- Funktionsuntersuchung bei degenerativer Wirbelsäulen- und Bandscheiben-erkrankung bei V.a. ligamentäre Instabilität mit Pseudo- oder Spondylolisthesis
- in Fällen von Diskrepanz zwischen Klinik und bisheriger Bildgebung
- Kontraindikationen für eine MRT-Untersuchung oder bei keiner verfügbaren MRT zur präoperativen Planung
- V.a. spinale Gefäßmissbildung oder Durafistel

Bewertung

- Liquorflussblockade (=Kontrastmittelstopp) durch Raumforderung im Wirbelkanal: Knochenfragment, Bandscheibenprolaps, Spinalkanalstenose DD Tumor
- bewegungsabhängige Spinalkanalstenose: In- und Reklination der Wirbelsäule
- vaskuläre Strukturen, erweiterte oder geschlängelte medulläre Venen (Reul 2001)

Allerdings ist die Myelographie ein invasives Verfahren, das zu Infektionen, Liquorunterdrucksymptomen, Kontrastmittelunverträglichkeiten, Blutungen und Verletzung neuraler Strukturen führen kann (Huk u. Kunze 1985, Tash u. Savitz 1994, Dvořák 1999). Aufgrund dessen gehört die Myelographie zu der weiterführenden Diagnostik. Bei Patienten mit Spinalkanalstenosen, Kontraindikationen für MRT-Untersuchungen und besonders in Fällen von Diskrepanz zwischen Klinik und bisheriger Bildgebung ist sie eine wertvolle Zusatzuntersuchung (Hosten u. Liebig 2000, Dvořák 1999).

post-Myelographie-CT

Indikation

- extradurale Läsionen wie sequestrierte Bandscheibenprolapse in Kombination mit einer akuten Verletzung des Achsenskeletts (Daffner 1999)
- akutes Trauma mit V.a. Nervenwurzelaustritte
- Bandscheibenvorfall DD knöcherne Einengung oder Spinalkanalstenosen
- Kontraindikationen für eine MRT-Untersuchung oder bei keiner verfügbaren MRT zur präoperativen Planung

Bewertung

- Kontrastmittelaussparungen bei Einengungen durch z.B. Raumforderungen
- Spinalkanal, Myelon und Liquorraum (Duralsack und Wurzelaschen mit Nervenwurzeln: Erweiterungen bei z. B. Wurzelaschenzysten)
- Duraeinrisse und Nervenwurzelaustritte
- posttraumatische zystische Myelopathie
- Hilfe bei der Diagnosestellung einer sich entwickelnden Syringomyelie: kann Aufschluss über das Ausmaß des Liquoraustausches mit dem Subarachnoidalraum geben

3.4 Magnetresonanztomographie (MRT) und funktionelle, offene MRT

Mit Hilfe der MRT ist es möglich, größere Abschnitte der Wirbelsäule durch sagittale und parasagittale Schnitfführung ohne Strahlenbelastung darzustellen.

Ein intravenöse Kontrastmittelgabe kann zur Differenzierung unterschiedlicher Gewebe beitragen; z.B. ein Rezidiv eines Bandscheibenvorfalls von einer Vernarbung zu unterscheiden oder einen gestauten, intraspinalen Venenplexus von einem Sequester (Trattnig et al. 1993, Uhlenbrock 1994).

Eine Kompression des Rückenmarks kann in ausgeprägten Fällen in der MRT-Untersuchung zu einer intramedullären Signalanhebung führen als Ausdruck eines Ödems oder einer Gliose. Nach Kontrastmittelgabe wird dieser Effekt verstärkt, was am ehesten auf eine Schrankenstörung zurückzuführen ist (Uhlenbrock 1994).

Indikation

- degenerative, entzündliche oder tumoröse Veränderungen/Erkrankung von Wirbelsäule, Rückenmark und/oder Spinalkanal:
 - Verdacht auf Syringomyelie, demyelinisierende Erkrankungen
 - Verdacht auf Spondylitis oder -discitis
 - Verdacht auf Rezidivprolaps oder Vernarbung
 - Verdacht auf intra- und extraforaminale Bandscheibenvorfälle
- Verdacht auf Verletzung des Bandapparates nach Trauma
- perivertebrale Weichteildiagnostik

Bewertung

- Weichteilstrukturen: Rückenmark, Spinalnerven, Bandscheiben, Sequester: sub- oder extraligamentär
- Lokalisation und Differenzierung von Raumforderungen, z.B. Tumore (intraspinal: extra- oder intradural und extra- oder intramedullär)
- Gelenkveränderungen: Arthrose mit Verplumpung der Proc. uncinati, Ergüsse im Gelenkspalt oder Subluxationen

- Genese einer Spinalkanal- oder Foramenstenose: degenerativ, postoperativ (Narbenbildung oder Instabilität), traumatisch, metabolisch-hormonell (Akromegalie, epidurale Lipomatose), neoplastisch, entzündlich

Nachteilig ist die Artefaktbildung in der postoperativen MRT, wenn ferromagnetische Materialien als Implantat verwendet wurden. Eine ähnliche Wirkung kann auch starker intraoperativer Metallabrieb haben. Dieser Effekt wird verstärkt, wenn die MRT in höheren Feldstärken angefertigt wird. In diesen Fällen ist nur eine reduzierte Aussage über die Anatomie oder Pathologie möglich (Uhlenbrock 1994).

Funktionelle, offene Magnetresonanztomographie (MRT)

Indikation

- bei neurologischen Symptomen, die in bestimmten Stellungen der HWS auftreten, z.B. positives Lhermitte-Zeichen
- Instabilität bei rheumatoider Arthritis
- als Ergänzung bei in konventionellen Röntgenbildern gesicherter Instabilität oder Bewegungsstörung
- klaustrophobische Patienten

Bewertung

- bewegungsabhängige Veränderungen der Pathologien in der MRT
- Instabilitäten, z.B. bei chronischer Polyarthritits

Durch die Möglichkeit einer funktionellen MRT-Untersuchung ist die Evaluation der rheumatoiden Arthritis an der Halswirbelsäule optimiert worden. Allerdings behalten die konventionellen Röntgen- und Funktionsaufnahmen als Untersuchungsmethode der ersten Wahl weiterhin ihren Stellenwert (Karhu et al. 2005).

Jinkins und Dworkin (2002) fanden bei ihren Untersuchungen mit der offenen MRT, die sie im Stehen oder Sitzen, ohne und mit Belastung mit Gewichten an den Armen und in Funktion durchführten, folgende Vorteile gegenüber einer Untersuchung im Liegen:

- die Möglichkeit, die physiologische, neutrale Stellung/Haltung der Wirbelsäule des Patienten wiederzugeben
- Aufzeigen degenerativer Veränderungen, die unter axialer Krafteinwirkung auftreten (verstärkt durch Gewichte)
- Durchführung von Funktionsaufnahmen: Flexions-, Extensions- und Rotationsbewegungen
- die Möglichkeit, den Patienten während der MRT-Untersuchung so zu positionieren, daß klinische Symptome (Schmerz, Parästhesien) provoziert werden

Die funktionelle MRT-Untersuchung ist eine dynamische Untersuchungsmethode, die solange die Geräte noch nicht überall zugänglich sind, nur als Ergänzungsmethode bei speziellen Fragestellungen zum Einsatz kommen kann (Dvořák 1999).

3.5 Diskographie (Dvořák 1999) und postdiskographische CT

Auch diese Methode zählt aufgrund ihrer Invasivität zu der weiterführenden Diagnostik.

Indikation

- V.a. isolierte Diskuserkrankung mit hauptsächlich diskogenem Schmerz und längerer Schmerzanamnese
- präoperative Planung: Bestimmung der Anzahl der zu operierenden Segmente bei multisegmentalen, degenerativen Veränderungen
- Zusatzuntersuchung bei fraglichen oder negativen Befunden der bisherigen bildgebenden Verfahren

Bewertung

- anatomische Beschaffenheit des Nucleus pulposus und Anulus fibrosus
- Kontrastmittelaustritt
- Schmerzreproduktion („memory pain“) nach Injektion des Kontrastmittels

Der Kontrastmittelaustritt ist unter Durchleuchtung darstellbar; noch exakter lässt sich dieser Austritt in der postdiskographischen CT, die im Anschluss in dem betroffenen Segment durchgeführt werden kann, veranschaulichen. Dabei ist auch das Ausmaß der Bandscheibendegeneration sehr gut erkennbar.

Risiken liegen in der möglichen Verletzung von Strukturen auf dem Punktionsweg bis hin zu sehr seltenen Infektionen und Entzündungen. Bei manchen Patienten kann die Untersuchung traumatisierend wirken, da sie im HWS-Bereich von ventral durchgeführt wird (Dvořák 1999).

4. Operationstechniken der Halswirbelsäulen Chirurgie

In der Halswirbelsäulen Chirurgie gibt es die Möglichkeit, pathologische Prozesse über ventrale, laterale, ventro- oder dorsolaterale und dorsale Zugangswege anzugehen.

Bei der Wahl des operativen Zugangsweges sind folgende Punkte zu berücksichtigen: zum einen die Beschwerden des Patienten mit seinen individuellen Risikofaktoren und zum anderen die Auswertung der aktuellen Bildgebung mit Lokalisation und Analyse der Kompressionsrichtung des pathologischen Prozesses (Dittmann u. Roosen 1994). In der Regel werden ventrale und ventrolaterale pathologische Prozesse über einen anterioren Zugang, dorsale und dorsolaterale über einen dorsalen Zugang operiert (Dittmann u. Roosen 1994).

Standardoperation der degenerativ veränderten, mittleren und unteren Halswirbelsäule über einen ventralen Zugang ist die Diskektomie und intersomatische Spondylodese nach Smith-Robinson oder Cloward. Heutzutage werden diese meist in gewissen Modifikationen angewendet (Dittmann u. Roosen 1994).

4.1 Ventraler Zugang

Die beiden nachfolgend aufgeführten Operationsmethoden weisen folgende Vorteile auf: eine im Vergleich zum dorsalem Eingriff einfache intraoperative Lagerung des Patienten, die Möglichkeit der intraoperativen Osteophytenabtragung sowie die Möglichkeit zur Fusion.

Als Nachteile gelten das Verletzungsrisiko der Halsweichteile bei ventralem Zugang, die eingeschränkte intraoperative Sicht auf die Spinalnerven und mögliche Komplikationen, die mit einer Knochenentnahme am Beckenkamm einhergehen können (Dittmann u. Roosen 1994).

Indikation (Dittmann u. Roosen 1994)

- degenerative Veränderungen der HWS, z.B. Stenosen, Bandscheibenvorfälle, mit und ohne Segmentinstabilitäten
- Traumata
- vor dem Rückenmark gelegene, raumfordernde Prozesse (z.B. Tumore, Abszesse, Empyeme, Hämatome)

- Spondylitiden (bei Raumforderung)
- Ossifikation des Lig. longitudinale post. (OPLL) (Koyama u. Handa 1994)

Operation

- Lagerung des Kopfes in der Kopfschale, röntgenologische Kontrolle der zu operierenden Höhe
- ventraler Hautschnitt ca. 5 cm entlang einer Halsfalte, von der Mittellinie nach lateral über den medialen Rand des M. sternocleidomastoideus
- Platysmadurchtrennung und Darstellung der oberen Halsfaszie; Spaltung dieser entlang des medialen Randes des M. sternocleidomastoideus
- der unter diesem liegende M. omohyoideus muss, falls er nicht nach kranial oder kaudal verlagert werden kann, im Ausnahmefall durchtrennt und später wieder refixiert werden
- stumpfe Präparation und Verlagerung der Halseingeweide: Ösophagus, Trachea nach medial, Gefäßnervenbündel nach lateral unter den medialen Rand des M. sternocleidomastoideus
- in der Tiefe erscheint durch weitere stumpfe Präparation die Halswirbelsäule, median bedeckt von der tiefen Halsfaszie und dem Lig. long. ant.
- Markierung des Bandscheibenfachs in der zu operierenden Höhe mit einer Nadel unter röntgenologischer Kontrolle, Präparation der Halsfaszie und Seitverlagerung der lateral ansetzenden Mm. longi colli bds.
- Einsetzen von Sperrern/Retraktoren bds.
- Ausräumen der markierten Bandscheibe, das letzte Drittel in der Regel unter dem Operationsmikroskop

Operation nach Smith-Robinson (1955)

- Distraction des Bandscheibenfachs: vollständiges Ausräumen der Bandscheibe, Abtragen dorsaler Osteophyten und Erweiterung der Foramina intervertebralia bds.
- „Anfrischen“ der Grund- und Deckplatte mittels Fräse zur Optimierung der knöchernen Fusion
- Einsetzen eines autologen, trikortikalen Knochendübels adäquater Größe aus dem Beckenkamm
- Zugang ab HWK 6: vorzugsweise von der linken Seite - bei höherer Verletzungsgefahr des N. laryngeus recurrens rechts durch seinen kranialen und bogenförmigen Verlauf

Vorteile

- gute Übersicht über das Bandscheibenfach und die Neuroforamina
- Erweiterungen der Foramina intervertebralia möglich
- geringere Gefahr des Zusammenbruchs der Wirbelkörper, insbesondere bei mehrsegmentalen Operationen, da angrenzende Wirbelkörper intakt bleiben
- Fusion mit einem trikortikalen Knochendübel, der kompressionsstabiler ist

Nachteile

- inadäquate Größe oder insuffiziente Qualität des Knochenspans kann zu Subluxationen der Wirbelkörper, Luxation oder Ein-/Bruch des Spans und folgender segmentaler Kyphosierung führen

Operation nach Cloward (1958)

- Ausräumen des Bandscheibenfachs und Ausfräsen eines runden, ca. 1,5 cm großen, zylindrischen Loches mit einem speziellen Hohlbohrer nach Cloward
- über diese zentrale Bohrung wird nachfolgend die Dekompression des Myelons und Erweiterung der Neuroforamina mittels Fräse und Stanze vorgenommen
- Distraktion des Bandscheibenfachs durch Wirbelkörperspreizer
- Einsetzen des dem Beckenkamm mittels Hohlbohrer entnommenen bikortikalen Knochendübels, der etwas größer als die vorbereitete Trepanationshöhle ist

Vorteile

- ein leicht größerer Dübel soll durch stärkere Kompressionswirkung beider Wirbelkörper auf den Dübel sicher und sofort stabilisiert werden
- größere Fusionsfläche durch gewölbten Spongiosakontakt

Nachteile

- bei mehrsegmentalen Eingriffen kann es zu Einbrüchen der zwischen den Trepanationen gelegenen Wirbelkörper kommen
- Erweiterung der Foramina intervertebralia erschwert, da die Trepanationshöhle erweitert werden muss
- Stabilitätseinbußen bei asymmetrischer Ausbohrung des Dübelbetts mit konsekutiver Fehlstellung des Segmentes
- Einbrechen des bikortikalen Knochendübels

4.2 Ventrolateraler Zugang

Operation nach Bailey und Badgley (1960)

Indikation

- einseitige Radikulopathie und/oder Alterationen der A. vertebralis (Vertebralis-kompression)

Operation

- oben beschriebener ventraler Zugang zur Wirbelsäule
- Erweiterung nach lateral durch Ablösung des M. longus colli
- Darstellung des Proc. transversarius
- Darstellung der A. vertebralis unterhalb des Tuberculum anterius (bei Operation oberhalb des 7. Halswirbels)
- Resektion des vorderen Anteils des Proc. transversarius und Darstellung der Spinalnerven; dabei wird versucht, eine kleine Knochenlamelle über der A. vertebralis zu belassen
- oder, falls notwendig: Freilegung der A. vertebralis
- Erweiterung des Foramen intervertebrale durch Resektion des Proc. uncinatus, ggf. Entfernung von Bandscheibenmaterial (Sequestern) aus dem Intervertebralkanal

Vorteile

- Spinalwurzeln können genau in Augenschein genommen werden

Nachteile

- höherer Zeitaufwand durch anspruchsvolle und aufwendige Präparation, auch aufgrund von Eintrittsanomalien der A. vertebralis
- erhöhte Verletzungsgefahr des Ganglion stellatum, des zervikalen Grenzstrangs und der Vertebralgefäße

4.3 Dorsolateraler Zugang: Foraminotomie

Operation nach Frykholm (1947)

Indikationen

- dorso-lateral sequestrierte Bandscheibenvorfälle und/oder Foramenstenosen

Operation (Dittmann u. Roosen 1994)

- zwei Möglichkeiten der Patientenlagerung:
 - Bauchlage bei schlanken Patienten und bei Operationen der unteren bis mittleren HWS
 - halbsitzende Lagerung in allen übrigen Fällen
- Kopffixierung in leichter Anteflexion in Mayfield-Halterung
- medianer Hautschnitt über röntgenologisch kontrollierter Höhe
- unilaterale, subperiostale Ablösung der Nackenmuskulatur von den Dornfortsätzen sowie den Wirbelhalbbögen und Abschieben nach lateral in Richtung der Gelenkfortsätze (zur Verringerung des muskulären Traumas wird häufig - in Abweichung von der ursprünglich beschriebenen Methode - ein direkter transmuskulärer Zugang bevorzugt)
- interlaminäre Fensterung
- Eröffnung der Nervenwurzelscheide und Koagulation des periradikulären Venengeflechts
- Dekompression des Nervenwurzelabgangs und Entfernung sequestrierten Bandscheibengewebes

Vorteile

- Bewegungssegment bleibt erhalten
- keine Verletzung viszeraler Halsweichteile möglich
- Spinalnerv und laterale Bandscheibenvorfälle können gut eingesehen werden (Dittmann u. Roosen 1994)

Nachteile

- teilweise schwierige Lagerung des Patienten mit der Gefahr einer Luftembolie in halbsitzender Position (Gruß 1982)
- hohes muskuläres Trauma
- das Bandscheibenfach kann nicht ausgeräumt, die Osteophyten nicht abgetragen und eine interkorporelle Fusion nicht vorgenommen werden (Dittmann u. Roosen 1994)

4.4 Dorsaler Zugang

Da folgende Operationen nicht Gegenstand dieser Arbeit sind, werden vollständigshalber nur die Standardoperationen aufgeführt, die in klassischer Weise oder in unterschiedlichen Variationen durchgeführt werden können:

Hemi- und Laminektomie, Laminotomie oder Laminoplastie.

Die Indikationen sowie das Ausmaß der Präparation der ossären Anteile richten sich nach der Ausdehnung der vorliegenden Pathologie (Grob 1999).

Indikationen (Samii u. Bothe 1998)

- pathologische Prozesse der HWS, die von dorsal angegangen werden sollten:
 - Eingriffe an den Laminae, den Gelenkfortsatzmassiven
 - langstreckige dorsale Spinalkanalstenosierung
- laterale, dorsale Pathologien der Dura und des Rückenmarks, wie z.B.
 - extradurale-intraspinale Tumore, z.B. Metastasen
 - intradural-extramedulläre Tumore, z.B. Meningeome, Schwannome
 - intradural-intramedulläre Tumore, z.B. pilozystisches Astrozytom, Ependymom
 - Fehlbildungen des kranio-zervikalen Übergangs, z.B. Syringomyelie bei Chiari-Fehlbildung

B. Patienten und Methoden

1. Patienten

1.1 Patientenkollektiv und Auswertungskriterien

In der Klinik für Neurochirurgie der Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH wurde im Zeitraum von 11.08.1999 bis 29.01.2001 bei 49 Patienten eine ventrale, nach Smith-Robinson modifizierte Operation der HWS mit anschließender Implantation eines Plate-Cage (PCB) aus PEEK (Poly-Ether-Ether-Keton) durchgeführt.

In die Studie integriert wurden 38 Patienten. Ein Patient verstarb im Verlauf der Nachuntersuchungen aus anderer Ursache, 10 Patienten erschienen nicht regelmäßig zu den Nachkontrollen.

Zur Auswertung herangezogen wurden:

- der neurologische Status
- Verlaufsbeurteilungen mit Hilfe zweier Skalen: PROLO / Roosen
- Befunde radiologischer Kontrolluntersuchungen

Zeigte ein Patient bei einer der Nachuntersuchungen klinische Besserung und radiologisch dokumentierte Fusionszeichen, wurde dies als Erfolg gewertet und der Patient deshalb nicht zwangsläufig zu weiteren Nachkontrollen einbestellt. Der mittlere Zeitraum der Abschlussuntersuchung umfasste 7 Monate (3-12 Monate).

2. Methoden

2.1 Methodik der Untersuchung

Gegenstand dieser Studie sind operative Eingriffe bei degenerativen Erkrankungen der Halswirbelsäule. Die Evaluation der Patienten erfolgte mittels klinischer und radiologischer Kontrolluntersuchungen: im Optimalfall eine Woche, sechs und zwölf Wochen sowie sechs und zwölf Monate postoperativ. Bei mehrfach untersuchten

Patienten wurde das Ergebnis der Abschlussuntersuchung für die Gesamtbeurteilung des Therapieerfolges gewertet.

2.1.1 Klinische Evaluation

2.1.1.1 Anamnese und neurologische Symptomatik

Klinisch können sich die aufgeführten degenerativen Veränderungen, entsprechend der jeweiligen Pathologie, in Schmerzen äußern. Dies können regional spontane sowie bewegungsabhängige Nacken-, Hinterkopf- und/oder bis in die Schultern oder zwischen die Schulterblätter ausstrahlende Schmerzen sein. Schmerzen, die entsprechend der Dermatome zervikaler Nervenwurzeln in Schultern, Arme und Hände ausstrahlen, sind i. d. R. radikulärer Genese.

Für die Operationsindikation von größter Bedeutung sind neurologische Funktionsstörungen in Form von sensiblen/motorischen Paresen, die ebenfalls eine oder mehrere zervikale Nervenwurzeln betreffen können. Anzeichen einer Funktionsstörung des Halsmarks können von diskreter spastisch-ataktischer Gangstörung bis hin zu inkompletten Querschnittsbildern reichen.

2.1.1.2 Bewertungsskalen: PROLO und Roosen: Erläuterung und Erhebung

Prä- und postoperativ wurden Anamnese und neurologischer Status erhoben. Der PROLO-Score und die Skala nach Roosen wurden wie im Folgendem erläutert dokumentiert.

PROLO-Score (Prolo et al. 1986)

Der PROLO wurde präoperativ und zur Abschlussuntersuchung festgehalten.

Prolo et al. entwickelten diesen Score ursprünglich für die lumbale Wirbelsäule, um den Grad der Schmerzen mit den Auswirkungen auf die Aktivität des Patienten zu ermitteln.

Der Score ist in zwei, jeweils fünf Punkte umfassende Skalen unterteilt (E=economic, F=functional). Zum einen wird die Befähigung zu einer erfolgreichen Tätigkeit im Beruf oder vergleichbaren Aktivitäten, wie z.B. im Haushalt, erfragt, zum anderen der Stärkegrad der Schmerzen mit den daraus resultierenden Beeinträchtigungen.

Die Summe der anhand der beiden Skalen ermittelten Werte reicht von 2 bis 10 Punkte. Ein optimales Resultat, d.h. volle Arbeitsfähigkeit und keine Schmerzen, ergibt 10 Punkte, wohingegen der Patient mit 2 Punkten erwerbsunfähig und aufgrund der Schmerzen bettlägerig ist.

Ein weiteres Anliegen von Prolo et al. war es, ihren Score als Vorschlag/Anregung für eine Vereinheitlichung unterschiedlicher Bewertungsskalen vorzustellen, damit Ergebnisse verschiedener Studien besser vergleichbar würden.

Die postoperative Auswertung der Summe beider Skalen

Sehr gutes Ergebnis	9 - 10 Punkte
Gutes Ergebnis	7 - 8 Punkte
Zufriedenstellendes bis unverändertes Ergebnis	5 - 6 Punkte
Schlechtes Ergebnis	2 - 4 Punkte

Tabelle 1: PROLO

E	= economic	F	= functional
E1	Komplette Invalidität: bettlägerig, pflegebedürftig, bzw. völlig von anderen abhängig und erwerbsunfähig	F1	totale Invalidität aufgrund der Schmerzen: bettlägerig und/oder schlechter als präoperativ
E2	Arbeitsunfähigkeit: kann sich selbst fortbewegen und versorgen, jedoch unfähig, Erwerbstätigkeiten, Hausarbeiten, Schulbesuch/Studium oder Freizeitaktivität durchzuführen	F2	mittelschwere HWS und/oder Armschmerzen - oder Schmerzen wie präoperativ, Patient kann aber tägliche Aufgaben verrichten
E3	Beschränkt arbeitsfähig: jedoch nicht im alten Beruf, bzw. in vollem Umfang; beschränkt fähig Schulbesuch/Studium, Freizeitaktivitäten, Hausarbeiten durchzuführen	F3	geringe Schmerzen: fähig zu allen Aktivitäten außer Sport
E4	arbeitsfähig im alten Beruf in Teilzeit oder mit eingeschränktem Verantwortungsbereich; fähig, Schulbesuch/Studium, Hausarbeit und Freizeitaktivitäten durchzuführen	F4	meist Schmerzfreiheit: gelegentliche Episoden von Nacken- und/oder Armschmerzen
E5	voll arbeitsfähig im alten Beruf ohne Einschränkungen; voll fähig, Schulbesuch/Studium, Hausarbeiten und Freizeitaktivitäten durchzuführen	F5	volle Genesung: keine Episoden von Nacken- und/oder Armschmerzen; fähig, alle früheren sportlichen und anderen Aktivitäten durchzuführen

Roosen Skala (Roosen u. Grote 1980)

Roosen und Grote (1980) entwickelten eine in fünf Grade unterteilte Skala, die objektive sowie subjektive Symptome erfasst.

Grad I	Beschwerdefrei, neurologisch o.p.B.
Grad II	Subjektive Beschwerden wesentlich gebessert. Diskrete, gut kompensierte neurologische Reststörung
Grad III	Beschwerden unverändert. Präoperativer neurologischer Status gebessert
Grad IV	Keine Änderung der subjektiven wie objektiven Symptomatik
Grad V	Verschlechterung

2.1.2 Radiologische Evaluation

2.1.2.1 Erhebungsdauer

Die radiologische Bewertung erfolgte präoperativ mittels konventioneller (a-p und lateraler) Röntgenbilder sowie Funktionsaufnahmen, die durch Schrägaufnahmen zur Darstellung der Neuroforamina ergänzt wurden.

Postoperativ wurden a-p und laterale Aufnahmen durchgeführt, jeweils parallel zur klinischen Untersuchung. Gab es Anhalte für eine Gefügelockerung, wurden zusätzlich Funktionsaufnahmen erstellt.

2.1.2.2 Kriterien zur Auswertung radiologischer Diagnostik

Alle Patienten erhielten präoperativ eine MRT der HWS und/oder bei fraglich vermehrt knöcherner Beteiligung eine CT der HWS. Bei entsprechender Indikation wurden weitere Untersuchungsverfahren angewendet, wie z.B.

- Diskographien zur Ermittlung der symptomatischen Höhe bei multi-segmentalen Pathologien (Positivbefund: Kontrastmittelaustritt und klinischer Provokationsschmerz) und/oder

- zervikale Myelographien ggf. in Flexion und Extension mit anschließender CT der HWS bei Patienten, in deren bisheriger Bildgebung kein pathomorphologisches Korrelat zur klinischen Symptomatik gefunden wurde.

Anhand der konventionellen Aufnahmen wurden die Stellung und das Alingement der HWS sowie die des/der operierten Segments/e beurteilt. Die Höhe des/der operierten Bandscheibenfachs/-fächer wurde mit präoperativen Aufnahmen sowie den angrenzenden Bandscheibenfächern verglichen, um Veränderungen zu dokumentieren. Wesentlicher Punkt war die Beurteilung des Ausmaßes und Zeitpunktes einer knöchernen Durchbauung im operierten Segment.

Als Fusionszeichen wurden zarte, trabekuläre knöcherne Strukturen um den Cage gewertet. Als vollendete Fusion wurde eine komplette Durchbauung des Segmentes angesehen.

Das eingebrachte Implantat wurde hinsichtlich seiner Lage und möglicher Migration im Segment beurteilt.

Eine Sinterung des Cages wurde anhand seiner Eindringtiefe in die Endplatten der angrenzenden Wirbel bewertet. Während eine Sinterung bis zu 2 mm noch als akzeptabel angesehen wurde (Matgé 2002, Schmieder et al. 2002, Matgé u. Leclercq 2000), führte eine Sinterung von mehr als 2 mm zu einer negativen Bewertung des radiologischen Ergebnisses.

2.2 Operationsmethode

Bei der Operation wird der Kopf des Patienten in Intubationsnarkose und Rückenlagerung in der Schalenhalterung in leichter Extensionsstellung gelagert und fixiert. Die Markierung der Haut wird an der Halsvorderseite unter Bildwandlerkontrolle in Projektion auf das zu operierende Bandscheibenfach vorgenommen. Nach Hautdesinfektion und sterilem Abdecken erfolgt ein ventraler Halbkragenschnitt der Haut an der rechten Halsvorderseite auf Höhe der Markierung. Als nächstes folgt die Präparation des Platysmas, das über dem Vorderrand des M. sternocleidomastoideus in Faserrichtung gespalten wird.

Nun erfolgt die teils stumpfe, teils scharfe Präparation der prävertebralen Halsfaszie, wobei die Gefäßnervenloge der A. carotis nach lateral und die Halseingeweide nach medial verlagert werden. Hierzu müssen teilweise einige kleine, von der Thyroidea

zur Jugularvene ziehende Venen koaguliert und durchtrennt werden. Nach Freilegen der prävertebralen Halsfaszie wird die entsprechende Bandscheibe punktiert sowie die Nadellage mit Hilfe des Bildwandlers kontrolliert und dokumentiert.

Anschließend erfolgt die Inzision der Ansätze des M. longus colli beidseits und das Abschieben der Muskeln von den Wirbelkörpern, dann das Einsetzen eines selbsthaltenden Sperrers. Kleine Blutungen im Bereich der Muskelansätze werden mittels bipolarer Koagulation gestillt.

Es folgt die Exzision des vorderen Längsbandes über dem Bandscheibenfach und das Ausräumen des Bandscheibengewebes. Je eine Distractionsschraube wird endplattenparallel in den oberen und unteren Wirbelkörper eingebracht, und der Zwischenwirbelraum aufgespreizt.

Unter dem Mikroskop wird mit dem scharfen Löffel der knorpelige Überzug der Grund- und Deckplatte entfernt, die osteophytär vergrößerten Hinterkanten der Wirbelkörper werden ggf. mit einer Hochgeschwindigkeitsfräse abgetragen, ebenso der Processus uncinatus beidseits. Unter starker Vergrößerung erfolgt die Freilegung der Nervenwurzeln beidseits bis weit nach lateral. Danach wird das hintere Längsband reseziert, ggf. freie Sequester entfernt. Die Dura mater des Halsmarkes ist gelegentlich mit dem hinteren Längsband, das verkalkt oder verknöchert sein kann, verwachsen.

Ziel ist es, eine gute Dekompression der Dura mater des Halsmarks und der Wurzelabgänge zu erreichen.

Nach Abschluss der dekomprimierenden Maßnahmen wird der Bandscheibenraum vermessen und ein Implantat entsprechend seiner Höhe und der Wirbelkörpertiefe in den Zwischenwirbelraum eingebracht. Die Distraction des Bandscheibenfachs wird gelöst und der korrekte Sitz des Implantates überprüft. Danach wird der Cage an seinen Ösen mit Spongiosaschrauben, deren Länge entsprechend der Wirbelkörpertiefe gewählt wird, in den angrenzenden Wirbelkörpern fixiert. Die nach Entfernung der Distractionsschrauben verbleibenden Bohrlöcher werden mit Gelitta tamponiert, ggf. wird eine prävertebrale Saugdrainage eingelegt. Nach schichtweisem Wundverschluss Anlegen eines sterilen Verbandes. Postoperativ ist keine externe Stabilisierung mittels Halsorthese vonnöten, da das Implantat primäre Stabilität gewährleistet.

2.3 Implantat: Plate-Cage (PCB) aus PEEK

Der verwendete Plate-Cage (PCB) besteht aus einem Polymer: PEEK (Poly-Ether-Ether-Keton). Vorteil dieses Materials ist seine Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen. Dadurch ist die radiologische Verlaufskontrolle erleichtert, da Fusionsstadien oder potentielle Cagefehlagen genau nachvollzogen und kontrolliert werden können. Zudem verursacht es bei MRT-Untersuchungen, etwa im Vergleich zu Titanimplantaten, keine Artefakte; lediglich die zur Fixierung dienenden Schrauben führen zu meist nicht sehr ausgeprägten Artefakten im Bereich der Wirbelkörper.

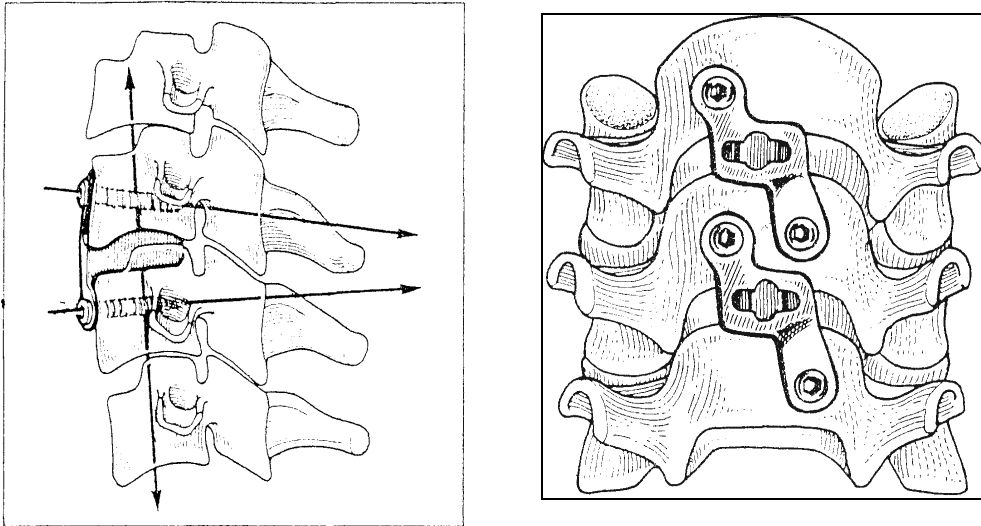
Der Plate-Cage (PCB) aus PEEK vereint Eigenschaften eines Cages mit denen einer Platte (s. unten). Im sagittalen Profil hat der Cage eine Form, die der Anatomie des Zwischenwirbelraumes angenähert ist. Durch die konvexe Wölbung der Oberseite und die gerade Form der Unterseite soll eine Anpassung an die Form von Grund- und Deckplatte erreicht werden. Monokortikale Schrauben fixieren den Cage an seinen plattenähnlichen Ösen in den angrenzenden Wirbelkörpern. Dadurch soll - ähnlich wie durch eine ventrale Platte - eine sofortige Segmentstabilisierung erreicht und eine Dislokation des Implantats verhindert werden.

Die großen Öffnungen an beiden Oberflächen des Cages zu den angrenzenden Wirbelkörpern hin sollen eine möglichst große Fläche zur knöchernen Durchbauung zur Verfügung stellen.

Abb.1/2: Photos: Plate-Cage (PCB) aus PEEK: ventral und lateral



Abb.3/4: Zeichnung: Plate-Cage (PCB) aus PEEK: laterale Ansicht eines und ventrale Ansicht zweier Cages bei bisegmentalem Eingriff



* Abb. aus der Operationsanleitung mit freundlicher Genehmigung der Herstellerfirma

2.4 Füllung von Implantaten

Klassischerweise werden Interponate an der Halswirbelsäule mit autologem Knochen gefüllt (Elsig et al. 2002, Matgé 2001).

Dieser wird analog autologer Knochenspäne der Hüfte entnommen oder während der Halswirbelsäulenoperation, z.B. aus osteophytären Randleisten, gewonnen (Matgé 2001, Pitzen et al. 2006).

Anstelle autologen oder allogenen Knochens können alternativ auch Knochenersatzmaterialien zum Füllen der Cages verwendet werden, z.B. Granulat vom Calciumsulfat (Kao et al. 2005, Mooney et al. 1998).

Nach Rueger (Rueger 1996/1998) werden diese Knochenersatzmaterialien in drei Klassen unterteilt:

Klasse 1: Organische, biologische Knochenersatzmittel, d.h. alle Materialien, die aus der organischen Phase des Knochengewebes extrahiert werden: Knochenkollagen und organische Knochenmatrix.

Klasse 2: Alle Stoffe synthetisch, anorganischer Verbindungen, die aus der

anorganischen Phase des Knochengewebes, d.h. dem Knochenmineral stammen, z.B. Glas- und Calciumphosphatkeramiken oder hydrothermal umgewandelte Korallen.

Klasse 3: Composite, d.h. Addition verschiedener, nicht einheitlicher Materialien, z.B. Kollagen mit Calciumphosphatkeramiken, wodurch sich unterschiedliche Materialeigenschaften ergänzen sollen.

Demineralisierte Knochenmatrix, Knochengelantine und hochgereinigte Matrix-extrakte sind Beispiele für organische, heterologe Knochenersatzmaterialien zum Füllen von Implantaten. Sie sollen einen osteostimulativen Effekt haben. Es wird vermutet, dass dies durch Induktoren ausgelöst wird, die aus der Knochenmatrix diffundieren (Soost 2001).

Beispiele für synthetisch, anorganische Verbindungen sind Glaskeramiken und Kalziumphosphate, die unter anderem die Möglichkeit einer zumindest teilweisen Durchbauung durch umgebenden Knochen bieten sollen.

Die bekanntesten Vertreter der Kalziumphosphate sind Hydroxylapatit und β -Trikalziumphosphat.

Hydroxylapatit (HA) ist ein natürlicher Bestandteil des anorganischen Knochengewebes und bildet die Grundlage der Hartschubstanz aller Wirbeltiere (im Knochen ist es zu einem Anteil von etwa 40% enthalten).

Man unterscheidet zwischen rein synthetisch hergestellten Hydroxylapatitkeramiken und solchen, die aus biologischen Ausgangsmaterialien (z.B. Tierknochen oder Skeletten von Korallen) durch hydrothermische Behandlung gewonnen werden. Letztere weisen ein spezielles interkonnektierendes Porensystem auf, das dem von Knochen strukturell ähnlich ist (Soost 2001).

Synthetisch hergestelltes Hydroxylapatit ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$) ist chemisch identisch und von der Struktur vergleichbar mit natürlich vorkommendem HA in Knochen, allerdings weist es oftmals blind endende Poren auf, wodurch es nur zu einem randständigen Durchwachsen von Knochen kommen kann. Dabei tritt keine aktive Knochenregeneration durch neu gebildete Osteoblasten ein und das Material wird nicht oder nur stark verzögert resorbiert (Soost 2001).

Soost (2001): „In der Literatur existieren kontroverse Informationen zur Resorbierbarkeit und damit zur Art des knöchernen Integrationsprozesses. Die

Ursachen liegen im Reinheitsgrad, der Applikationsform, der Herkunft des Ausgangsmaterials und im Ort der Implantation“.

β -Trikalziumphosphat (β -TCP= $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) ist auch ein synthetisch hergestelltes Granulat, das Mikro- und Makroporen aufweist. Die Poren erlauben ein Einwachsen von Knochen und im Verlauf eine Resorption des Granulats. Hinsichtlich der zuletzt aufgeführten Eigenschaft weist es, verglichen mit z.B. Hydroxylapatit, ein günstigeres Resorptionsverhalten auf, d.h. es besteht die Möglichkeit, daß es im Verlauf durch Knochen ersetzt wird (Soost 2001).

Um Kosten eines Knochenersatzstoffes ebenso wie mögliche Komplikationen bei der Gewinnung autologen Knochens an der Hüfte zu vermeiden (Pitzen et al. 2006), kann, wie oben erwähnt, auf Knochen zurückgegriffen werden, der bei der Operation gewonnen wird (Pitzen et al. 2006) oder als weitere Alternative eine Füllung der/des Cage/s unterlassen werden.

2.5 Komplikationen

Die Operation über den ventralen Zugang zur Halswirbelsäule birgt unter anderem das Risiko einer Weichteilverletzung.

Folgende Strukturen können davon betroffen sein:

- die Gefäße, der Ösophagus, die Trachea, die Pleurakuppel, nervale Strukturen, hierbei insbesondere der N. laryngeus recurrens oder die prä-ganglionären Fasern des Truncus sympathicus sowie die Nervenwurzeln und/oder das Myelon (Cloward 1971).

Mit folgenden Auswirkungen:

- Blutungen, Heiserkeit, Schluckstörungen, Dyspnoe, Horner-Syndrom, Parese oder Tetraparese, Pneumothorax nach Pleurakuppelverletzung,
- Fistelbildung, Mediastinitis, Diszitis, Osteomyelitis, Weichteilemphysem nach einer selteneren Verletzung des Ösophagus und/oder des Hypopharynx (Roosen et al. 1975, Gilsbach u. Eggert 1981, Grote u. Röttgen 1967, Cloward 1971).

Eine genauere Unterteilung nahmen u.a. Kalff et al. sowie Dittmann und Roosen vor, indem sie die möglichen Komplikationen unterteilten in (Kalff et al. 1990, Dittmann u. Roosen 1994):

- neurogene,
- mechanische und/oder
- entzündliche Schädigungen

Die Ursachen der Schädigungen können auf eine direkte Verletzung von Halsweichteilen während der Präparation und/oder eine indirekte Schädigung durch Kompression, z.B. bei Verwendung von Wundhaken, zurückgeführt werden (Suadicani et al. 1994).

Ein erhöhtes Risiko der Weichteilverletzung ist bei Patienten mit vorausgegangenen Operationen im Halsbereich gegeben.

Nachfolgend wird auf einige, häufiger vorkommende Komplikationen und deren Differentialdiagnosen näher eingegangen.

Neurologische Komplikationen

Unter den neurologischen Störungen ist eine Affektion des N. laryngeus recurrens hervorzuheben, die sich klinisch als Heiserkeit äußert. Nach der Auswertungen von Kalff et al. von 1112 eigenen und 8366 Spondylodesen aus der Literatur trat dies bei 0,7-0,8 % der Fälle auf (Kalff et al. 1990).

Ihren Erfahrungen nach kann in der Hälfte der Fälle von einer vollständigen Regeneration ausgegangen werden, die durchschnittlich 4-8 Wochen (Roosen u. Kocks 1988), in einigen Fällen jedoch auch 4-6 Monate benötigt (Cloward 1971).

Differentialdiagnostisch sollte im Zusammenhang mit Heiserkeit oder Dyspnoe auch ein Glottisödem als Intubationsfolge in Betracht gezogen und eventuell laryngoskopisch ausgeschlossen werden (Roosen et al. 1975).

Bei postoperativer neurologischer Verschlechterung, für die keine offensichtliche Ursache gefunden werden kann, sollte an eine iatrogen verursachte Schädigung durch Manipulation an Nervenwurzeln oder am Myelon gedacht werden. Weitere Ursachen können an der intraoperativen Lagerung liegen, wie z.B. eine

Durchblutungsstörung (Brown-Sequard Syndrom) nach Hyperextension (Dittmann u. Roosen 1994, Ross 1995).

Mechanische Komplikationen

Die häufigste Ursache postoperativer Symptome wie Schluckstörungen, seltener Heiserkeit und/oder Dyspnoe ist ein Ödem der Weichteile nach intraoperativer mechanischer Traktion und Manipulation (Dittmann u. Roosen 1994, Cloward 1958, Elsig et al. 2002).

Bei Cloward gaben 80% der Patienten postoperative Schluckbeschwerden an, die sich meist innerhalb der ersten Woche zurückbildeten (Cloward 1958/1971).

Persistieren die Symptome über eine Woche hinaus, empfiehlt Cloward weitere Diagnostik durchzuführen, um z.B. ein Hämatom auszuschließen (Cloward 1958/1971). Kommt es zu einer postoperativen Nachblutung, hängt das weitere Procedere von der Schwere ihrer Symptome, Größe und Lokalisation ab. Am häufigsten sind jedoch Weichteilhämatome, die meist keiner operativen Sanierung bedürfen. Sie werden im weiteren Verlauf resorbiert. Durch sorgfältige Blutstillung können sie i.d.R. vermieden werden (Cloward 1971, Dittmann u. Roosen 1994).

Entzündliche Komplikationen

Die Rate der entzündlichen Komplikationen liegt laut Dittmann u. Roosen unter 0,3% (Dittmann u. Roosen 1994). Die häufigste Komplikation ist eine Wundheilungsstörung. Ein prävertebraler Abszess würde als vergrößerter Weichteilschatten im Röntgen imponieren und mit den klinischen Symptomen von Fieber, Schmerzen und/oder Schluckstörung einhergehen.

Nach Perforation von Hypopharynx und/oder Ösophagus kann es zu einer unter Umständen lebensbedrohlichen Mediastinitis kommen. Es empfiehlt sich daher, präoperativ eine Magensonde zu legen, damit intraoperativ der Ösophagus sicher ertastet werden kann (Dittmann u. Roosen 1994).

C. Ergebnisse

1. Demographische Daten

1.1 Zeitraum der Datenerfassung: Patientenkollektiv

Im Zeitraum von 11.08.1999 bis 29.01.2001 wurden 49 Patienten mit dem Plate-Cage (PCB) aus PEEK in der Klinik für Neurochirurgie der Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH versorgt und in eine prospektive Verlaufsuntersuchung aufgenommen.

Ein Patient verstarb aus anderer Ursache im Verlauf der Untersuchung und neun Patienten erschienen nicht regelmäßig zu den Nachkontrolluntersuchungen. Zur Auswertung konnten somit 38 Patienten herangezogen werden.

1.2 Geschlechts- und Altersverteilung

Graphik 1: Geschlechtsverteilung

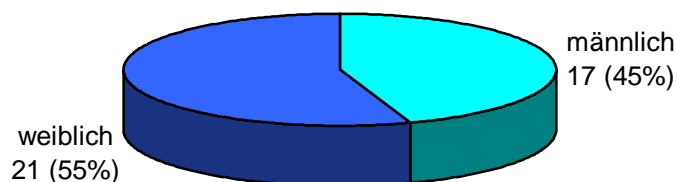
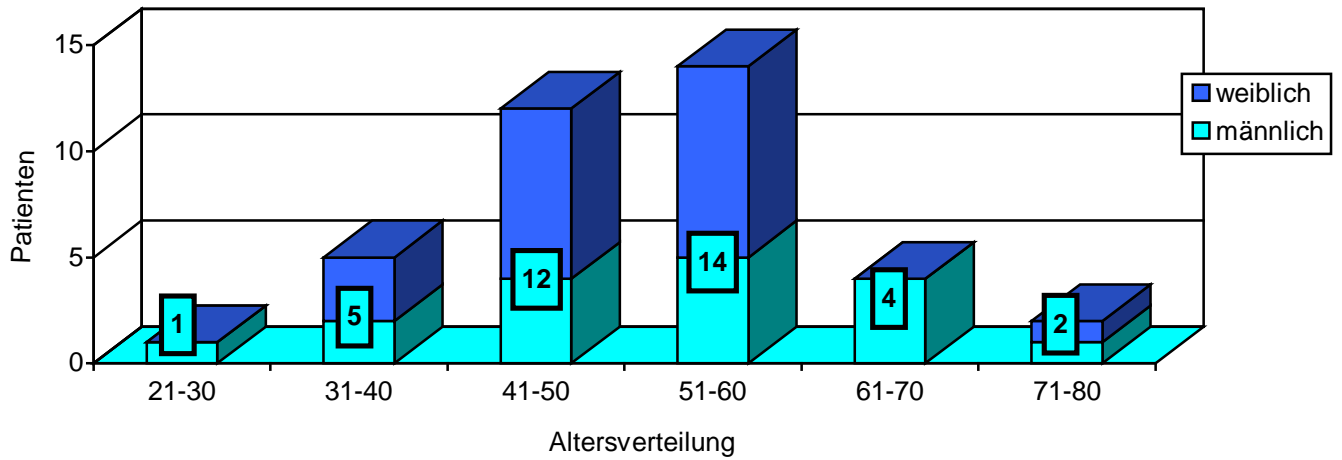


Tabelle 2: Altersverteilung

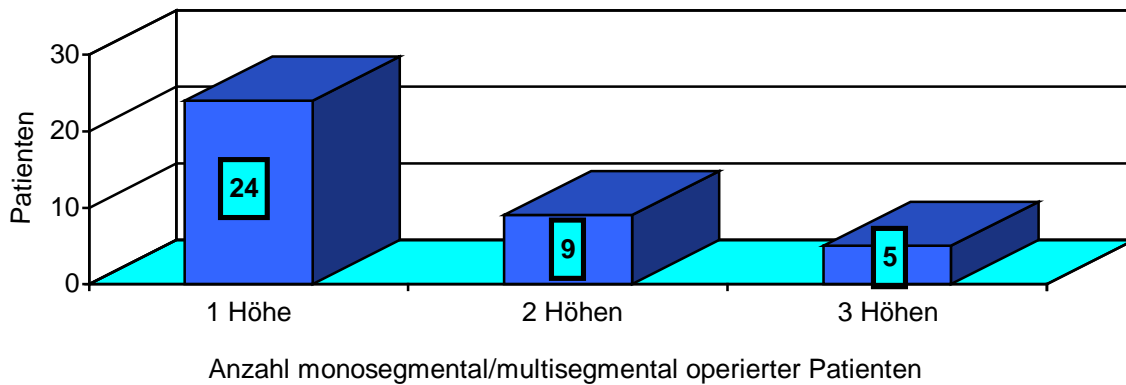
Alter (Jahren)			
	von	bis	Mittelwert
Gesamt	29	74	51 (51,02)
Frauen	31	74	50 (49,52)
Männer	29	73	53 (52,88)

Graphik 2: Altersverteilung

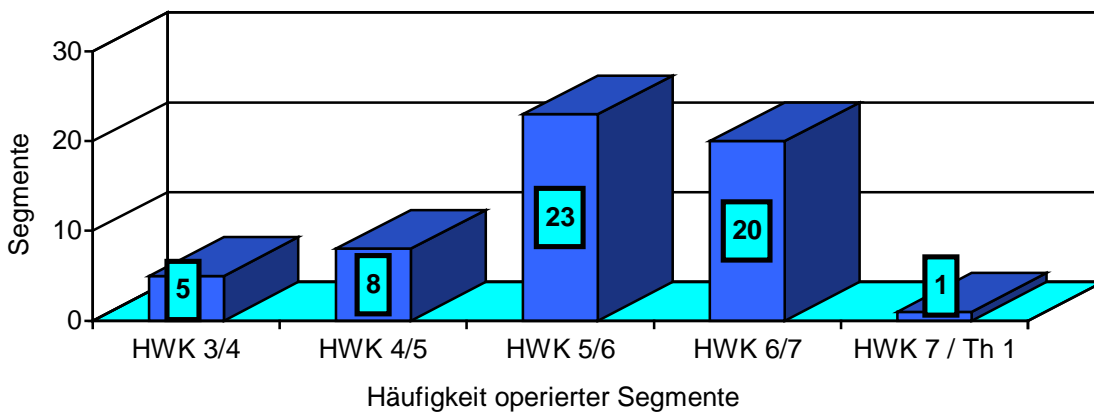


1.3 Anzahl und Häufigkeit operierter Segmente

Graphik 3: Höhenverteilung



Graphik 4: Segmentverteilung der Eingriffe



1.4 Verwendete Cages

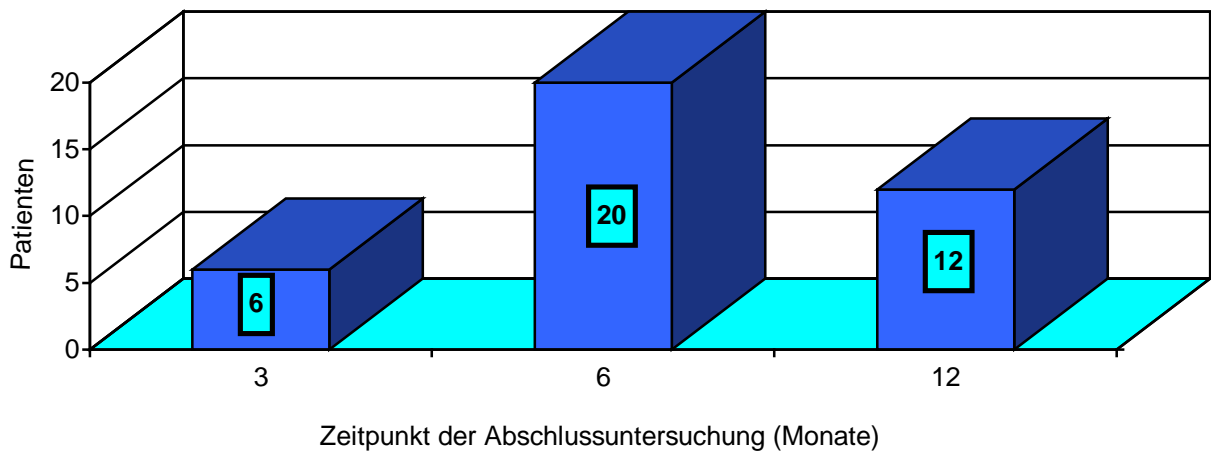
Tabelle 3: verwendete Cages

Grösse: Höhe x Breite x Tiefe (mm)	Segmente
5,5x12x16	39
7x12x16	14
7x14x16	4

38 Cage wurden mit β -Trikalziumphosphat gefüllt.

1.5 Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung

Graphik 5: Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung



Mittlerer Zeitraum der Abschlussuntersuchung: 7 Monate (3-12 Monate).

2. Postoperative Untersuchungen im Vergleich zum Ausgangsbefund

2.1 Radiologische Nachuntersuchungen

2.1.1 Stellung: HWS und operierte/s Segment/e: Vergleich präoperativ/Abschlussuntersuchung

Tabelle 4: Vergleich: HWS Stellung präoperativ und zur Abschlussuntersuchung

	präoperativ	postoperativ	postoperativ verbessert	postoperativ verschlechtert
HWS n=38				
Kyphose	2		2	
Lordose/Steilstellung	36	38		

Präoperative Fehlstellung der HWS konnte bei 2/2 Patienten postoperativ dauerhaft korrigiert werden.

Tabelle 5: Vergleich: Segmentstellung des/der operierten Segments/e präoperativ und zur Abschlussuntersuchung

	präoperativ	postoperativ	postoperativ verbessert	postoperativ verschlechtert
Segmente n=57				
Kyphose	8	5	5	
Lordose/Steilstellung	49	52		2

Bei 5/8 Segmenten konnte bei präoperativer segmentaler Fehlstellung eine Stellungskorrektur erreicht werden.

Eine Patientin entwickelte nach 12 Wochen eine Kyphose in beiden operierten Höhen.

2.1.2 Fusionszeichen zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung

Vollfusion in 41/57 Segmenten:

monosegmental: 16 Segmente
 multisegmental : 25 Segmente

Teilfusion in 16/57 Segmenten:

monosegmental: 8 Segmente
 multisegmental : 8 Segmente

Tabelle 6: Fusionszeichen zur Abschlussuntersuchung

		monosegmental	multisegmental
Patienten n=38	38	24	14
	Gesamt		
Segmente n=57	57	24	33
keine Fusionszeichen	0	0	0
Teilfusion	16	8	8
Vollfusion	41	16	25
Fusionszeichen Gesamt	57	24	33

Zur Abschlussuntersuchung wiesen 38/38 Patienten in 57/57 Segmenten Fusionszeichen auf.

2.1.3 Sinterungen zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung

Sinterungen in 21/57 Segmenten:

monosegmental: 11 Segmente
 multisegmental : 10 Segmente

signifikante Sinterungen (>2mm) in 6/57 Segmenten:

monosegmental: 3 Segmente
 multisegmental : 3 Segmente

Tabelle 7: Sinterungen des Implantats in angrenzende Wirbelkörper

		monosegmental	multisegmental
Patienten n=38	38	24	14
Patienten mit Sinterungen	18	11	7
	Gesamt		
Segmente n=57	57	24	33
Sinterungen <2mm	15	8	7
Sinterungen >2mm	6	3	3
Sinterung: Gesamt	21	11	10

Sinterungen der Cage in die angrenzenden Wirbelkörper in 21/57 Segmenten bei 18/38 Patienten, davon signifikante Sinterungen in 6/57 Segmenten bei 5/38 Patienten.

2.2 Klinische Nachuntersuchungen

2.2.1 Neurologische Symptomatik: Vergleich präoperativ/Abschlussuntersuchung

Tabelle 8: Nackenschmerzen und Zephalgien

	präoperativ	postoperativ	Besserung
Patienten n=38			
Nackenschmerzen	15	8	9
Zephalgien	7	2	5

Von 15 Patienten mit Nackenschmerzen besserten sich 9. Zwei Patienten gaben erst postoperativ Nackenschmerzen an.

Tabelle 9: Radikulopathien

	präoperativ	postoperativ	Besserung
Patienten n=38			
reine Radikulopathie	24	2	22
Gesamt-Radikulopathien	35	2	33

Tabelle 10: Myelopathische Symptome

	präoperativ: myelopathische Symptome	postoperativ: myelopathische Symptome	postoperativ: keine myelopathischen Symptome	postoperativ: keine Radikulopathie
Patienten n=14	14	8	6	
Myelopathie ohne Radikulopathie	3	2	1	
Myelopathische Symptome im Einzelnen: n=14				
Myelopathie mit Radikulopathie	11	6	5	11
Ataxie	14	9	5	
gesteigerte MER: untere Extremität	8	3	5	
Missempfindungen untere Extremität	3	1	2	
Blasen- und/oder Mastdarmstörungen	1	1	0	
Para- oder Tetra- parese/-spastik	2	0	0	

2.2.2 Ergebnisse der Bewertungsskalen:

2.2.2.1 PROLO

Tabelle 11: PROLO präoperativ

Präoperativ				
		Anzahl der Patienten		
Kategorien E(=economic)/F(=functional)	Punkte n=10	Myelopathie n=14	Radikulopathie n= 24	Gesamt n=38
E2/F1	3	1	0	1
E2/F2	4	2	8	10
E2/F3	5	1	0	1
E3/F2	5	5	9	14
E3/F3	6	2	4	6
E4/F2	6	0	2	2
E4/F3	7	3	1	4

Tabelle 12: PROLO postoperativ

Postoperativ				
		Anzahl der Patienten		
Kategorien E(=economic)/F(=functional)	Punkte n=10	Myelopathie n=14	Radikulopathie n= 24	Gesamt n=38
E3/F3	6	1	5	6
E3/F4	7	1	0	1
E4/F3	7	1	1	2
E4/F4	8	3	4	7
E5/F4	9	5	8	13
E5/F5	10	3	6	9

Tabelle 13: Auswertung PROLO

Ergebnis	Punkte n=10	Myelopathie n=14	Radikulopathie n=24	Gesamt n=38
sehr gut	9-10	8	14	22
gut	7-8	5	5	10
zufriedenstellend bis unverändert	5-6	1	5	6
schlecht	2-4	0	0	0

Der PROLO wurde bei 32/38 Patienten mit guten bis sehr guten Ergebnissen festgehalten.

Tabelle 14: Durchschnittswerte PROLO prä- und postoperativ

	Durchschnitt	Myelopathie	Radikulopathie
Punkte n=10			
präoperativ	5,10	5,28	5,0
postoperativ	8,42	8,5	8,38

Der postoperative Durchschnittswert ist 8,42 was einem gutem bis sehr guten Ergebnis entspricht.

Roosen Skala

Tabelle 15: Roosen Skala

Grad	Kriterien	Ergebnisse		
		Myelopathie n=14	Radikulopathie n=24	Gesamt n=38
I	beschwerdefrei, neurologisch o.p.B.	2	14	16
II	subjektive Beschwerden wesentl. gebessert. Diskrete, gut kompensierte neurologische Reststörung	11	9	20
III	Beschwerden unverändert. Prä-operativer neurologischer Status gebessert	1	1	2
IV	keine Änderung der subjektiven wie objektiven Symptomatik	0	0	0
V	Verschlechterung	0	0	0

36/38 Patienten wurden in Grad I-II eingeteilt.

2.2.2.2 Komplikationen

Neurologische Komplikationen:

- postoperative Heiserkeit:
2/38 Patienten: keine länger als 6 Wochen persistierend

Mechanische Komplikationen:

- postoperative Schluckstörungen: 11 Patienten
10/11 Patienten: Besserung im Verlauf der ersten Woche; eine Revisions-Operation noch am Operationstag bei zunehmender Schluckstörung und Dyspnoe durch eine akute, subkutane Nachblutung. Eine manifeste Blutungsquelle konnte intra-

operativ nicht gefunden werden. Ursache der Blutung war am ehesten eine bei der Patientin bekannte, seltene Gerinnungsstörung. Der weitere postoperative Verlauf gestaltete sich komplikationslos mit völliger Rückbildung der Symptome.

1/11 Patienten: noch intermittierende Schluckstörung bei der Dreimonatskontrolle: weiterführende Diagnostik ergab keinen pathologischen Befund

D. Diskussion

Gegenstand dieser Studie ist eine prospektive radiologische und klinische Verlaufsuntersuchung bei 38 Patienten im Zeitraum von 1999-2001. Die Patienten wurden wegen einer symptomatischen ein- oder mehrsegmentalen degenerativen HWS-Erkrankung operiert. Dabei wurde nach mikrochirurgischer ventraler Diskektomie und Dekompression eine intersomatische Spondylodese mit einem Implantat aus PEEK vorgenommen.

Ziele und Voraussetzungen

Ziel einer ventralen Spondylodese in der Halswirbelsäulen Chirurgie ist die Entlastung nervaler Strukturen durch eine Diskektomie, ggf. auch Foraminotomie und Osteophyektomie sowie die primäre Stabilisierung durch ein Interponat. Dieses soll die Tragfähigkeit der anterioren Elemente der Wirbelsäule wiederherstellen und eine Höhenminderung des Bandscheibenraums mit konsekutiver Einengung der Neuroforamina verhindern oder korrigieren. Durch eine begleitende Straffung des Bandapparates nach Wiederherstellung der Bandscheibenhöhe soll eine Migration und Dislokation des eingebrachten Interponats vermieden werden. Eine Voraussetzung ist deshalb die Intaktheit des Bandapparates (Grob et al. 2001, Cho et al. 2002)

Eine anschließende Fusion ist zur sekundären Stabilisierung erwünscht, um eine dauerhafte Stellungskorrektur zu gewährleisten und neuerliche, reaktive knöcherne Veränderungen im operierten Segment zu verhindern (Dubuisson et al. 1993, van den Bent et al. 1996)

Operationsmethoden und Implantate

Der ventrale operative Zugang zur Halswirbelsäule, insbesondere nach den Erstbeschreibern Smith & Robinson (SR) 1955 und folgend Cloward 1958, ist eine anerkannte Methode, die degenerative Halswirbelsäule zu operieren. Unterschiede bestehen in der Wahl der Instrumente, der Präparation des Bandscheibenfaches und der Form der Knochendübel. Der von SR verwandte Dübel weist eine kubische, trikortikale Gestalt auf, während Clowards Dübel eine zylindrische und bikortikale

Form hat (Robinson u. Smith 1955, Smith u. Robinson 1958, Cloward 1958, Robinson et al. 1962, Grote u. Röttgen 1967, Probst 1989, Herkowitz 1989, Herkowitz et al. 1990).

Der ventrale Zugang gewährleistet nach Bandscheibentfernung und Resektion des hinteren Längsbandes eine gute Sicht auf die Dura des Rückenmarks und die Recessus laterales. Eventuelle spondylotische Anbauten können unter guter Sicht abgetragen werden. Durch Hinzunahme des Operationsmikroskops konnte die anfänglich beschriebene Komplikationsrate minimiert werden (Benini et al. 1982, Wilson u. Campbell 1977).

Für die entfernte Bandscheibe wird bei Anwendern der klassischen Methoden ein autologer Knochenspan aus dem Beckenkamm des Patienten eingesetzt (Robinson u. Smith 1955, Cloward 1958, Smith u. Robinson 1958). Andere Operateure modifizierten die klassischen Operationen nach SR oder Cloward und setzten anstelle des autologen Spans keine oder andere Platzhalter ein (Schmieder et al. 2002, Matgé 2002, Cho et al. 2002, Debois u. Kaech 2002, Samandouras et al. 2001, Husag u. Probst 1984, Gilsbach et al. 1981, Abd-Alrahman et al. 1999).

In der Klinik für Neurochirurgie der Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH wird bei degenerativen Halswirbelsäulenerkrankungen die ventrale Mikrodiskektomie in modifizierter Technik nach Smith-Robinson angewendet. Anstelle eines Knochenspans wurde in dieser Untersuchung ein Plate-Cage (PCB) aus PEEK eingesetzt.

Im Folgenden wird auf einige Methoden/Alternativen sowie deren Vor- und Nachteile detaillierter eingegangen:

Bei den klassischen Methoden werden Komplikationen durch die Entnahme des autologen Knochendübels an der Hüfte beschrieben. Diese können von Wundschmerz und -infektion über Hämatomentwicklung, Bruch oder Deformierung des Beckenkamms sowie Nervenverletzungen bis zu Peritonealverletzungen und Herniation von Weichteilstrukturen gehen. Der implantierte Knochendübel kann kollabieren, in die angrenzenden Wirbelkörper einbrechen, migrieren oder zu einer Pseudarthrose führen (Bailey u. Badgley 1960, Roosen et al. 1975, Lindsey et al. 1987, Lunsfort et al. 1980, Heidecke et al. 2000, Mosdal 1984).

Benini et al. und Matgé verzeichneten längere Operations- und Hospitalisierungszeiten durch die zusätzliche Wunde (Benini et al. 1982, Matgé 2002).

Cho et al. konnten bei den mit einem Knochenspan versorgten Patienten ihrer Vergleichsstudie dagegen keinen Unterschied in der Dauer des Krankenhausaufenthaltes feststellen (Cho et al. 2002).

Um eine Dislokation oder einen Kollaps des Spans sowie eine Pseudarthrosebildung - insbesondere nach mehrsegmentalen Eingriffen - zu vermeiden, kombinierte man die autologen Späne mit ventralen Osteosyntheseplatten zur internen Stabilisierung. Durch diese zusätzliche Stabilisierung sollen Mikrobewegungen verhindert werden, um so optimale Voraussetzungen für eine Fusion zu schaffen (Bohlman et al. 1993, Coe et al. 1989, Grob et al. 2001). Wang et al. fanden in Vergleichsstudien bei mehrsegmentalen Eingriffen weniger Sinterungen des Knochenspans in die angrenzenden Endplatten bei den Patienten, die zusätzlich zu einem Knochenspan ventral verplattet wurden, gegenüber der Vergleichsgruppe ohne Verplattung (Wang et al. 2000/01).

Da eine sehr weitgehende Entlastung des Implantats ungünstig für die Entwicklung einer trabekulären Knochenstruktur sein kann, wie durch „Wolff´s law“ beschrieben (Uhtoff u. Dubuc 1971), sind sogenannte dynamische Osteosyntheseplatten entwickelt worden, die das Implantat nicht vollständig entlasten. Sie ermöglichen dadurch freilich auch ein gewisses Maß an Sinterung.

Auch Grob et al. untersuchten in einer prospektiven, randomisierten Vergleichsstudie die Ergebnisse bei mono- und bisegmentalen Operationen nach Implantation eines Knochenspans ohne und mit zusätzlicher Versorgung mit einer anterioren Platte. Die klinischen und radiologischen Ergebnisse waren vergleichbar gut, was zu der Empfehlung führte, bei degenerativen Wirbelsäulenleiden eine Verplattung nicht für zwingend notwendig zu erachten. Die Verplattung sollte auf Patienten beschränkt werden, die mehrsegmentale Osteochondrosen und/oder weitere Pathologien, wie z.B. zunehmende Instabilität, mangelnde Passform des Knochenspans oder unzureichende Knochenqualität aufweisen (Grob et al. 2001, Kostuik et al. 1993).

Ein weiterer Grund, auf eine generelle Verplattung zu verzichten, sind die damit einhergehenden, möglichen Komplikationen wie Oesophagusverletzungen und Materialversagen, z.B. bei Bruch oder Dislokationen der Platte/n oder Schraube/n (Hanci et al. 1995, Paramore et al. 1995).

Einige Autoren berichten über anteriore zervikale Diskektomien ohne anschließende Implantation eines Platzhalters, da sie Vorteile in einer schnelleren Operation und verkürzten, postoperativen stationären Behandlung durch das Vermeiden einer zweiten Wunde an der Knochenentnahmestelle der Hüfte sehen (Maurice-Williams et al. 1996, Klaiber et al. 1992, Husag u. Probst 1984, Hirsch 1960, Pointillart et al. 1995, Dowd u. Wirth 1999, Probst 1989, Gilsbach et al. 1981, Abd-Alrahman et al. 1999).

Aufgrund der bei dieser Methode von einigen Autoren beschriebenen Komplikationen, wie postoperativ auftretende Nackenschmerzen, vermehrte Segmentkyphosierung oder geringere Fusionsrate durch verbliebene Mobilität des operierten Segments, beschränkten ein Teil ihrer Vertreter die Empfehlung dieser Operationsmethode im Wesentlichen auf monosegmentale, weiche Bandscheibenvorfälle (Martins 1976, Murphy u. Gabo 1972, Abd-Alrahman et al. 1999, Grisoli et al. 1989).

Um mögliche, mit einer zweiten Wunde einhergehende Komplikationen ebenso wie die Nachteile bei alleiniger Diskektomie zu vermeiden, wurden alloplastische Materialien und industriell hergestellte Implantate als Platzhalter für die entfernte Bandscheibe entwickelt und eingesetzt.

Ein Beispiel ist das PMMA (=Polymethylenmethacrylat). Dieses wurde laut einer 2002 veröffentlichten Umfrage von Schröder et al. an 40% der deutschen neurochirurgischen Kliniken verwendet (Schröder et al. 2002).

Bei dieser Methode besteht das Risiko der Zytotoxizität und thermo-chemischer Schäden beim Abbinden des Materials. Ebenso kann es zu einer Migration oder einem Einbruch des Materials in Grund- oder Deckplatten kommen. Bindegewebige Pseudarthrose oder Implantatlockerung sind weitere Risiken, die zum Teil von der operativen Technik (z.B. Größe, Form, Verankerung des Implantates) abhängen (Karimi-Nejad et al. 1981, Roosen 1982).

Weitere Implantat-Alternativen sind industriell hergestellte Cages. Diese unterscheiden sich in Material und Form. Ein Vorteil von Cages liegt unter anderem in einer schnellen und einfachen Implantation im Anschluß an eine Diskektomie.

Es sind zahlreiche Implantate zur zervikalen intersomatischen Spondylodese verfügbar.

Ein Beispiel für einen Cage aus Titan ist der Wing Cage. Ein Hohlimplantat, das in seiner Form der Kombination eines Cloward-Dübels mit einem zylindrischen

Mittelstück und eines SR-Dübels mit seitlich flachen Ausläufern entspricht (Schmieder et al. 2002).

Andere Implantate bestehen z.B. aus Polymeren. Diese bieten aufgrund ihrer Durchlässigkeit für Röntgenstrahlen den Vorteil einer besseren radiologischen Beurteilung von Fusion und Stellung der operierten Segmente. Bei einer MRT-Untersuchung der HWS verursachen sie weniger Artefakte als z.B. Implantate aus Titan (Matgé 2002, Cho et al. 2002, Debois u. Kaech 2002, Samandouras et al. 2001).

Elsig et al. setzten bei ihrer prospektiven Studie einen mit einer Carbonfaser ummantelten Polymer-Cage (Osta Pek Cage aus PEKEKK) erfolgreich bei 92 Patienten ein. Seine Form ist viereckig, innen hohl und mit einem Mittelsteg versehen (Elsig et al. 1999).

Der in dieser Studie verwendete Cage besteht aus Polymer PEEK (Poly-Ether-Ether-Keton). Im Gegensatz zu einem Knochendübel ist der Plate-Cage (PCB) aus PEEK bei axialer Einwirkung physiologischer Kräfte nicht komprimierbar und kollabiert nicht. Der Plate-Cage (PCB) aus PEEK vereint Eigenschaften eines Cage mit denen einer Platte. Durch zungenförmige, mit einer Bohrung versehene Ausläufer am Implantat kann der Plate-Cage am oberen und unteren Wirbelkörper durch je eine Schraube fixiert werden.

Um potentielle Unterschiede bei dem Einsatz von Cages und bei Verwendung autologen Knochens zu untersuchen, wurden Vergleichstudien vorgenommen:

Kao, Thome, Hacker und Moreland et al. führten jeweils eine Vergleichsstudie mit Patientengruppen durch, denen entweder autologer Knochen oder Implantate aus Titan eingesetzt wurden. Die klinischen Ergebnisse der einzelnen Gruppen waren vergleichbar gut. Allerdings wiesen die Patienten, die mit einem Knochenspan versorgt wurden, eine höhere Komplikationsrate auf (Kao et al. 2005, Thome et al. 2004, Hacker et al. 2000, Moreland et al. 2004).

Cho et al. hatten in ihrer Vergleichsstudie statistisch signifikant bessere klinische Ergebnisse bei den mit einem Cage versorgten Patienten (Cho et al. 2002/04).

Madawi et al. konstatierten in einer prospektiven, randomisierten Studie eine statistisch signifikant höhere Inzidenz von Kyphosen und Spandislokationen bei mit autologem Knochen fusionierten Patienten im Vergleich zu Patienten, die mit einem biokompatiblen Polymer versorgt wurden (Madawi et al. 1996).

Allgemeine Risiken bei der Verwendung von Implantaten können Dislokationen, Materialversagen oder Sinterungen in die angrenzenden Wirbelkörper sein (Matgé u. Leclercq 2000, Thome et al. 2004, Wilke et al. 2000).

In einer Studie von Aydin et al. über den Plate-Cage (PCB) aus Titan wurden bei 2 von 8 in 2 Höhen operierten Patienten Schraubenbrüche nach drei Monaten festgestellt. Aufgrund dessen plädieren die Autoren für längerfristige Verlaufsuntersuchungen und größere Patientenkollektive (Aydin et al. 2004).

In zwei anderen Studien über den Plate-Cage aus Titan von Samandouras und Ma et al. und in dieser Studie über den Plate-Cage aus PEEK kam es weder zu Materialversagen, noch zu Cage- oder Schraubendislokationen (Samandouras 2001, Ma et al. 2002).

Weiterhin sind Sinterungen alloplastischer Implantate in angrenzende Wirbelkörper beschrieben worden. Sie werden zurückgeführt auf eine zu starke intraoperative Bearbeitung der Endplatten, auf individuell mangelhafte Knochenqualität, aber auch auf eine inadäquate Größe des/der verwendeten Cage/s (Schmieder et al. 2002, Matgé u. Leclercq 2000, Wilke et al. 2002, Dumas et al. 1994, Matgé 2002).

Eine Sinterung bis zu max. 2 mm wurde noch als akzeptabel angesehen, über 2 mm führte sie zu einer negativen Bewertung des Ergebnisses (Matgé 2002, Schmieder et al. 2002, Matgé u. Leclercq 2000, Thome et al. 2004).

Um einer möglichen Sinterung vorzubeugen, empfehlen Elsig und Wilke et al., nur das Zentrum der Endplatten anzufrischen. Dadurch sollen optimale Voraussetzungen zur knöchernen Fusion geschaffen werden, und das Implantat kann seitlich auf intakten Endplatten aufliegen (Elsig et al. 2002, Wilke et al. 2002).

Eine In-vitro-Studie von Wilke et al. zeigte unterschiedliches Sinterungsverhalten dreier Wirbelsäulenimplantate im Vergleich mit PMMA nach 700 Belastungszyklen. Die differenten Ergebnisse erklärten sie anhand von Unterschieden der Implantatform und daraus folgend der unterschiedlichen Auflage- oder Kontaktfläche der Cages zu den angrenzenden Endplatten. Ihre Untersuchungen zeigten, dass Cages mit einer großen Auflagefläche seltener einbrechen und dass eine schonende Präparation der Endplatten das Risiko von Sinterungen minimieren kann. Der optimale Cage sollte also eine große Auflagefläche haben und gleichzeitig genügend Raum zum Einwachsen von Knochen gewährleisten (Wilke et al. 2002).

Um die beste Methode einer monosegmentalen Spondylodese bei degenerativer Bandscheibenoperation herauszufinden, führten van Limbeek et al. eine

Datenbankrecherche mit Medline (1966-1998), Current Contents (1996-April 1999) und The Cochrane Database of Randomized Controlled Trials (issue 1998-4) durch. Eine Metaanalyse scheiterte jedoch an der Heterogenität der Behandlungsmethoden sowie am Fehlen einheitlicher Standards zur Auswertung der Ergebnisse (van Limbeek et al. 2000).

Radiologie

Fusion

Ein halbes Jahr postoperativ hatten über 93% der mit einem Cage versorgten Patienten folgender Studien Fusionszeichen: Cho et al. 2002, Schmieder et al. 2002, Elsig et al. 2002, Aydin et al. 2004. Eine vollständige, stabile Fusion kann nach ca. einem Jahr erwartet werden (Matgé/Matgé u. Leclercq 2000/2002, Debois u. Kaeck 2002, Hacker 2000).

Bei anderen Implantaten, wie z.B. PMMA, wurde von van den Bent et al. bei einer im Vergleich zu einer mit alleiniger Diskektomie behandelten Gruppe eine geringere Fusionsrate festgestellt: 28% versus 63% (van den Bent et al. 1996).

Dies kann, wie Studien mit Tierversuchen oder bei Explantation des Materials in vivo zeigen, darauf zurückgeführt werden, dass verschiedene Stadien der Gewebsumwandlung um die PMMA Plombe vonstatten gehen. Dieser Prozess endet häufig mit einer Einschalung der PMMA Plombe durch bindegewebiges Material. Diese Einschalung dauert mitunter 2 Jahre und ist einer Fusion nicht gleichwertig (Roosen 1982, Grote u. Röttgen 1967, Wilke et al. 2002).

Abd-Alrahman et al. hatten in ihrer Vergleichsstudie bei Patienten mit einfacher Diskektomie und einer Gruppe mit anschließender Fusion nach SR differente Fusionsergebnisse: 64% versus 94% (Abd-Alrahman et al. 1999).

Kao et al. stellten in ihrer Vergleichsstudie keinen statistisch signifikanten Unterschied fest bei dem Vergleich der klinischen Ergebnisse und der Fusion autologer, allogener Interponate oder Cages. Die autologen Interponate hatten mit durchschnittlich 4 Monaten eine schnellere Fusionszeit gegenüber den allogenen Interponaten, die durchschnittlich 5,4 Monate benötigten.

In der vorliegenden Studie hatten 38 von 38 Patienten in 57 von 57 Segmenten zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung radiologisch dokumentierte Fusionszeichen.

Mehrsegmentale Eingriffe und Pseudarthrosen

Über mehrsegmentale Eingriffe bei der ventralen Spondylodese und deren Ergebnisse berichten mehrere Studien: Klaiber et al. 1992, Heidecke et al. 2000, Aydin et al. 2004, Gore u. Sepic 1984, Gore et al. 1986, Schmieder et al. 2002, Yonenobu et al. 1986.

Bei ventralen zervikalen Fusionsoperationen fiel auf, dass mit der Anzahl der operierten Segmente die Anzahl von Pseudarthrosen stieg (Bolestra et al. 2000, Bohlmann et al. 1993, Grob et al. 2001).

Um dem vorzubeugen, wurden ventrale Osteosyntheseplatten zur internen Stabilisierung verwendet (Bohlman et al. 1993, Coe et al. 1989, Grob et al. 2001).

Bolestra et al. beschreiben in einer prospektiven Studie anhand von 15 Patienten, die in drei oder vier Höhen mittels SR Methode und unter Verwendung anteriorer Osteosyntheseplatten operiert wurden, eine Pseudarthroserate von 53%. Ein Drittel dieser Patienten musste einer weiteren Operation zugeführt werden. Die Empfehlung der Autoren lautet daher, bei mehrsegmentalen Eingriffen die anteriore mit einer posterioren Stabilisation zu kombinieren (Bolestra et al. 2000).

Wang et al. sind Befürworter der Verplattung, da diese eine sofortige Stabilisierung durch verminderte Beweglichkeit gewährleistet und damit gute Voraussetzungen für eine Fusion schafft. In retrospektiven Vergleichsstudien über Zeiträume von 2-7 Jahren stellten sie bei allen ihren in 2 Höhen operierten Patienten fest, daß die verplattete Gruppe keine Pseudarthrosen aufwies. Im Gegensatz zu 25% der Patienten in der Vergleichsgruppe ohne Verplattung, die neben einer Pseudarthrose noch eine gehäuft auftretende Kyphosierung der operierten Segmente zeigte. Auch ihre in 3 Höhen operierten Patienten hatten weniger Pseudarthrosen in der Gruppe mit Verplattung, hier allerdings ohne statistische Signifikanz. Da nach Erfahrungen der Autoren die Rate der Pseudarthrosen bei Operationen in 3 Höhen zunimmt, sollte nach Alternativen gesucht werden, die eine Fusion beschleunigen und damit einer Pseudarthrose vorbeugen (Wang et al. 2000/01).

Im Gegensatz zu den aufgeführten Ergebnissen und zu dem auch in anderen Publikationen beschriebenen, höheren Pseudarthroserisiko (Bohlmann et al. 1993, Emery et al. 1997, Phillips et al. 1997, Robinson et al. 1962) entwickelte in dieser Studie keiner der 14, in mehreren Segmenten operierten Patienten, eine Pseudarthrose.

Auch Elsig et al. fanden unter Verwendung von Cages bei ihren 218 mono- und mehrsegmental operierten Patienten keine Pseudarthrose (Elsig et al. 1999/2002). Eine Pseudarthrose ist laut Yonenobu et al. ein nicht in allen Fällen vermeidbares, jedoch behebbares Problem. Sie sehen dann eine Indikation zur operativen Revision, wenn es zu einer Hypermobilität im operierten Segment gekommen ist mit konsekutivem klinischen Korrelat oder die Gefahr einer Schädigung nervaler Strukturen besteht. In allen anderen Fällen empfehlen sie eine abwartende Haltung mit engmaschigen Kontrollen (Yonenobu et al. 1986).

Degenerative Veränderungen von Segmenten, die an fusionierte Segmente angrenzen

In radiologischen Verlaufskontrollen fielen degenerative Veränderungen der an ein fusioniertes Segment angrenzenden Segmente auf. Als mögliche Ursache wurde eine erhöhte Belastung dieser Segmente durch die Steifheit des fusionierten Segments angenommen. Klinische Folgen müssen jedoch nicht zwingend daraus erwachsen (Baba et al. 1993, Bohlman et al. 1993, Bolestra et al. 2000, Braunstein et al. 1980, Teramoto et al. 1994).

Hilibrand et al. fanden symptomatische, degenerative Veränderungen angrenzender Segmente an fusionierte Segmente mit einer Inzidenz von 2,9% pro Jahr. Der Zeitraum umfasste die ersten 10 postoperativen Jahre (Hilibrand et al. 1999).

Goffin et al. fanden bei 166 (92%) von 180 Patienten mit mittlerem Untersuchungszeitraum von über 5 Jahren zunehmende, degenerative Veränderungen an eine Spondylodese angrenzende Segmente. Der Grad dieser degenerativen Veränderungen wurde präoperativ oder direkt postoperativ anhand lateraler Röntgenbilder dokumentiert und in einem selbstentwickelten Score festgehalten. Dieser wurde erneut zur Abschlussuntersuchung erhoben, sodass eine Veränderung dokumentiert werden konnte. Klinisch zeigte sich im Rahmen der Nachuntersuchung bei 63 (36%) Patienten, die initial aufgrund einer Radikulopathie operiert wurden, ein Trend zu einer Korrelation zwischen radiologisch degenerativen Veränderungen von Segmenten, die an fusionierte Segmente angrenzen und erneuter klinischer Verschlechterung; bei Patienten mit myelopathischen Symptomen bestätigte sich dies nicht. Statistisch signifikant erwies sich der Zusammenhang zwischen Dauer der postoperativen Nachuntersuchung und Auftreten degenerativer Veränderungen

angrenzender Segmente: je länger der postoperative Verlauf verfolgt werden konnte, desto häufiger und schwerer waren degenerative Veränderungen von Segmenten, die an fusionierte Segmente angrenzen.

Nach Meinung der Autoren sind auslösende Faktoren für diese degenerativen Veränderungen zum einen auf natürliche Progredienz schon vorbestehender Pathologien zurückzuführen und zum anderen auf biomechanischen Stress, der durch die Fusion des/der operierten Segments/-e auf die angrenzenden Segmente ausgeübt wird (Goffin et al. 2004).

Auch Gore et al. legten zu dieser Fragestellung eine Studie vor. Sie untersuchten 90 Patienten mit Nackenschmerzen nach mono- oder multisegmentaler Fusion und verglichen diese mit einer nicht operierten Kontrollgruppe gleichen Alters und Geschlechts. Die Ergebnisse nach einem mittleren Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren zeigten keine erhöhte Inzidenz degenerativer Veränderungen angrenzender Segmente bei Patienten nach einer Spondylodese im Vergleich zur Kontrollgruppe. Allerdings wurde eine vermehrt auftretende ventrale Osteophytose an den an eine Fusion angrenzenden Segmenten beobachtet. Anlass zu dieser Vergleichsstudie waren Beobachtungen bei ihren anderen Studien, in denen eine Verschlechterung initial gebesserter Symptome nach durchschnittlich 2 Jahren in 16% der Fälle auftrat (Gore et al. 1986).

Reitman et al. überprüften 2004 prospektiv anhand einer dynamischen Röntgenuntersuchung Veränderungen der angrenzenden Segmente nach einer ventralen Spondylodese. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass zumindest in den ersten beiden Jahren nach der Operation keine Veränderungen angrenzender Segmente durch vermehrte Gelenkbelastung auftraten (Reitman et al. 2004).

Postoperative Fehlstellung, Pseudarthrose oder Sinterung und ihre klinische Bedeutung

Radiologisch wurde neben der Fusion und den angrenzenden Segmenten auch die Stellung der HWS und des operierten Segments bewertet. Es stellte sich die Frage, inwieweit klinische Symptome aus einer Fehlstellung, Pseudarthrose oder Sinterung erwachsen:

Im allgemeinen finden sich zu den Sinterungen der Implantate (Tye et al. 2002, Wilke et al. 2000) in den/die angrenzenden Wirbelkörper und/oder bei postoperativer

segmentaler Fehlstellung nach ventraler Spondylodese keine klinischen Korrelate (Bohlman et al. 1993, Grote u. Röttgen 1967, Grisoli et al. 1989, Karimi-Nejad et al. 1981, Lunsfort et al. 1980, Martins 1976, Matgé u. Leclercq 2000, Mosdal 1984, Roosen 1982).

Heidecke et al. untersuchten 106 Patienten, die mono- und multisegmental nach Cloward operiert worden waren, retrospektiv auf klinische Korrelate zum Röntgenbild. Es stellte sich heraus, dass eine anteriore Dislokation (2,8%), der Kollaps eines Spans (12,3%) oder das Auftreten einer Pseudoarthrose (5,7%) klinisch kein Korrelat aufwiesen. Entwickelten die Patienten jedoch eine postoperative Fehlstellung, kam es in 82,7% zu intermittierenden bis persistierenden Nackenschmerzen (Heidecke et al. 2000).

Bei unzureichender Fusion ist nach Alvarez u. Hardy das Auftreten kyphotischer Deformitäten und die Inzidenz postoperativer Beschwerden erhöht, wie z.B. persistierende Nacken-/Schulterschmerzen (Alvarez u. Hardy 1999).

Auch Bohlmann, Emery und van den Bent et al. sehen ein gutes klinisches Ergebnis mit einer erfolgreichen Fusion assoziiert (Bohlmann et al. 1993, van den Bent et al. 1996, Emery et al. 1997).

Im Gegensatz dazu können Lunsford et al. keine Korrelation zwischen einem guten klinischen Ergebnis und einer Fusion bestätigen (Lunsford et al. 1980).

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigten bei 4 der 6 signifikanten Sinterungen des Implantates in die angrenzenden Wirbelkörper keine Fehlstellung im Röntgenbild und kein klinisches Korrelat. Bei einer Patientin traten zunächst persistierende Nackenschmerzen auf, im Röntgenbild zeigte sich in beiden operierten Höhen eine Sinterung und eine kyphotische Fehlstellung. Unter konservativer Therapie kam es im Rahmen der Nachuntersuchung zu einer Besserung der Beschwerden, sodass von einer weiteren Operation abgesehen wurde.

Es ist schwierig, die Schlussfolgerungen der unterschiedlichen Studien über die klinischen Folgen einer Fehlstellung oder Pseudarthrose in Einklang zu bringen. Gründe hierfür könnten u.a. in den unterschiedlichen Zeiträumen der Nachuntersuchungen, den nicht standardisierten Untersuchungsmethoden sowie dem Einsatz unterschiedlicher Implantate liegen. Sinnvoll erscheint es daher, Nachuntersuchungen über einen längeren Zeitraum, z.B. über 10 Jahre, durchzuführen

und das insbesondere bei Patienten mit myelopathischen Zeichen (Teramoto et al. 1994, Gore et al. 1986, Yonenobu et al. 1986).

Um der Frage nachzugehen, warum es zu einer erneuten neurologischen Verschlechterung nach einem symptomfreien postoperativen Intervall kommen kann, beobachteten Teramoto et al. bei 45 nach SR und Cloward operierten Patienten den postoperativen Verlauf über durchschnittlich 10 Jahre.

In diesem Zeitraum wiesen 5 Patienten erneute neurologische Symptome nach Erstoperation auf, von denen 3 Patienten einer Laminektomie zugeführt wurden. Als Ursache fanden sich intraoperative Veränderungen/Verdickung der Ligg. flava der angrenzenden Segmente, die zu einer Spinalkanalstenose geführt hatten. Histologische Untersuchungen bestätigten die Vermutung einer Hypertrophie der Ligg. flava. Auf Höhe der operierten Segmente zeigten die Präparate jedoch eine Atrophie der Ligg. flava.

Eine Erklärung hierfür sehen Teramoto et al. in einer Veränderung der Statik der HWS durch eine Spondylodese. Durch die abnehmende HWS-Beweglichkeit komme es im fusionierten Bereich zu einer Atrophie und in den angrenzenden Segmenten durch die vermehrte Beanspruchung zu einer Hypertrophie der Ligg. flava sowie weiteren degenerativen Veränderungen, wie dorso-ventralen Osteophyten, Bandscheibenprotrusionen und Höhenminderung des Zwischenwirbelraumes. Durch konsekutive Stenosierung von Spinalkanal und Neuroforamina komme es dann erneut zu neurologischen Symptomen (Teramoto et al. 1994).

Yonenobu et al. unterteilen die postoperativen neurologischen Verschlechterungen in Früh- und Spätsymptome. Erstere ereignen sich innerhalb des ersten Jahres und sind, ihrer Meinung nach, auf vorbestehende degenerative Veränderungen angrenzender Segmente zurückzuführen, die unter den veränderten Belastungen durch das fusionierte Segment exazerbieren. Deshalb ist nach Meinung der Autoren eine präoperativ großzügige Operationsindikation bei schon geschädigten angrenzenden Segmenten an das die Symptomatik auslösende Segment zu diskutieren. Ansonsten empfehlen sie, engmaschige Kontrollen im ersten postoperativen Jahr durchzuführen. Spätsymptome würden erst nach über einem Jahr auftreten und hätten ihre Ursache hauptsächlich in neu aufgetretenen degenerativen Veränderungen angrenzender Segmente oder einer Instabilität der HWS durch eine Pseudarthrose im operierten Segment (Yonenobu et al 1986).

Klinik

Zum postoperativen Verlauf der Radikulopathie werden in der Literatur gute Ergebnisse berichtet, wenn auch nicht ganz einheitliche Angaben zu finden sind.

Heidecke et al. erstellten eine umfassende Literaturübersicht über Studien mit Patienten nach Cloward-Operationen. Dabei zeigten die Radikulopathien eine Besserung bei >90% der Patienten.

Über vergleichbare Ergebnisse berichten auch andere Autoren, die unterschiedlichste Implantate einsetzten, vom autologen Knochen bis zu verschiedenen Cages: Cloward 1963, Matgé 2002, Matgé u. Leclercq 2000, Schmieder et al. 2002, Cho et al. 2002, Moussa et al. 1983, Heidecke et al. 2000, Martins 1976, Ma et al. 2002, Dubuisson et al. 1993, Madawi et al. 1996 Hacker 2000, Thome et al. 2004. Andere Studien zeigen nicht ganz so gute Ergebnisse bei der Besserung der Radikulopathien, so z.B. 77% bei Karimi-Nejad et al. (1981), 73-93% bei Probst (1989), 74% bei van den Bent et al. (1996), 78% bei Böker u. Schultheiß (1994) und 81% bei Lunsford et al. (1980).

In der vorliegenden Untersuchung besserten sich die Radikulopathien postoperativ bei 22 von 24 Patienten (92%).

Auf die Frage, ob hierbei die Wahl des eingesetzten Implantats eine Rolle bei der postoperativen Besserung spielt, wurde schon an anderer Stelle dieser Diskussion anhand von Vergleichsstudien näher eingegangen (Hacker 2000, Thome et al. 2004, Cho et al. 2002, Kao et al. 2005, Moreland et al. 2004).

Patienten mit myelopathischen Symptomen erzielen meist schlechtere postoperative Ergebnisse als Patienten mit reinen Radikulopathien (Herkowitz 1989).

Dies hängt möglicherweise von mehreren Faktoren ab:

Bei der Pathophysiologie myelopathischer Symptome sind mechanische und vaskuläre Faktoren von Bedeutung (Kunze et al. 1991).

Degenerative, raumfordernde Veränderungen der HWS können zu einer Kompression des Myelons, der Nervenwurzeln oder deren zu- und abführenden Gefäßen führen. Folgen davon können Ischämien, Nekrosen und/oder Ausbildung einer Gliose sein.

Ein kongenital enger Spinalkanal kann bei Hinzutreten von degenerativen Veränderungen der Wirbelsäule zu einer Akzentuierung oben genannter Folgen

führen. Die klinische Symptomatik kann dabei Hinweise auf die Lokalisation der Myelonschädigung und deren Ausprägung geben (Parke 1988).

Die Entwicklung und der Verlauf myelopathischer Symptome ist dynamisch, d.h. in Intervallen oder langsam progredient (Hamburger et al. 1994).

Laut Ross haben 75% der Patienten einen episodischen Verlauf, 25% einen langsam progredienten und 5% einen akuten Verlauf mit schneller Verschlechterung (Ross 1995).

Weitere Faktoren, die Einfluss auf postoperative Ergebnisse zu haben scheinen, sind die Dauer und Schwere der präoperativen Beschwerden sowie das Alter der Patienten. Je länger die Krankheitsgeschichte und je ausgeprägter die präoperative myelopathische Symptomatik, desto geringer ist die postoperative Besserung (Dubuisson et al. 1993, Gore u. Sepic 1984, Mosdal 1984, Heidecke et al. 2000).

Heidecke et al. weisen in ihrer Untersuchung bessere Ergebnisse bei Patienten mit myelopathischen Symptomen nach, deren Symptomatik kürzer als ein Jahr bestand und deren Alter unter 40 Jahren lag (Heidecke et al. 2000).

Probst und Dubuisson et al. fanden diesbezüglich eine Altersgrenze von unter 60 Jahren (Probst et al. 1989, Dubuisson et al. 1993).

In der vorliegenden Untersuchung wurde aufgrund der geringen Zahl von 14 Patienten (3 Patienten über 60 Jahre, 1 Patient unter 40 Jahren und 10 Patienten zwischen 40 und 60 Jahren) auf die Auswertung einer Korrelation der klinischen Besserung mit dem Alter der Patienten verzichtet.

Um eine weitere Symptomprogredienz und die Entwicklung irreversibler Schäden zu vermeiden (Samii et al. 1989, Grote u. Röttgen 1967), sollten Patienten bei Auftreten myelopathischer Symptome frühzeitig einer Operation zugeführt werden (Hohmann u. Liebig 1996).

In Fällen mit ausgeprägter, präoperativer myelopathischer Symptomatik kann es deshalb als Erfolg gelten, wenn die Symptomatik postoperativ auf ihrem aktuellen Stand sistiert und eine Progredienz vermieden werden konnte (Karimi-Nejad et al. 1981, Roosen 1982, Matgé 2002).

In folgenden Studien wird postoperative Regredienz myelopathischer Symptome bei 50-60% der Patienten angegeben: Matgé 2002, Probst 1989, Lunsfort et al. 1980, Böker u. Schultheiß 1994.

Etwas bessere Ergebnisse erzielten Heidecke et al. bei 70% und Irvine und Strachan bei 78% der Patienten (Heidecke et al. 2000, Irvine u. Strachan 1987).

Mosdal erreichte etwas schlechtere Ergebnisse mit einer postoperativen Regredienz der Beschwerden bei 42% der Patienten mit myelopathischen Symptomen (Mosdal 1984).

In der vorliegenden Untersuchung waren die myelopathischen Symptome postoperativ bei 6 von 14 Patienten (43%) nicht mehr nachweisbar.

Der in dieser Studie verwendete Score nach Prolo et al. wurde auch von Cho et al. (2002) zur klinischen Evaluation ihrer Ergebnisse genutzt. Der Score fragt zum einen die Arbeitsfähigkeit im Beruf oder Haushalt ab, zum anderen den Grad der Schmerzen mit ihren Auswirkungen auf die Aktivität des Patienten. Es können maximal 10 Punkte erreicht werden, 7 bis 10 Punkte weisen auf ein gutes bis sehr gutes Ergebnis hin.

In der Untersuchung von Cho et al. lag der postoperative Durchschnittswert bei 8,4 Punkten (Cho et al. 2002).

Eine weitere Studie, bei der der PROLO-Score verwandt wurde, ist die von Ayadin et al., die einen Plate-Cage aus Titan einsetzten. In ihren Ergebnissen differenzieren sie zwischen mono- und multisegmental operierten Patienten. Der Grund lag in einer hohen Komplikationsrate ihrer mehrsegmental operierten Patienten, was an anderer Stelle dieser Arbeit erläutert wird. Ihre multisegmental operierten Patienten wiesen einen durchschnittlichen Punktwert von 6,3 (=zufriedenstellendes bis unverändertes Ergebnis) auf, während ihre monosegmental operierten Patienten gute bis sehr gute Ergebnisse mit durchschnittlich 8,5 Punkten erreichten (Ayadin et al. 2004).

Bei der dieser Arbeit zugrunde liegenden Untersuchung konnte ein gutes bis sehr gutes Ergebnis mit einem durchschnittlichen postoperativen Punktwert von 8,4 nachgewiesen werden.

Als weiterer Score dieser Studie wurde die Skala nach Roosen erhoben, die objektive sowie subjektive Symptome erfasst und in fünf Grade eingeteilt ist.

Skala nach Roosen:

Grad I	Beschwerdefrei, neurologisch o.p.B.
Grad II	Subjektive Beschwerden wesentlich gebessert. Diskrete, gut kompensierte neurologische Reststörung

- Grad III Beschwerden unverändert. Präoperativer neurologischer Status gebessert
- Grad IV Keine Änderung der subjektiven wie objektiven Symptomatik
- Grad V Verschlechterung

Roosen und Grote (Roosen u. Grote 1979/1980) entwickelten diese Skala, um Vergleiche mit Ergebnissen aus der anglo-amerikanischen Literatur erstellen zu können, wie z.B. der Einteilung nach Odom et al. (1958).

Odom		Vgl. mit Roosen
„excellent - good“	partielle bis komplette Symptomregredienz mit der Möglichkeit zur vollen Aktivität	I und II
„fair“	Besserung mit noch Einschränkungen bei den Aktivitäten des täglichen Lebens	III
„poor“	keine Besserung oder eine Verschlechterung der Beschwerden	IV

In einer Studie von Lunsford et al., die den Odom Score an 253 Patienten zur Evaluation der postoperativen Ergebnisse verwendeten, kam man zu dem Ergebnis, dass 84% der Patienten von der Operation profitiert hatten (Lunsford et al. 1980).

In Kao et al.'s Untersuchung mit dem Odom Score profitierten 75,3 % der Patienten von der Operation (Kao et al. 2005).

Eine Studie, die die Graduierung nach Roosen für die Beurteilung ihrer postoperativen Ergebnisse nutzte, war die von Laumer et al.. Deren Ergebnisse bei 236 Patienten, die mono- oder multisegmental mit einer PMMA-Plombe versorgt wurden, erlaubten in 80-81,5% der Fälle eine Einteilung nach Grad I-II nach Roosen, was einem guten bis sehr guten Ergebnis entspricht (Laumer et al. 2002).

In der vorliegenden Studie wurden 36 von 38 Patienten Grad I und II nach Roosen zugeteilt.

E. Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse

Im Zeitraum von 11.08.1999 bis 29.01.2001 wurden in der Klinik für Neurochirurgie der Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH 38 Patienten mit einem Plate-Cage aus PEEK operativ versorgt. Es wurden 21 Frauen und 17 Männer operiert, deren mittleres Alter bei 51 Jahren (29-74 Jahre) lag. Monosegmentale Eingriffe wurden bei 24 Patienten, multisegmentale bei 14 Patienten vorgenommen. Die Gesamtzahl der operierten Segmente betrug 57 und verteilte sich mit 43 Segmenten vor allem auf die Höhen HWK 5/6 und HWK 6/7. Der mittlere Zeitraum der Abschlussuntersuchung umfasste 7 Monate (3-12 Monate).

Postoperativ hatten in der ersten Woche 10 Patienten passagere Schluckstörungen, eine dieser Patienten eine lokale subkutane Nachblutung, die am Operationstag revidiert wurde. Eine weitere Patientin gab bei der Dreimonatskontrolle noch intermittierende Schluckstörung an, wobei die weiterführende Diagnostik keinen pathologischen Befund erbrachte. Die bei 2 Patienten postoperativ aufgetretene Heiserkeit war bei der Kontrolle nach 6 Wochen nicht mehr nachweisbar.

Radiologisch wurden im Rahmen des Nachuntersuchungszeitraums 2 präoperative Fehlstellungen der HWS als dauerhaft korrigiert nachgewiesen. Segmentale Fehlstellungen wurden in 5/8 Segmenten korrigiert. Eine Patientin wies in der postoperativen 12 Wochen Kontrolle nach Implantatsinterung in beiden operierten Höhen, neu aufgetretene segmentale Kyphosen auf.

Fusionszeichen wurden zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung bei 38/38 Patienten in 57/57 Segmenten nachgewiesen; signifikante Sinterungen (>2mm) in die angrenzenden Wirbelkörper zeigten sich bei 5/38 Patienten in 6/57 Segmenten.

24 Patienten wiesen präoperativ eine Radikulopathie auf, die sich postoperativ bei 22 Patienten besserte, 6 von 14 Patienten mit Myelopathie waren postoperativ symptomfrei.

Der PROLO zeigte bei der Abschlussuntersuchung eine durchschnittliche Besserung von 3,3 Punkten (5,1 prä- auf 8,4 Punkte postoperativ). Die Auswertung ergab, dass 32 Patienten ein gutes bis sehr gutes, 6 ein zufriedenstellendes Ergebnis haben. Auf der Skala nach Roosen erreichten 36 Patienten Grad I oder II. 2 Patienten hatten unveränderte Beschwerden bei diskret gebessertem neurologischen Befund.

Summary

The clinical and radiological follow-up after cervical interbody fusion in 38 patients with a PEEK plate-cage system has been evaluated between 11-Aug-1999 and 29-Jan-2001 in a prospective study at the Neurosurgical Department of the Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH, Wiesbaden.

Mean age of the patients: 51 years (range: 29-74); 21 female and 17 male patients. In total, interbody fusion was performed in 57 segments, most frequently at the levels C 5/6 and C 6/7 (43 segments).

During the first week after surgery 10 patients had transient dysphagia, one patient had a local subcutaneous haematoma requiring surgical revision. Another patient complained of intermittent dysphagia three months after surgery, extensive diagnostic workup revealed no pathology. 2 patients had a transient hoarseness after surgery, which had disappeared at the 6-week follow-up.

All patients had follow-up clinical and radiological examinations, mean time of the final examination: 7 months (3-12 months).

Radiologically cervical lordosis, fusion status and subsidence into the adjacent endplates were evaluated. Segmental kyphosis was corrected in 5/8 segments, kyphotic cervical spine position in 2 patients. One female patient developed 12 week postoperatively segmental kyphosis due to implant subsidence in both operated segments. Signs of fusion were present in 38/38 patients in 57/57 segments at the last follow-up. Significant subsidence (>2mm) into endplates was observed in 5/38 patients in 6/57 segments.

Out of 24 patients with radiculopathy, 22 improved postoperatively. 6 out of 14 patients with myelopathy had no myelopathic signs at follow-up.

The neurological and functional outcome was assessed by PROLO and Roosen Scale. In average, the PROLO Score showed improvement of 3.3 points at the end of follow-up (5.1 pre- to 8.4 postoperatively). Very good and good results were achieved in 32 patients, satisfactory results in 6 patients.

Roosen Scale classifications I/II were reached by 36 patients. In 2 patients with persisting symptoms the preoperative neurological status improved however.

Literaturverzeichnis

Abd-Alrahman N, Dokmak AS, Abou-Madawi A (1999) Anterior cervical discectomy (ACD) versus anterior cervical fusion (ACF), clinical and radiological outcome study. Acta Neurochir 141:1089-1092

Abel R, Gerner HJ, Mariß G (1998) Beschreibung der bildgebenden Verfahren pp1-18 In: Abel R, Gerner HJ, Mariß G (eds) Wirbelsäule und Rückenmark. Blackwell Wissenschafts-Verlag - Berlin, Wien 1998

Alvarez JA, Hardy RW Jr (1999) Anterior cervical discectomy for one- and two-level cervical disc disease: the controversy surrounding the question of whether to fuse, plate, or both. Crit Rev Neurosurg 9:234-251

Aydin MV, Sen O, Erdogan B, Sener L, Caner H, Altinors N (2004) Anterior cervical fusion with the PCB cage-plate system. Adv Ther 21:21-26

Baba H, Furusawa N, Imura S, Kawahara N, Tsuchiya H, Tomita K (1993) Late radiographic findings after anterior cervical fusion for spondylotic myeloradiculopathy. Spine 18:2167-2173

Bagby GW (1988) Arthrodesis by the distraction-compression method using a stainless steel implant. Orthopedics 11:931-934

Bailey RW, Badgley CE (1960) Stabilization of the cervical spine by anterior fusion. J Bone Joint Surg Am 42:565-594

Benini A, Krayenbuhl H, Bruderl R (1982) Anterior cervical discectomy without fusion. Microsurgical technique. Acta Neurochir 61:105-110

van den Bent MJ, Oosting J, Wouda EJ, van Acker EH, Ansink BJ, Braakman R (1996) Anterior cervical discectomy with or without fusion with acrylate. A randomized trial. Spine 21:834-840

Bohlman HH, Emery SE, Goodfellow DB, Jones PK (1993) 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* 75:1298-1307

Böker DK, Schultheiß R (1994) Klinische und radiologische Langzeitergebnisse nach zervikaler Wirbelkörperperfusion mit PMMA. pp111-114 In: Matzen KA (ed) *Die operative Behandlung der Halswirbelsäule*. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York 1994

Boijesen E (1954) Cervical spinal canal in interspinal expansiv process. *Acta Radiol* 42:110

Bolesta MJ, Rehtine GR 2nd, Chrin AM (2000) Three- and four-level anterior cervical discectomy and fusion with plate fixation: a prospective study. *Spine* 25:2040-2046

Brantigan JW, Steffee AD (1993) A carbon fiber implant to aid interbody lumbar fusion. Two-year clinical results in the first 26 patients. *Spine* 18:2106-2107

Braunstein EM, Hunter LY, Bailey RW (1980) Long term radiographic changes following anterior cervical fusion. *Clinical Radiol* 31:201-203

Brussatis F, Wunderlich Th (1981) Spondylosis deformans an der Halswirbelsäule. *Z Orthop* 119:607

Cauthen JC, Kinard RE, Vogler JB, Jackson DE, DePaz OB, Hunter OL, Wasserburger LB, Williams VM (1998) Outcome analysis of noninstrumented anterior cervical discectomy and interbody fusion in 348 patients. *Spine* 23:188-192

Caspar W (1983) Fortschritte bei der vorderen, zervikalen Plattenstabilisierung. Erste Erfahrungen mit der Trapez-Osteosyntheseplatte und einem neuen Instrumentarium in der Halswirbelsäulen Chirurgie. pp 202-209 (5th Munich Symp for experimental orthopaedics) In: Hackenbroch MH, Refior HJ, Jaeger M (eds) *Biomechanik der*

Wirbelsäule, Ergebnisse praxisbezogener Grundlagenforschung. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 1983

Cho DY, Liao WR, Lee WY, Liu JT, Chiu CL, Sheu PC (2002) Preliminary experience using a polyetheretherketone (PEEK) cage in the treatment of cervical disc disease Neurosurgery 51:1343-1350

Cho DY, Lee WY, Sheu PC (2004) Treatment of multilevel cervical fusion with cages. Surg Neurol 62:378-386

Cloward RB (1958) The anterior approach for removal of ruptured cervical discs. J Neurosurg 15:602-617

Cloward RB (1959) Vertebral body fusion for ruptured cervical discs. Am J Surg 98:722-727

Cloward RB (1963) Surgical treatment of traumatic cervical spine syndroms. Wiederherstellungschir Traumatol 7:148-185

Cloward RB (1971) Complications of anterior cervical disc operation and their treatment. Surgery 69:175-182

Coe JD, Warden KE, Sutterlin CE 3rd, McAfee PC (1989) Biomechanical evaluation of cervical spinal stabilization methods in a human cadaveric model. Spine 14:1122-1131

Daffner RH (1999) Bildgebung beim Wirbelsäulentrauma. pp51-96 In: Daffner RH (ed) Radiologische Diagnostik der Wirbelsäulenverletzungen. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 1999

Debois V, Kaech DL (2002) The use of fiber cages (PEEK cages) with allograft bone in anterior cervical discectomy. pp 23-226 In: Kaech DL, Jinkins JR (eds) Spinal restabilisation procedures. Elsevier 2002

Denno JJ, Meadows GR (1991) Early diagnosis of cervical spondylotic myelopathy. A useful clinical sign. Spine 16:1353-1355

Dereymaeker A, Mulier J (1956) Nouvelle cure chirurgicale des discopathies cervicales. La ménsicotomie par voie ventrale suivie d'arthodèse par greffe intercorporéale. Neurochirurg 2:233-236

Dereymaeker A, Mulier J (1958) Vertebral fusion by a ventral approach in cervical intervertebral disc disorders. Rev Neurol 99:597-616

Dittmann W, Roosen K (1994) Differentialdiagnostische Kriterien zum operativen Zugangsweg (dorsal oder ventral) beim zervikalen Bandscheibenvorfall. pp13-20 In: Matzen KA (ed) Die operative Behandlung der Halswirbelsäule. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York 1994

Dubuisson A, Lenelle J, Stevenaert A (1993) Soft cervical disc herniation: a retrospective study of 100 cases. Acta Neurochir 125:115-119

Dumas JL, Reinhard P, Walker N. (1994) Die ventrale Nukleotomie und Metallblockfusion an der HWS. pp131-135 In: Matzen KA (ed) Die operative Behandlung der Halswirbelsäule. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York, 1994

Dowd GC, Wirth FP (1999) Anterior cervical discectomy: is fusion necessary? J Neurosurg 90:8-12

Dvořák J (1999) Röntgendiagnostik und invasive Diagnostik. pp 81-116 In: Dvořák J, Grob A (eds) Halswirbelsäule: Diagnostik und Therapie. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 1999

Elsig JP, Laloux E, Sgier F, Warden KE (1999) Cervical cage surgery: singel versus multi-level comparative results in 126 Patients. European Cervical Spine Research Society, Strasbourg, June 30-July 3,1999

Elsig JP, Sgier F, Warden KE (2002) Anterior cervical interbody fusion using PEKEKK composite cages. pp 213-222 In: Kaech DL, Jinkins JR (eds) Spinal restabilisation procedures. Elsevier 2002

Emery SE, Fisher JR, Bohlman HH (1997) Three-level anterior cervical discectomy and fusion: radiographic and clinical results. Spine 22:2622-2625

Frykholm R (1947) Deformities of dural pouches and strictures of dural sheaths in the cervical region producing nerve root compression. J Neurosurg 4:403-413

Gilsbach J, Eggert HR, Best S (1981) Vor- und Nachteile der vorderen zervikalen Bandscheibenoperation ohne Verblockung. Z Orthop 119:600-601

Goffin J, Geusens E, Vantomme N, Quintens E, Waerzeggers Y, Depreitere B, van Calenbergh F, van Loon J (2004) Long-term follow-up after interbody fusion of the cervical spine. J Spinal Disord Tech 17:79-85

Gore DR, Sopic SB (1984) Anterior cervical fusion for degenerated or protruded discs. A review of one hundred forty-six patients. Spine 9:667-671

Gore DR, Gardner GM, Sopic SB, Murray MP (1986) Roentgenographic findings following anterior cervical fusion. Skeletal Radiol 15:556-559

Grisoli F, Graziani N, Fabrizi AP, Peragut JC, Vincentelli F, Diaz-Vasquez P (1989) Anterior discectomy without fusion for treatment of cervical lateral soft disc extrusion: a follow-up of 120 cases. Neurosurgery 24:853-859

Grob D (1999) Operative Therapie der Halswirbelsäule. pp279-335 In: Dvořák J, Grob A (eds) Halswirbelsäule: Diagnostik und Therapie. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 1999

Grob D, Peyer JV, Dvořák J (2001) The use of plate fixation in anterior surgery of the degenerative cervical spine: a comparative prospective clinical study. Eur Spine J 10:408-413

Grote W, Röttgen P (1967) Die ventrale Fusion bei der zervikalen Osteochondrose und ihre Behandlungsergebnisse. Acta Neurochir 16:218-240

Gruß P (1982) Neurochirurgische Operationen an der Halswirbelsäule; Operationsvorbereitung und Lagerung. pp 13-14 In: Junghanns H (ed) Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis. Band 96. Hippokrates-Verlag Stuttgart 1982

Gullotta F (1991) Neuropathologische Befunde bei zervikalen Myelopathien. pp 21-24 In: Delank HW, Schmitt E (eds) Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis. Band 113. Zervikale Myelopathien. Hippokrates Verlag - Stuttgart 1991

Hacker RJ (2000) A randomized prospective study of an anterior cervical interbody fusion device with a minimum of 2 years of follow-up results. J Neurosurg 93:222-226

Hacker RJ, Cauthen JC, Gilbert TJ, Griffith SL (2000) A prospective randomized multicenter clinical evaluation of an anterior cervical fusion cage. Spine 25:2646-2655

Hamburger C, Lanksch W, Oeckler R, Bachmann C (1994) The treatment of spondylotic cervical myelopathy by ventral discectomy. Long term results on 121 patients. Neurosurg Rev 17:247-252

Hanci M, Toprak M, Sarioglu AC, Kaynar MY, Uzan M, Islak C (1995) Oesophageal perforation subsequent to anterior cervical spine screw/plate fixation. Paraplegia 33:606-609

Heidecke V, Rainov NG, Marx T, Burkert W (2000) Outcome in Cloward anterior fusion for degenerative cervical spinal disease. Acta Neurochir 142:283-291

Herkowitz HN (1989) The surgical management of cervical spondylotic radiculopathy and myelopathy. Clin Orthop Relat Res 239:94-108

Herkowitz HN, Kurz LT, Overholt DP (1990) Surgical management of cervical soft disc herniation. A comparison between the anterior and posterior approach. *Spine* 15:1026-1030

Hilibrand AS, Carlson GD, Palumbo MA, Jones PK, Bohlman HH (1999) Radiculopathy and myelopathy at segments adjacent to the site of a previous anterior cervical arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 81:519-528

Hirsch C (1960) Cervical disc rupture: Diagnosis and therapy. *Acta Orthop Scand* 30:172-186

Hirsch C, Wickbom I, Lidstroem A, Rosengren K (1964) Cervical-disc resection. A follow up of myelographic and surgical procedure. *J Bone Joint Surg Am* 46:1811-1821

Hohmann D, Liebig K (1996) Operative Therapie der spondylogenen zervikalen Myelopathie. *Orthopäde* 25:558-566

Hosten N, Liebig T (2000) Computertomographie der Wirbelsäule. pp 262-413 In: Mödler U (ed) *Computertomographie von Kopf und Wirbelsäule*. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 2000

Huk W, Kunze S (1985) Neuroradiologische Untersuchungsmethoden: Indikationen und Risiken in Klinik und Praxis. *Orthopäde* 14:80-87

Hunter A, Archer CW, Walker PS, Blunn GW (1995) Attachment and proliferation of osteoblasts and fibroblasts on biomaterials for orthopaedic use. *Biomaterials* 16:287-295

Husag L, Probst C (1984) Microsurgical anterior approach to cervical discs. Review of 60 consecutive cases of discectomy without fusion. *Acta Neurochir* 73:229-242

Irvine GB, Strachan WE (1987) The long-term results of localised anterior cervical decompression and fusion in spondylotic myelopathy. *Paraplegia* 25:18-22

Jinkins JR, Dworkin J (2002) Upright, weight-bearing, dynamic-kinetic MRI of the spine: pMRI / kMRI. pp 73-82 In: Kaech DL, Jinkins JR (eds). Spinal restabilisation procedures. Elsevier 2002

Jockisch KA, Brown SA, Bauer TW, Merritt K (1992) Biological response to chopped-carbon-fiber-reinforced peek. J Biomed Mater Res 26:133-146

Junghanns H (1980) Wirbelsäule und Beruf. In: Junghanns H (ed) Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis. Hippokrates Verlag - Stuttgart 1980

Kalff R, Rauhut K, Roosen K, Kocks W, Schüwer U, Grote W (1990) Komplikationen bei degenerativen Bandscheibenerkrankungen. Neurochirurgia 33:184-189

Kao FC, Niu CC, Chen LH, Lai PL, Chen WJ (2005) Maintenance of interbody space in one- and two-level anterior cervical interbody fusion: comparison of the effectiveness of autograft, allograft, and cage. Clin Orthop Relat Res 430:108-116

Karhu JO, Parkkola RK, Koskinen SK (2005) Evaluation of flexion/extension of the upper cervical spine in patients with rheumatoid arthritis: an MRI study with a dedicated positioning device compared to conventional radiographs. Acta Radiol 46:55-66

Karimi-Nejad A, Hamel E, Frowein RA (1981) Langzeitergebnisse der operativen Behandlung der zervikalen Bandscheibenvorfälle durch Ventralfusion. Z Orthop 119:602-606

Klaiber RD, von Ammon K, Sarioglu AC (1992) Anterior microsurgical approach for degenerative cervical disc disease. Acta Neurochir 114:36-42

Kostuik JP, Connolly PJ, Esses SI, Suh P (1993) Anterior cervical plate fixation with the titanium hollow screw plate system. Spine 18:1273-1278

Koyama T, Handa Y (1994) Mikrochirurgische anteriore Diskektomie und Fixierung mit Hydroxylapatit-Keramimplantat zur Behandlung des zervikalen

Bandscheibenvorfalls. pp126-130 In: Matzen KA (ed) Die operative Behandlung der Halswirbelsäule. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York 1994

Kunze K, Arlt A, Müller E, Malin JP, von Torklus D, Eyb R, Ritschl P, Gagena FW, Krödel A, Mayer K, Sauer R (1991) Klinik der zervikalen Myelopathien. pp49-101 In: Delank HW, Schmitt E (eds) Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis: Zervikale Myelopathien. Band 113. Hippokrates Verlag - Stuttgart 1991

Langmayr JJ, Russegger L (1991) Chirurgische Behandlung des zervikalen Bandscheibenvorfalls. Wien Med Wochenschr 141:322-325

Laumer R, Nissen U, Rissmann M, Ansang M, Fahlbusch R (2002) PMMA Fusion nach ventraler Diskektomie unter besonderer Berücksichtigung multisegmentalen Eingriffen. pp103-111 In: Matzen KA (ed) Die operative Behandlung der Halswirbelsäule. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York 1994

van Limbeek J, Jacobs WC, Anderson PG, Pavlov PW (2000) A systematic literature review to identify the best method for a single level anterior cervical interbody fusion. Eur Spine J 9:129-136

Lin TW, Corvelli AA, Frondoza CG, Roberts JC, Hungerford DS (1997) Glass peek composite promotes proliferation and osteocalcin production of human osteoblastic cells. J Biomed Mater Res 36:137-144

Lindsey RW, Newhouse KE, Leach J, Murphy MJ (1987) Nonunion following two-level anterior cervical discectomy and fusion. Clin Orthop Relat Res 223:155-163

Lowery GL (1995) Anterior cervical osteosynthesis: Orion TM anterior cervical plate system. Kapitel 19 In: Hitschon P (ed) Techniques in spinal fusion and stabilisation. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 1995

Lunsford LD, Bissonette DJ, Jannetta PJ, Sheptak PE, Zorub DS (1980) Anterior surgery for cervical disc disease. Part 1: Treatment of lateral cervical disc herniation in 253 cases J Neurosurg 53:1-11

Lunsford LD, Bissonette DJ, Zorub DS (1980) Anterior surgery for cervical disc disease. Part 2: Treatment of cervical spondylotic myelopathy in 32 cases. *J Neurosurg* 53:12-19

Ma Y, Xi J, Chen X, Guan C, Quan C (2002) Insertion of PCB to treat traumatic cervical intervertebral disc herniation. *Chin J Traumatol* 5:267-270

Madawi AA, Powell M, Crockard HA (1996) Biocompatible osteoconductive polymer versus iliac graft. A prospective comparative study for the evaluation of fusion pattern after anterior cervical discectomy. *Spine* 21:2123-2130

Martins AN (1976) Anterior cervical discectomy with and without interbody bone graft. *J Neurosurg* 44: 290-295

Matgé G, Leclercq TA (2000) Rationale for interbody fusion with threaded titanium cages at cervical and lumbar levels. Results on 357 cases. *Acta Neurochir* 142:425-434

Matgé G (2001) Cage fusion with BAK-C in cervical spondylosis. pp207-212 In: Kaech DL, Jinkins JR (eds) *Spinal restabilisation procedures*. Elsevier 2002

Matgé G (2002) Cervical cage fusion with 5 different implants: 250 cases. *Acta Neurochir* 144:539-550

Maurice-Williams RS, Dorward NL (1996) Extended anterior cervical discectomy without fusion: a simple and sufficient operation for most cases of cervical degenerative disease. *Br J Neurosurg* 10:261-266

Modic MT, Masaryk TJ, Ross JS, Carter JR (1988a) Imaging of degenerative disk disease. *Radiology* 168:177-178

Modic MT, Steinberg PM, Ross JS, Masaryk TJ; Carter JR (1988b) Degenerative disk disease: assessment of changes in vertebral body marrow with MR imaging. *Radiology* 166:193-199

Moirez S (1999) Critical study on the anterior cervical plate-cage PCB in PEEK. Tests der Firma Scient'x, Paris

Moirez S (1998) Untersuchung der Biokompatibilität von PEEK. Tests der Firma Scient'x, Paris

Montazem A, Kolodziejczyk D, Bode M (1994) Anwendung von Keramikinterponaten nach ventraler zervikaler Diskektomie in Verbindung mit Titanverschraubung. pp120-125 In: Matzen KA (ed) Die operative Behandlung der Halswirbelsäule. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York 1994

Mooney V, Massie JB, Lind BI, Rah JH, Negri S, Holmes RE (1998) Comparison of hydroxyapatite granules to autogenous bone graft in fusion cages in a goat model. Surg Neurol 49:628-634

Moreland DB, Asch HL, Clabeaux DE, Castiglia GJ, Czajka GA, Lewis PJ, Egnatchik JG, Cappuccino A, Huynh L (2004) Anterior cervical discectomy and fusion with implantable titanium cage: initial impressions, patient outcomes and comparison to fusion with allograft. Spine J 4:184-191

Morscher E, Sutter F, Jenny H, Olerud S (1986) Anterior plating of the cervical spine with the hollow screw-plate system of titanium. Chirurg 57:702-707

Mosdal C (1984) Cervical osteochondrosis and disc herniation. Eighteen years' use of interbody fusion by Cloward's technique in 755 cases. Acta Neurochir 70:207-225

Moussa AH, Nitta M, Symon L (1983) The results of anterior cervical fusion in cervical spondylosis. Review of 125 cases. Acta Neurochir 68:277-288

Morrison C, Macnair R, MacDonald C, Wykman A, Goldie I, Grant MH (1995) In vitro biocompatibility testing of polymers for orthopaedic implants using cultured fibroblasts and osteoblasts. Biomaterials 16:987-992

Murphy MG, Gado M (1972) Anterior cervical discectomy without interbody bone graft. J Neurosurg 37:71-74

Odom GL, Finney W, Woodhall B (1958) Cervical disc lesions. J Am Med Assoc 166:23-28

Parke WW (1988) Correlative anatomy of cervical spondylotic myelopathy. Spine 13:831-837

Paramore CG, Dickman CA, Sonntag VK (1995) Mechanisms of caspar plate failure. J Neurosurgery 82:361

Parizel PM, van Goethem JW, van den Hauwe L, Deckers F, Gunzburg R, de Schepper AM (1996) Imagin of spinal implants and radiologic assessment of fusion. In: Szpalski M, Gunzburg R, Spengler DM, Nachemson A (eds) Lippincott-Raven Publishers - Philadelphia 1996

Phillips FM, Carlson G, Emery SE, Bohlman HH (1997) Anterior cervical pseudarthrosis. Natural history and treatment. Spine 22:1585-1589

Pitzen T, Kiefer R, München D, Barbier D, Reith W, Steudel WI (2006) Füllung eines zervikalen Cages mit Knochen von der Halswirbelsäule: Untersuchung zur Knochendichte und Fusion. Zentralbl Neurochir 67:8-13

Pointillart V, Cernier A, Vital JM, Senegas J (1995) Anterior discectomy without interbody fusion for cervical disc herniation. Eur Spine J 4:45-51

Probst C (1989) Ventrale Operationen bei zervikalen Diskushernien. Neurochirurgische Erfahrungen bei 400 operierten Patienten. Neurochirurgia 32:65-68

Prolo DJ, Oklund SA, Butcher M (1986) Toward uniformity in evaluating results of lumbar spine operations. A paradigm applied to posterior lumbar interbody fusions. Spine 11:601-606

Reitman CA, Hipp JA, Nguyen L, Esses SI (2004) Changes in segmental intervertebral motion adjacent to cervical arthrodesis: a prospective study. *Spine* 29:221-226

Reul J (2001) Myelographie. pp 269-270 In: Sartor K (ed) *Neuroradiologie*. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 2001

Rivard CH, Rhalmi S, Coillard C (2002) In vivo biocompatibility testing of peek polymer for a spinal implant system: a study in rabbits. *J Biomed Mater Res* 62:488-498

Robinson RA, Smith GW (1955) Anterolateral cervical disc removal and interbody fusion for cervical disc syndrome. *Bull Johns Hopkins Hosp* 96:223-224

Robinson RA, Walker AE, Ferlic DC, Wiecking DK (1962) The results of anterior interbody fusion of the cervical spine. *J Bone Joint Surg* 4:1569-1587

Roosen K (1979) Experimentelle, klinische und radiologische Langzeituntersuchung zum Ersatz zervikaler Bandscheiben durch Knochenzement (Polymethylmethacrylat) *Habil-Schrift, Essen*

Roosen K (1982) Knochenzement als Ersatzmittel zervikaler Bandscheiben. *Fortschr Med* 100;45: 2120-2126

Roosen K, Grote W, Bettag W (1975) Komplikationen zervikaler ventraler Fusionsoperationen. *Neurochirurgia* 18:1-11

Roosen K, Grote W (1980) Late results of operative treatment of cervical myelopathy. *Adv Neurosurg* 8: 69-77

Roosen K, Kocks W (1988) Komplikationen bei ventralen Eingriffen an der Wirbelsäule In: Bock W, Schirmer M (eds) *Komplikationen bei neurochirurgischen Eingriffen*. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York 1988

Ross JS (1995) Myelopathy. *Neuroimaging Clin N Am* 5:367-384

Rueger JM (1996) Knochenersatzmittel. *Unfallchirurg* 99:228-236

Rueger JM (1998) Synthetische resorbierbare Materialien: Eine Alternative zum Transplantat. pp 39-66 In: Claes I, Ignatius A (eds) *Biodegradierbare Implantate und Materialien*. Hefte zu der Unfallchirurg 265

Ruggieri PM (1995) Cervical radiculopathy. *Neuroimaging Clin N Am* 5:349-366

Samii M, Völkening D, Sepehrnia A, Penkert G, Baumann H (1989) Surgical treatment of myeloradiculopathy in cervical spondylosis. A report on 438 operations. *Neurosurg Rev* 12:285-290

Samii M, Bothe HW (1998) Chirurgie der zervikalen Wirbelsäule und am Nervensystem. pp 73-92 In: Naumann HH (ed) *Kopf- und Halschirurgie*. Thieme Verlag - Stuttgart 1998

Samandouras G, Shafafy M, Hamlyn PJ (2001) A new anterior cervical instrumentation system combining an intradiscal cage with an integrated plate: an early technical report. *Spine* 26:1188-1192

Schmieder K, Schoenmayr R, Goetz CH, Eysel P, Weinzierl FX (2002) Anterior cervical interbody fusion with wing titanium cages. pp 229-234 In: Kaech DL, Jinkins JR (eds) *Spinal restabilisation procedures*. Elsevier 2002

Schnur S, Clar HE (1993) Der zervikale Bandscheibenprolaps In: *Fortschr Med* 111:289-293

Schröder J, Wassmann H (2002) Polymethylmethacrylat (PMMA) in der Halsbandscheibenchirurgie - gegenwärtige Situation in Deutschland. *Zentralbl Neurochir* 62:33-36

Scoville WB (1946) The surgical approach to the lateral cervical ruptures disc. Presented at the 4th Ann Meet of the Harvey Cushing meeting Society, Boston Mass

Senegas J, Gauzere JM (1976) In defense of anterior surgery in the treatment of serious injuries to the last 5 cervical vertebrae. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 62:123-128

Senegas J, Gauzere JM (1977) Unstable fractures of the spine. IV. Stabilization methods and their results. B. Surgical methods. 6. Treatment of cervical lesions by anterior approach. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 63:466-469

Smith GW, Robinson RA (1958) The treatment of certain cervical spine disorders by anterior removal of the intervertebral disc and interbody fusion. J Bone and Joint Surg Am 40:607-624

Soost F (2001) Validierung des Knochenumbaus von Knochenersatzmaterialien in der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Habilitationsschrift Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie. Medizinische Fakultät Charité der Humboldt-Universität zu Berlin

Stöhr M, Riffel B (1988) Leitsymptome von Nerven- und Nervenwurzelläsionen und Ursachen von Nerven- und Nervenwurzelläsionen. pp1-48 In: Neundörfer B, Schimrigk K, Soyka D (eds) Praktische Neurologie: Nerven- und Nervenwurzelläsionen. VHC Ed. Medizin - Weinheim, Cambridge, New York 1988

Suadicani A, Papavero L, Schumann P, Soldner F, Sanker P (1994) Komplikationsanalyse von 290 ventralen zervikalen Spondylodesen. pp171-175 In: Matzen KA (ed) Die operative Behandlung der Halswirbelsäule. Zuckschwerdt - München, Bern, Wien, New York 1994

Sweeney PJ (1995) Clinical evaluation of cervical radiculopathy and myelopathy. Neuroimaging Clin N Am 5:321-327

Tash R, Savitz MH (1994) Preoperative and postoperative neuroradiologic evaluation of cervical disk disease. Mt Sinai J Med 61:224-227

Teramoto T, Ohmori K, Takatsu T, Inoue H, Ishida Y, Suzuki K (1994) Long-term results of the anterior cervical spondylodesis. *Neurosurgery* 35:64-68

Thome C, Krauss JK, Zevgaridis D (2004) A prospective clinical comparison of rectangular titanium cages and iliac crest autografts in anterior cervical discectomy and fusion. *Neurosurg Rev* 27:34-41

Tilscher H, Eder M (1993) Bandscheibenerkrankung der Halswirbelsäule. pp40-41 u. 202-206 In: Tilscher H, Eder M (eds) *Klinik der Wirbelsäule: Befunderhebung und Therapieplanung*. Hippokrates Verlag - Stuttgart 1993

Trattnig S, Kramer J, Mühlbauer M, Kainberger F, Imhof H (1993) Bildgebende Diagnostik nach spinaler Diskushernienoperation. *Radiologe* 33:573-580

Tye GW, Graham RS, Broaddus WC, Young HF (2002) Graft subsidence after instrument-assisted anterior cervical fusion. *J Neurosurg* 97:186-192

Uhlenbrock D (1994) Degenerative Wirbelsäulenerkrankungen. pp160-262 In: Uhlenbrock D (ed) *MRT der Wirbelsäule und des Spinalkanals*. Thieme Verlag - Stuttgart, New York 1994

Uhtoff HK, Dubuc FL (1971) Bone structure changes in the dog under rigid internal fixation. *Clin orthop* 81:165-170

Verbiest H, Paz Y, Geuse HD (1966) Anterolateral surgery for cervical spondylosis in cases of myelopathy or nerve-root compression. *J Neurosurg* 25:611-622

Wang JC, McDonough PW, Endow KK, Delamarter RB (2000) Increased fusion rates with cervical plating for two-level anterior cervical discectomy and fusion. *Spine* 25:41-45

Wang JC, McDonough PW, Kanim LE, Endow KK, Delamarter RB (2001) Increased fusion rates with cervical plating for three-level anterior cervical discectomy and fusion. *Spine* 26:643-647

Wenz LM, Merritt K, Brown SA, Moet A, Steffee AD (1990) In vitro biocompatibility of polyetheretherketone and polysulfone composites. *J Biomed Mater Res* 24:207-215

Williams DF, McNamara A, Turner RM (1987) Potential of polyetheretherketone (PEEK) and carbon-fiber-reinforced in medical applications. *J of Materials Science Letters* 6:188-190

Wilke HJ, Kettler A, Claes L (2002) Stabilisierende Wirkung und Sinterungstendenz dreier unterschiedlicher Cages und Knochenzement zur Fusion von Halswirbelsäulensegmenten. *Orthopäde* 31:472-480

Wilke HJ, Kettler A, Goetz C, Claes L (2000) Subsidence resulting from simulated postoperative neck movements: an in vitro investigation with a new cervical fusion cage. *Spine* 25:2762-2770

Wilson DH, Campbell DD (1977) Anterior cervical discectomy without bone graft. Report of 71 cases. *J Neurosurg* 47:551-555

Yonenobu K, Okada K, Fuji T, Fujiwara K, Yamashita K, Ono K (1986) Causes of neurologic deterioration following surgical treatment of cervical myelopathy. *Spine* 11:818-823

Zinreich SL, Long DM, Dacis R, Quinn CB, McAfee PC, Wang H (1990) Three dimensional CT imaging in postsurgical "failed back" syndrom. *J Comput Assist Tomogr* 14:574-580

Danksagung

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. med. Robert Schönmayr, für die Überlassung des Themas, seine hervorragende Betreuung und die kritische Durchsicht der Manuskripte.

Weiterhin möchte ich den Kollegen Frau Dr. Marita Ant und Herrn Karim Ben-Ghezala für ihre Hilfe bei der Datenerhebung und der Einarbeitung in das Thema danken.

Auch dem Team der RTA der radiologischen Abteilung der Dr. Horst-Schmidt-Kliniken GmbH, das Röntgenbilder aus Archiven beschaffte, bin ich zu Dank verpflichtet.

Ebenso möchte ich unseren Patienten danken, die durch ihr Erscheinen und ihr Einverständnis zu Röntgenaufnahmen die Verlaufskontrollen ermöglichten.

Weiterhin sei dem Arzt-Ehepaar Miltner gedankt für die großzügige Unterstützung.

Meinen Eltern sei herzlichst gedankt, mir das Studium der Medizin ermöglicht zu haben und für die unermüdliche, mehrfache Durchsicht der Manuskripte. Ihnen möchte ich diese Arbeit widmen.

Ehrenwörtliche Erklärung

„Ich erkläre: Ich habe die vorgelegte Dissertation selbständig, ohne unerlaubte fremde Hilfe und nur mit den Hilfen angefertigt, die ich in der Dissertation angegeben habe. Alle Textstellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder nicht veröffentlichten Schriften entnommen sind und alle Angaben, die auf mündlichen Auskünften beruhen, sind als solche kenntlich gemacht. Bei den von mir durchgeführten und in der Dissertation erwähnten Untersuchungen habe ich die Grundsätze guter wissenschaftlicher Praxis, wie sie in der „Satzung der Justus-Liebig-Universität Gießen zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis“ niedergelegt sind, eingehalten.“

Janina Marja Jacob